

Action recherche valorisation ZABR n°A 11

-

Evaluation des échanges nappes/rivière et de la part des apports souterrains dans l'alimentation des eaux de surface (cours d'eau, plans d'eau, zones humides)

Application au fleuve Rhône et à ses aquifères superficiels

Rapport final – Phase 1

Avril 2007

École Nationale Supérieure des Mines de Saint-Étienne (ENSM-SE)

Didier Graillet, Frédéric Paran, Roland Déchomets et Alix Germain

Centre SITE (Sciences, Informations et Technologies pour l'Environnement)

158, cours Fauriel - 42 023 Saint-Étienne Cedex 2

Université Claude Bernard Lyon I (UCBL)

*Janine Gibert et David Ferreira**

*Guédrun Bornette et Sara Puijalon***

Laboratoire « Écologie des Hydrosystèmes Fluviaux » UMR CNRS 5023 (EHF)

*Équipe « Hydrobiologie et Écologie Souterraine »

**Équipe « Écologie des Communautés Végétales »

Bâtiment F.A. FOREL

43, Boulevard du 11 Novembre 1918 - 69 622 Villeurbanne Cedex

CEMAGREF Lyon

Michel Lafont

UR Bely

3 bis, quai Chauveau - CP 220 - 69 336 Lyon cedex 09

Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse

2-4, Allée de Lodz

69 363 Lyon Cedex 07

Zone Atelier Bassin du Rhône (ZABR)

66, boulevard Niels Bohr - BP 2132

69 603 Villeurbanne Cedex

Fiche signalétique du document

Destinataire du document : Agence de l'Eau RMC, ZABR

Cordonnées complètes :

- Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse 2-4, Allée de Lodz 69 363 Lyon Cedex 07 ;
- Zone Atelier Bassin du Rhône (ZABR) 66, boulevard Niels Bohr - BP 2132 - 69 603 Villeurbanne Cedex.

Interlocuteur : Laurent Cadilhac

Date : mai 2007

Évaluation des échanges nappes/rivière et de la part des apports souterrains
dans l'alimentation des eaux de surface
(cours d'eau, plans d'eau, zones humides)
Application au fleuve Rhône et à ses aquifères superficiels
Phase 1

Statut : Rapport provisoire Rapport intermédiaire Rapport final

Auteurs :

- EMSE – Centre SITE (Didier Graillot, Frédéric Paran, Roland Déchomets, Alix Germain).
- LEHF – écologie souterraine (Janine Gibert, David Ferreira) ;
- LEHF – écologie végétale (Gudrun Bornette, Sara Puijalon).
- CEMAGREF Lyon – UR Bely (Michel Lafont)

Données hydrauliques de Brégnier-Cordon : en convention avec la CNR.

Nombres d'exemplaires édités : -

Diffusion : ZABR

Nombres de volumes : 2 (dont 1 pour les annexes)

Nombres de pages du rapport hors annexes : 167

Nombres de figures hors annexes : 78

Nombre d'annexes : 12

Support annexe : 1 CD-ROM

Mots clefs : écoulements souterrains, eaux de surface, échanges nappe/rivière, hydraulique, hydrogéologie, invertébrés souterrains, végétation aquatique

Table des matières synthétique

Introduction générale	1
1. <i>Besoins et objectifs</i>	1
2. <i>Rappel des phases prévues du projet et actualisation</i>	4
Partie I – État actuel des méthodes et des connaissances pour l'évaluation des relations d'échange entre le fleuve Rhône et ses nappes d'accompagnement	7
1.1. <i>Méthodes d'évaluation des échanges nappes/rivière</i>	9
1.2. <i>Connaissances et données</i>	27
1.3. <i>Bilan : intérêt de l'approche inter-disciplinaire</i>	35
Partie II – Le Rhône du Léman à la Camargue : hypothèses de sectorisation	39
II.1. <i>Sectorisations anthropique et climatique</i>	40
II.2. <i>Caractérisation des relations d'échange</i>	44
II.3. <i>Hypothèses de travail sur les relations d'échange nappe/fleuve Rhône et bilan</i>	76
Partie III – Application sur un site test : la chute CNR de Brégnier-Cordon (Ain, France)	91
III.1. <i>Présentation du zoom-test sélectionné : la chute de Brégnier-Cordon</i>	91
III.2. <i>Bilan sur les échanges entre le Rhône et ses nappes d'accompagnement – application à la zone test de Brégnier-Cordon</i>	93
Conclusion de cette première phase de travail	133
1. <i>Premier bilan sur la mise en évidence de correspondances hydrologique et biologique pour l'évaluation des échanges nappes/Rhône</i>	133
2. <i>Proposition pour la structuration d'une base de données SIG des échanges nappes-rivière</i>	134
Partie IV – Phases ultérieures de travail : phase 2	139
IV.1. <i>Acquisition de données complémentaires</i>	139
IV.2. <i>Proposition d'un site test « naturel » complémentaire au site de Brégnier-Cordon : la confluence Rhône/Drôme</i>	142
IV.3. <i>Proposition d'un site test anthropisé sujet à conflits d'usage sur la ressource en eau (ex : Ile de La Platière)</i>	143
IV.4. <i>Autres sites potentiels</i>	144
IV.5. <i>Valorisation et mise à disposition des résultats en fonction de l'état d'avancement de l'action de recherche</i>	144
Etablissements partenaires	147
Bibliographie	149
<i>Bibliographie dimension physique</i>	149
<i>Bibliographie dimension biologique : Végétation aquatique</i>	152
<i>Bibliographie dimension biologique : Invertébrés souterrains</i>	153
Liste des figures	157
Table des matières complète	161
Annexes – Volume séparé et Compléments – CD-ROM	165
Définitions : aquifères et cas particuliers d'aquifères	167

Préambule

Ce texte a été rédigé principalement par :

- EMSE – Centre SITE (Didier Graillot, Frédéric Paran, Roland Déchomets, Alix Germain) ;
- LEHF – écologie souterraine (Janine Gibert, David Ferreira) ;
- LEHF – écologie végétale (Gudrun Bornette, Sara Pujalon) ;
- CEMAGREF Lyon UR Bely (Michel Lafont).

Plusieurs parties ont été rédigées avec la collaboration d'autres personnes à l'occasion d'entretiens ou de réunions de travail :

- Université d'Avignon (Yves Travi, Olivier Banton) ;
- Université de Besançon (Pierre Chauve) ;
- Université de Montpellier (Claude Drogue, Severin Pistre) ;
- Université de Savoie (Marc Dzikowski, Jean-Yves Josnin).

Quelques travaux d'étudiants contenant des informations sur le sujet ont été exploités, tout au moins en partie (rapport de stage de licence en géosciences (Université Lyon 1) à l'Agence de l'eau d'Astrid Schindler ; projets personnels d'élèves Ingénieurs de l'Ecole des Mines de Saint-Étienne).

Une grande partie des données hydrauliques et hydrologiques, mobilisées pour l'étude du secteur de Brégnier-Cordon, a été mise à disposition de l'EMSE par la Compagnie Nationale du Rhône (CNR – 2, rue André Bonin – Lyon 4^{ème}). L'obtention et l'utilisation de ces données sont fixées par la convention du 9 janvier 2007 liant l'EMSE et la CNR.

Introduction générale

A l'heure actuelle, il existe un fort déficit de connaissances concernant les ressources en eaux souterraines associées au fleuve Rhône, notamment sur la question des échanges nappes/fleuve. Ceci est grandement dommageable compte-tenu des forts enjeux pesant sur la ressource en eau souterraine.

Le cadrage de la question posée et de son contenu fait ressortir un besoin évident en terme de connaissance globale des échanges qui existent entre les zones humides, les rivières et les nappes le long du Rhône, depuis le Léman jusqu'à la mer. Etant donné le caractère fortement anthropisé du Rhône, la préservation du patrimoine lié aux aquifères du Rhône représente un enjeu des plus importants.

1. Besoins et objectifs

Ce programme de recherche a pour objectif de caractériser les échanges hydrauliques existants entre 1) le Rhône, ses annexes fluviales, les contre-canaux, et 2) les nappes alluviales et les autres aquifères en connexion, et de développer les méthodologies, voire les outils, permettant de caractériser ces échanges.

Il s'agit à terme de proposer un outil interdisciplinaire pour la caractérisation et l'évaluation, tant qualitative que quantitative, des échanges entre le fleuve Rhône et les aquifères superficiels en relation, en tenant compte du caractère anthropisé du fleuve, ceci du lac Léman à la mer Méditerranée.

Dans un objectif de gestion coordonnée de la ressource en eau tant superficielle que souterraine, et plus généralement de préservation de la ressource en eau et de la biodiversité sur le corridor alluvionnaire du Rhône, le programme permettra :

- d'estimer la contribution des eaux souterraines au débit du Rhône ;
- d'identifier à l'échelle du corridor alluvionnaire, les portions de nappe les plus directement sous influence du fleuve et les plus vulnérables à une pollution du Rhône ;
- à l'inverse d'identifier les milieux superficiels et humides sous dépendance majoritaire d'apports souterrains.

Les résultats obtenus fourniront des éléments d'informations appréciables pour la préservation des enjeux alimentation en eau potable (AEP) et alimentation des milieux aquatiques superficiels par les eaux souterraines en vue de la prévention des conflits d'usage. Les éléments acquis apporteront également des indications utiles pour la poursuite de programmes de restauration des milieux aquatiques ou la localisation et le dimensionnement des zones d'expansion de crues à (re-)créer.

Ce programme a été inscrit au Plan Rhône, sous le volet « qualité des eaux, ressource et biodiversité », que pilote l'Agence de l'eau et pour lequel des fiches actions ont été élaborées (Annexes 1.1. et 1.2.).

Il vise également à satisfaire les besoins exprimés par la Directive Cadre européenne sur l'eau, qui outre les enjeux de préservation déjà cités demande, dans le domaine hydromorphologique d'agir en faveur :

- du maintien de la connexion avec les eaux souterraines ;
- du rétablissement/maintien d'un tracé en plan et de conditions de connectivité latérales du cours d'eau avec ses milieux annexes (prairies inondables, zones humides, bras morts, ...) permettant d'assurer à ces communautés les conditions d'habitat nécessaires à leur développement et à leur survie durable (en particulier, granulométrie des fonds, vitesses de courant, hauteur d'eau).

1.1. Identification des connaissances scientifiques requises

Les connaissances scientifiques à mobiliser pour ce projet sont nombreuses, mais éparses et parfois très anciennes. Elles relèvent en général de disciplines qui se sont développées séparément (géomorphologie, hydrogéologie, hydrobiologie, physico-chimie et géochimie des eaux). Pour mieux comprendre ces mécanismes d'échange, il devient indispensable d'associer les méthodologies, les outils qui peuvent être mobilisés dans ce domaine (écologie des espèces végétales aquatiques, biodiversité taxonomique et fonctionnelle des communautés d'invertébrés au sein des aquifères, modèles hydrodynamiques, hydrogéochimie,) en relation avec les conditions de milieux (qualité et origine des aquifères, capacités d'échanges).

En premier lieu, c'est donc une synthèse interdisciplinaire des données existantes et un diagnostic intégrant les aspects quantitatifs et qualitatifs de la ressource qu'il s'agit de réaliser. A la lumière des résultats de ce bilan, des actions plus ciblées pourront être programmées.

1.2. Identification des compétences ZABR mobilisées

Les compétences de la ZABR mobilisées pour traiter cette question existent donc dans les laboratoires suivants :

- Université Claude Bernard Lyon1 UMR CNRS 5023 Laboratoire Ecologie des Hydrosystèmes Fluviaux équipe d'Hydrobiologie et d'Ecologie Souterraines et équipe d'Ecologie des Communautés végétales ;
- Centre SITE de l'EMSE ;
- CEMAGREF de Lyon, UR Bely.

De plus, la CNR a été mobilisées en tant qu'organisme détenteur de données et de connaissances des milieux et de l'impact des ouvrages jalonnant le Rhône (ex : barrages, contre-canaux)

Des compétences extérieures pourront être mobilisées :

- la faculté des sciences de l'Université d'Avignon pour l'Hydrogéologie et la Géochimie ;
- le pôle Hydrosociétés de Montpellier ;
- l'Université de Savoie à Chambéry (EDYTEM) ;
- les Bureaux d'Etudes, notamment ceux ayant étudiés des champs de captage AEP ;
- les BRGM de Lyon et d'Orléans ;
- EDF.

D'autres organismes, à titre d'exemple, les DIREN, les DDAF, des syndicats comme le SEGAPAL (Miribel), le SMIRCLAID (Île de La Platière) sont également détenteurs d'informations sur le sujet.

1.3. Organisation et suivi du projet

Il est proposé une réunion d'information annuelle sur l'avancée du projet, permettant de faire le bilan des éléments acquis et d'envisager les perspectives. Il pourrait s'agir d'un comité de suivi annuel et plénier rassemblant l'ensemble des partenaires, complétés par des comités de suivis techniques. Une première réunion de ce type a été organisée en novembre 2005 pour discuter des objectifs et de l'orientation du projet. La seconde s'est tenue début janvier 2007.

Des comités de suivis techniques dont les partenaires pourront différer en fonction des sujets traités (géochimie, hydrodynamique, écologie, modélisation...) sont prévus. Le premier ayant eu lieu en février 2007 sur les apports possibles de la géochimie.

Une mission de terrain a été organisée le 16 mars 2007 à Brégnier-Cordon.

1.4. Méthodologie et programme de travail

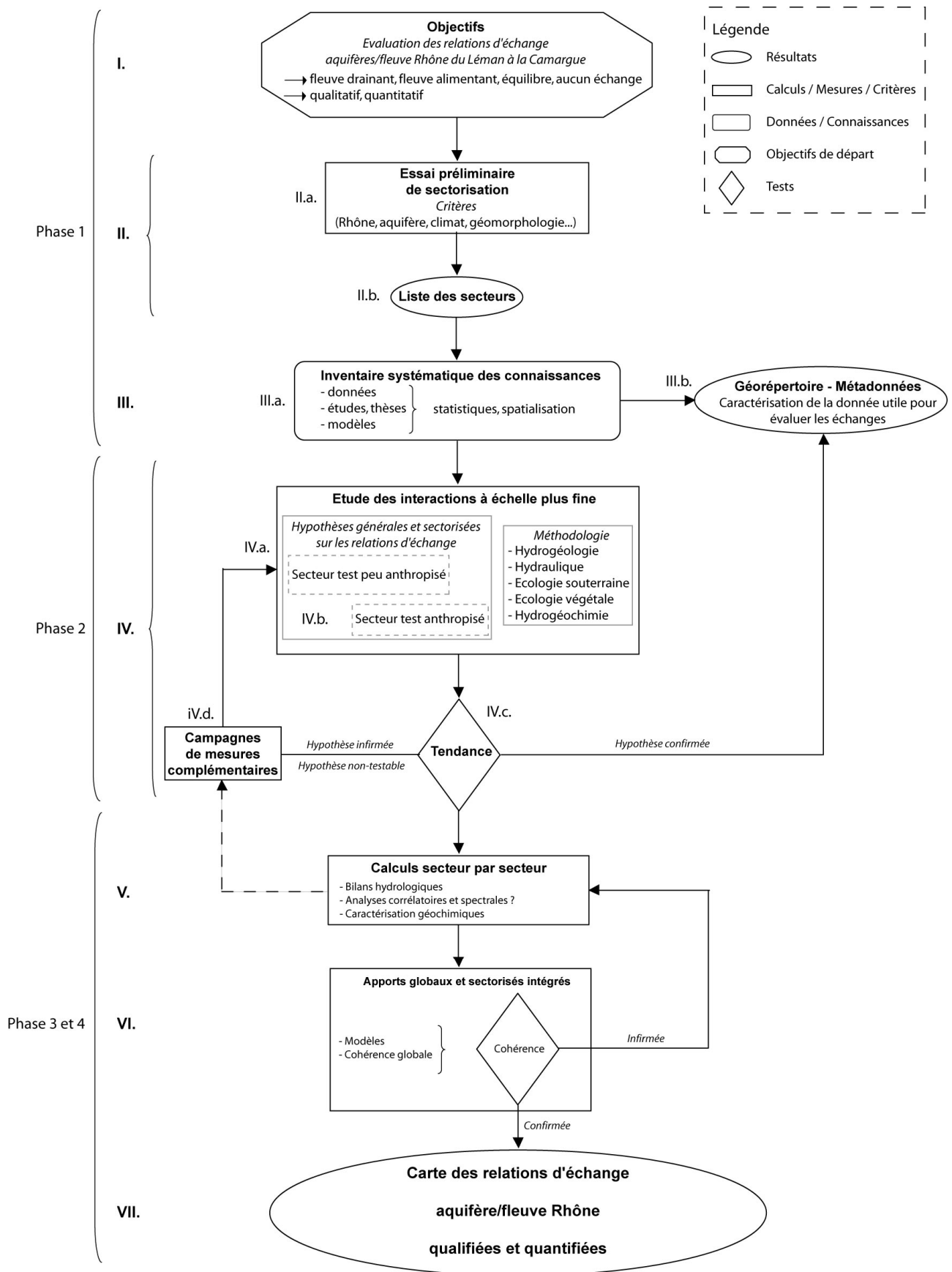


Figure 1. Organigramme méthodologique

La première catégorie d'actions à réaliser correspond donc à un objectif opérationnel à moyen terme : bilan des échanges nappes-rivière et zones humides du cours alluvionnaire du Rhône. Les résultats de ce bilan guideront la suite du programme : expertises, campagnes d'observation ou de mesures complémentaires, programme de recherche plus conséquent en modélisation par exemple.

La méthodologie adoptée comporte 7 étapes principales :

- définition des objectifs de recherche en matière d'interactions nappes/Rhône sur les plans qualitatifs (importance des échanges mais aussi qualité de l'eau,) et quantitatifs (I.);
- synthèse et analyse critique de différentes sectorisations pré-existantes (II.a.) avec identification des secteurs (II.b.) ;
- inventaire systématique des autres connaissances dans les domaines hydrauliques, hydrogéologiques, physico-chimiques et biologiques (III.a) et intégration dans le géorépertoire ZABR après identification des métadonnées (III.b.) ;
- exploitation de ces connaissances pour une étude des mécanismes d'échange à échelle plus fine en se concentrant sur un site test sans préjuger de leur transposabilité, suivi d'une étude complémentaire sur d'autres sites tests où les paramètres hydrométéorologiques et de milieu sont différents (IV.a.). Ceci avant de procéder à une application sur un secteur soumis à des influences anthropiques plus fortes (IV.b.). Tests de détermination des tendances à l'alimentation, au drainage ou à l'équilibre (IV.c.). S'ils sont positifs les résultats seront enregistrés dans le géorépertoire (III.b.), sinon des campagnes de mesures complémentaires seront effectuées (IV.d.) ;
- quantification des échanges par calcul des bilans hydrologiques et méthodes statistiques (V.) et recours à des mesures complémentaires éventuelles pour affiner les calculs (IV.d.) ;
- évaluation des apports globaux intégrant ceux calculés pour chaque secteur à l'aide de modèles mathématiques ou de connaissance qui restent à déterminer et vérification de la cohérence globale des bilans hydrologiques (VI.) ;
- spatialisation et représentations des relations d'échanges qualitativement et quantitativement si possible (VII.).

Finalement, il s'agira d'exploiter ces résultats selon les orientations de la DCEau et du Plan Rhône afin de boucler sur les objectifs initiaux.

La méthodologie proposée et illustrée dans la figure 1. est, bien sûr, sujette à révision selon l'avancée du programme, mais elle permet de disposer d'un cadre de travail interdisciplinaire.

2. Rappel des phases prévues du projet et actualisation

2.1. Phase initiale - 2006/2007 : synthèse des données existantes

2.1.1. Bilan sur l'existant en matière d'étude sur la connaissance des échanges nappe-rivière sur le cours du Rhône et revue.

Il s'agissait de recenser les données géomorphologiques, hydrobiologiques, physico-chimiques et hydrogéologiques disponibles. Ces informations ont été exploitées à partir :

- de thèses de doctorats, de publications, de rapports, d'études effectués sur le sujet en particulier sur la zone hyporhéique et sur la zone saturée des aquifères ou zone phréatique ;
- des cartes hydrogéologiques pour la délimitation des aquifères ;
- de données de débit issues des sections de jaugeage en rivière (Rhône et confluences) ;
- de données piézométriques datées ;
- des caractéristiques des ouvrages sur le Rhône (rôle des contre-canaux).

Ce recensement a été effectué par catégorie de compétences (hydrologie, biologie) sur l'ensemble du bassin.

2.1.2. Visualisation des informations obtenues

Le caractère fortement spatial des informations recueillies nécessite de mettre en œuvre un outil de représentation spatiale permettant de croiser les thèmes hydrobiologiques, géomorphologiques et hydrogéologiques. A partir d'un modèle cartographique SIG, il est possible d'effectuer des croisements multicritères (ex : hydrologie-biologie, géomorphologie-biologie) en fonction, par exemple, des débits géolocalisés sur le Rhône (débits d'étiage, débits moyens journaliers, débits interannuels), de l'impact des ouvrages de régulation sur les tronçons du Rhône aménagé (canaux, contre-canaux, barrages, dérivations) pour déterminer entre autres :

- les caractéristiques physiques des aquifères intervenant dans les mécanismes d'échange (structure sédimentaire, épaisseur, perméabilités, altitude du substratum) ;
- les sens d'écoulements dans les nappes (gradients hydrauliques) ;
- les gradients faunistiques et floristiques en nappe et en rivière.

La visualisation des informations recueillies permettra de mieux les interpréter en termes d'échanges afin de les comprendre et de pouvoir les expliquer sur des secteurs où les données permettent de le faire.

Ces premiers éléments de bilan ont déjà mobilisé les différents niveaux d'expertise hydrobiologique (invertébrés, macrophytes), et hydrogéologique pour aboutir à :

- l'élaboration de critères de sectorisation amont-aval (types d'aquifères, enjeux de protection de la biodiversité,...) ;
- un premier diagnostic qualitatif des échanges ;
- la définition de zones prioritaires à étudier plus en détail. De tels sites pourraient être sélectionnés non seulement en Région Rhône-Alpes, mais aussi en Région Languedoc-Roussillon et Provence-Alpes-Côte-d'Azur ;
- une définition de campagnes de mesures complémentaires nécessaires ;
- l'initiation d'un travail précis d'évaluation des relations d'échange sur un secteur test (secteur de Brégnier-Cordon) ;
- l'initiation d'un travail de structuration de la base de données SIG fondé sur les données et les résultats attachés au site test.

Ces informations sont en cours d'intégration dans le géorépertoire de la ZABR.

2.1.3. Identification des zones à fortes relations et enjeux de préservation écologiquement patents

A l'issue du bilan précédent il s'agissait d'identifier certaines zones tests où les échanges sont potentiellement représentatifs des situations que l'on pourrait rencontrer à l'échelle de l'ensemble du bassin. Dans un deuxième temps, les enjeux de préservation de ces secteurs seront identifiés et analysés en fonction des patrons de circulation des aquifères identifiés.

2.1.4. Synthèse finale et cahier des charges de la suite du programme (phases 2)

La dernière étape de cette première phase du programme est donc destinée à une synthèse générale des informations permettant de proposer plusieurs schémas de sectorisation du fleuve Rhône selon différents points de vue (fonctionnement hydraulique, biologie, aménagement).

2.2. Phase 2 - 2007/2009 : Etude par secteurs et acquisition de données complémentaires, première approche de bilan

Sur 1 ou 2 secteurs tests, il s'agira en fonction des données recensées et analysées dans l'étape précédente d'établir un programme d'acquisition de données complémentaires :

- campagnes de mesures piézométriques et physico-chimiques ;
- prélèvements hydrobiologiques ;
- photographies aériennes panchromatiques et IFN ;
- campagnes de prospection géophysique pour affiner la connaissance des structures sédimentaires des aquifères impliqués ;
- débitimétrie en rivière et pluviométrie pour bilans hydrologiques ;
- géochimie des nappes pour une estimation de l'origine des alimentations et des temps de séjour.

2.3. Phase 3 – 2010 : test et ajustement de la méthodologie proposée

Sur la base des résultats obtenus dans la phase précédente, cette phase comporte en particulier :

- l'intégration des informations dans l'outil d'analyse et de visualisation spatiale ;
- le développement et l'ajustement des méthodes d'interprétation.

2.4. Phase 4 – 2011/2012 : exploitation d'un outil pour la caractérisation des échanges des principaux cours d'eau du bassin, modélisation

Le bilan quantitatif à réaliser consistera en particulier :

- à établir si possible un « bilan hydrologique à l'échelle du fleuve Rhône » pour vérifier la cohérence des bilans par secteurs ;
- à déterminer le taux de contribution des nappes qui jalonnent le Rhône aux eaux de surface ;
- à obtenir une valeur approchée des temps de renouvellement, de séjour ou de transit de l'eau dans les nappes à partir de corrélations physico-chimiques et hydrobiologiques.

Après avoir procédé au bilan quantitatif (relations d'échange nappe-rivière intégrant non seulement les débits prélevés pour l'AEP, l'irrigation, l'industrie, mais aussi les rejets) et si cela semble nécessaire une réflexion sur un travail de modélisation pourra être engagé en tenant compte des échelles locales (sectorisation) et de l'échelle plus globale des nappes d'accompagnement du Rhône.

La modélisation (si elle est réalisable) permettrait de faire ensuite des simulations, calées sur le bilan réalisé, en fonction de scénarios de gestion de l'eau proposables par l'Agence. Selon les secteurs à étudier, certains modèles existent déjà (ex : Île de La Platière et Miribel-Jonage - BURGEAP ; nappe Bièvre-Valloire – ANTEA ; Chavanay - Grand-Lyon-BRGM) mais il faudra probablement en actualiser les données et les paramètres.

De plus, une réflexion pourra être engagée, dans le cadre d'une thèse par exemple, sur la façon de modéliser des systèmes aquifères alluviaux superficiels à grande échelle (plusieurs centaines de kilomètres de linéaire) connectés à un système hydrographique principal et secondaire. Sur ce type d'aquifères, des modélisations partielles existent déjà (BURGEAP, EMSE, LHF, BRGM-Antea). La question qui pourrait être explorée est la suivante : doit-on utiliser les modèles existants et trouver le moyen de les lier entre eux, ou au contraire doit-on mettre en œuvre une modélisation à échelle plus globale validée par des modélisations plus fines sur des secteurs clefs ?

Partie I – État actuel des méthodes et des connaissances pour l'évaluation des relations d'échange entre le fleuve Rhône et ses nappes d'accompagnement

Cette partie propose un inventaire des différentes approches exploitables pour l'évaluation des échanges nappes/rivière sur les plans hydrophysiques, hydrochimiques et hydrobiologiques. Ces explications permettent d'initier une réflexion sur l'intérêt des différentes démarches, les bénéfices attendus, les problèmes posés et rencontrés, les perspectives et les investigations nécessaires pour améliorer la compréhension des échanges Rhône/nappe.

Dans un second temps, elle présente un inventaire actuel des données accessibles, références bibliographiques et modèles recensés dans les domaines physiques, physico-chimiques et biologiques. Il ne s'agit pas d'une synthèse bibliographique mais bien d'un inventaire des ressources documentaires associées au fleuve Rhône et à ses aquifères. Aussi, n'ayant pas encore exploité toutes ces ressources documentaires, il n'est pas encore possible de statuer sur la qualité des données qu'elles peuvent contenir.

L'inventaire des ressources a été évoqué dans la réunion de travail du 8 novembre 2005. Suite à la présentation des objectifs de l'action de recherche (intérêts, enjeux, Plan Rhône 2), et à ceux associés à la phase initiale « Etat des connaissances », chaque représentant des laboratoires a décrit ses activités par rapport au thème de cette réunion (travaux réalisés sur le cours du Rhône, ses affluents ou les aquifères connectés : études, campagnes de mesures, thèses de doctorat, sujets de DEA).

En accord avec l'ensemble des participants, il a été convenu :

1) d'envoyer à chaque laboratoire participant un tableau récapitulatif des informations transmises au cours de la réunion dans le domaine : interactions nappes-eaux de surface et plus particulièrement sur le linéaire du Rhône et ses affluents ;

2) de valider ou d'en modifier le contenu en apportant des éléments complémentaires non indiqués en cours de réunion ;

3) d'inscrire dans le géorépertoire de la ZABR les éléments transmis pour disposer d'une première synthèse sur la couverture de la zone d'étude (linéaire du Rhône + confluences) en informations concernant l'hydrologie/hydrogéologie, la biodiversité au sein des aquifères, la géochimie, les espèces végétales aquatiques. Ces éléments ont été pour la plupart positionnés sur fond cartographique SDAGE, ceci afin d'évaluer dans un premier temps le taux de couverture en ressources. Dans un second temps, d'envisager des campagnes de mesures piézométriques sur des zones non couvertes et à sélectionner des données complémentaires en terme d'hydrofaciés et de lithofaciés sur les zones sélectionnées représentatives des interactions nappes-Rhône

A titre d'exemple illustratif, les tableaux de ressources envoyées par chacun des laboratoires (Annexes 2.1., 2.2., 2.3. et 2.4.), ainsi qu'un extrait de l'inventaire (Annexe 3.) sont présentés en annexes à ce document. L'intégralité de l'inventaire est disponible dans le complément CD-ROM de ce rapport. Les champs associés à ce tableau sont les suivants :

- *Titre* : intitulé de la ressource considérée ;
- *Auteur(s)* : nom et prénom (ou initiales), acronyme, des personnes physiques ou morales créatrices de la ressource ;
- *Date de parution* : année de publication de la ressource ;
- *Début de validité* : année de début d'acquisition d'une chronique de données ;
- *Fin de validité* : année de fin d'acquisition d'une chronique de données ;
- *Emprise spatiale* : couverture géographique de la ressource (ex : lieu-dit, commune, département, région ou pays...)

- *Hydrosystème* : couverture hydrogéographique de la ressource (ex : aquifère, cours d'eau, canal ou bassin versant...);
- *Type* : support de la ressource (ex : base de données, chronique, carte, document, modèle,
- *Nature* : domaine disciplinaire de la ressource (ex : biologie, écologie, hydrogéologie, géochimie, climatologie, ou hydrologie...);
- *Description* : résumé, mots clefs décrivant plus précisément la ressource ;
- *Domaine d'usage* : caractérisation de l'origine du support (ex : site Internet, carte, rapport, rapport de DEA, rapport de DESS, thèse ou HDR...);
- *Origine* : nom de l'organisme créateur de la ressource ;
- *Adresse* : coordonnées postales, Internet ou téléphonique associées à l'origine ou au contact ;
- *Contact* : nom de la personne physique ou morale détentrice de la ressource ;
- *Labo* : nom du laboratoire de recherche si l'origine est une université, une grande école ;
- *Localisation* : lieu où trouver la ressource (ex : site Internet, bibliothèque...).

Titre	Auteur	Date de parution	Début de validité	Fin de validité	Emprise spatiale	Habitats	Nature	Type
					Genève - Confluence du Fier Marais de Chautagne et de Lavours Belley-Lagnieu Plaine du Guiers Ile Crémieu Plaine de l'Ain Nappe alluviale du Rhône à l'amont de Lyon Nappe de l'Est lyonnais Rive Droite du Rhône de Givors à la Voulte Défilé de Vienne Plaine du Péage de Roussillon Défilé de Saint-Vallier Plaine de l'Isère Plaine de Valence De Portes-les-Valence à Viviers Défilé de Donzère De Donzère au confluent avec l'Ardèche Du confluent de l'Ardèche à Arles Delta du Rhône Delta du Rhône; Défilé de Vienne	Rhône-lit mineur Lône Canal Cours d'eau Gravière Marais Aquifère karstique Aquifère alluvial Aquifère fissuré	Ecologie animale Ecologie végétale Physico-chimie Hydrogéologie Géochimie Hydrologie Climatologie Géomorphologie	Document Base de données Carte Chronique Modèle

Description	Domaine d'usage	Origine	Organisme financeur	Adresse	Contact	Labo	Enregistreur	Localisation
Milieu interstitiel Zone phréatique	Rapport de DEA Rapport de stage Rapport de DESS Thèse de Doctorat Article Scientifique Rapport de contrat Internet HDR Thèse d'Etat	UMR5023-LEHF, HBES EMSE, Centre SITE UMR5023-LEHF, ECV			Janine Gibert Gudrun Bornette Didier Graillot		David Ferreira Janine Gibert Gudrun Bornette Sara Puijalon Didier Graillot Frédéric Paran	UMR5023-LEHF, HBES EMSE, Centre SITE UMR5023-LEHF, ECV

Figure 2. Tableau d'inventaire de données

Les champs de ce tableau correspondent à ce qu'on appelle des métadonnées qui caractérisent l'information. Actuellement, une des métadonnées importantes, relative à la qualité et à l'accessibilité des données demeure mal renseignée. Un des intérêts de ces métadonnées réside, par exemple, dans l'appréciation du taux de couverture en information disponible du secteur d'étude Rhône. Sur les zones mal couvertes, il sera nécessaire d'envisager des démarches d'acquisition de données complémentaires (ex : campagnes de mesures, rapports d'études...).

A terme, il conviendrait d'améliorer la cohérence des champs du tableau d'inventaire de données, et d'uniformiser le contenu de ces champs en proposant une série d'entrées, pour la saisie,

sous forme de choix multiples. Le tableau pourrait se présenter sous la forme proposée dans la figure 2.

Pour l'instant, cet inventaire des méthodes et connaissances est établi selon 3 dimensions : physique (hydrologique, hydraulique, hydrogéologique), physico-chimique (hydrochimie) et biologique (invertébrés souterrains et végétation aquatique).

1.1. Méthodes d'évaluation des échanges nappes/rivière

Parmi tous les aquifères français, environ 200 sont qualifiés d'importance régionale car ils ont une taille supérieure à 100km². Il existe différents type d'aquifères : les aquifères de socle, les aquifères karstiques, les aquifères alluviaux que l'on peut rencontrer tout au long de la vallée du Rhône¹. Ceux-ci varient par leurs caractéristiques, les moyens d'investigation possibles et leur vulnérabilité (Annexe 4.). Leur étude peut être envisagée à travers des méthodes hydrophysiques, hydrobiologiques et hydrochimiques.

1.1.1. Hydrophysique : bilans, formules, modèles et statistiques

1.1.1.1. Outils et méthodes d'évaluation des relations nappe-rivières

L'alimentation des aquifères se fait majoritairement par les précipitations efficaces, et dans une moindre mesure par l'infiltration des cours d'eau. Ce type d'alimentation est difficile à quantifier et dépend de différents facteurs :

- *la nature du cours d'eau* : régime du cours d'eau (fréquence et durée des crues), débit des eaux (des débits faibles et réguliers produisent une meilleure alimentation que des débits forts), température des eaux (l'infiltration augmente avec la température), la teneur en matière en suspension (le colmatage du lit et des berges diminue la perméabilité des sédiments) ;

- *la structure du lit et des berges* : profondeur et largeur (surface d'infiltration), épaisseur de la couche colmatante, conductivité hydraulique des sédiments ;

- *les conditions hydrodynamiques de l'aquifère* : structure de l'aquifère (homogénéité, stratification), limites du système (naturelles ou artificielles en cas de pompage et de réalimentation induite), variation de la perméabilité de l'aquifère, nature géologique de l'aquifère, base perméable ou imperméable de l'aquifère (substratum).

A priori, plusieurs approches relativement simples sont possibles à condition de disposer des données hydrauliques suivantes : hauteurs et débits du cours d'eau, piézométrie, topographie, profils en long et en travers...

- *Données disponibles : débits dans la rivière et les affluents, quelques hauteurs d'eau dans la nappe*

La première approche consiste à raisonner à partir des débits du Rhône. On peut ici appliquer le même principe que précédemment, tout en étant moins gêné par la topographie car la section d'écoulement (profil en travers) est déjà intégrée, puisqu'on raisonne en débit. Il faut toutefois tenir compte des débits des affluents lorsqu'ils sont jaugés. Cette méthode bilan est explicitée au paragraphe I.1.1.4. (Méthodes et bilans statistiques). L'applicabilité au Rhône de méthodes de bilan n'est pas aussi simple compte-tenu du rôle des ouvrages sur le Rhône, surtout à l'aval de Lyon. L'incertitude et l'incomplétude sur les données hydrauliques (erreur fréquente de 20% sur les débits aux stations de mesure) imposent d'avoir recours à d'autres méthodes et mécanismes d'évaluation des échanges qui font appel à des organismes biologiques (paragraphe I.1.2. Hydrobiologie : Invertébrés souterrains et I.1.3. Hydrobiologie : Macrophytes) ou à des

¹ Il existe aussi des aquifères volcaniques et des aquifères littoraux que nous laisserons de côté dans un premier temps compte-tenu de leur rareté le long du cours du Rhône.

méthodes hydrochimiques (paragraphe I.1.4. Hydrochimie : physico-chimie classique et isotopique).

- *Données disponibles : carte piézométrique, perméabilité de la nappe, section d'écoulement*

La seconde approche nécessite de disposer de suffisamment de mesures de niveau de nappe, auquel cas il est alors possible de construire des cartes piézométriques. Il devient alors plus facile de préciser le sens des échanges et de les évaluer de manière quantitative. C'est ce principe que nous avons utilisé pour le secteur de Brégnier-Cordon (Partie III. Application sur un site test : la chute CNR de Brégnier-Cordon) à l'aide la formule de Darcy explicitée au paragraphe suivant. Nous l'avons associée à une méthode d'évaluation des échanges fondée sur l'étude des débits des contre-canaux réceptacles privilégiés des eaux de nappes, sachant que les contre-canaux reçoivent aussi les eaux du Rhône percolant dans les digues (débit de fuite quantifiable avec l'approche Darcy), les eaux de ruissellement et les eaux de petits affluents.

Ces approches sont complémentaires. Toutefois, d'autres approches utilisées sur d'autres fleuves et cours d'eau méritent d'être examinées. On peut citer par exemple la thermométrie, le rayonnement infrarouge (photographies aériennes), la chimie isotopique, et des méthodes de bilans par analyses spectrales et corrélatoires expliquées au paragraphe I.1.1.4. (Méthodes et bilans statistiques) mais dont l'applicabilité au cas du Rhône n'est pas évidente.

L'évaluation des relations et des échanges nappe/rivière peut donc être approchée de différentes manières. Il est possible de mobiliser des méthodes quantitatives fondées sur des formules et solutions analytiques d'équations issues de l'hydrogéologie quantitative (Houdaille & de Marsily, 1969 ; Castany, 1990 ; de Marsily, 1981 ; Anus, 1998 ; Michal, 1988 ; Hantush, 1965 ; Bouchard, 1985 ; Peaudecerf, 1970, 1973 ; Durbec & al., 1991 ; Beraud & al., 1975, 1976 ; Carry, 1971), des modèles simplifiés implémentés sous SIG (ArcGISTM, module DarcyFlow), des modèles hydrogéologiques (Poligot-Pitsch, 2002 ; Triganon & al., 2003 ; Golaz & al., 1998 ; Dauvergne, 2003 ; Mimoun, 2004) et des méthodes bilans et statistiques (Danneville, 1997 ; Larocque & al., 1998 ; Mangin, 1984 ; Rambert, 1971). Ces méthodes ont été appliquées sur différents aquifères français et étrangers, à différentes échelles, allant de la nappe au bassin versant : la Garonne de ses sources à la confluence du Tarn (Danneville, 1997), la nappe de l'Hérault (Dubois, 1988), le Ried de Colmar (Esteves, 1988 ; Esteves & Ackerer, 1988), la plaine de l'Isère dans l'ombilic de Grenoble (Fourneaux, 1975), le bassin versant de la Nema au Sénégal (Lienou, 1996), la nappe alluviale du Rhin (Migayrou, 1975) ou enfin le bassin de l'île Domaniale en Alsace (Zilliox, 1989).

I.1.1.2. Méthodes quantitatives : formules et solutions analytiques, modèles simplifiés

Des formules de base de l'hydrodynamique (Darcy, Dupuit) permettent de calculer des caractéristiques hydrodynamiques, des débits et niveau des nappes. Des méthodes plus élaborées (Hantush, Peaudecerf, Beraud,...) sont davantage appliquées aux phénomènes d'infiltration et de drainance qui pourront intervenir ultérieurement dans l'évaluation des échanges nappes/rivière (Annexe 5.).

Dans cette partie nous présenterons uniquement la formule de Darcy qui sera mobilisée pour le calcul des débits de nappe sur le secteur de Brégnier-Cordon (Partie III. Application sur un site test : la chute CNR de Brégnier-Cordon). La formule de Darcy est la suivante :

$$Q=K.A.\frac{dH}{dL} \text{ avec :}$$

Q : débit en m³/s

K : perméabilité en m/s

A : section d'écoulement en m²

$\frac{dH}{dL}$: gradient hydraulique ou perte de charge (dH : variation du niveau piézométrique entre 2 puits ; dL : distance entre 2 puits)

Dans un premier temps, nous utiliserons cette approche pour calculer les débits de nappe. Il existe toutefois d'autres méthodes de calcul, mais celles-ci nécessitent davantage de données (essais de pompage, chroniques de débits, chroniques piézométriques, suivi de crues...).

1.1.1.3. Modélisation des échanges nappes-rivière

D'une manière générale, les modèles hydrogéologiques sont des outils qui permettent de rendre compte de phénomènes naturels ou anthropiques (inondations, pollutions,...). Il s'agit de modèles destinés à représenter le comportement des écoulements en rivière, en nappe ou en canal, les phénomènes de pollution de l'eau. Les modèles mathématiques dits déterministes fonctionnent à partir d'équations différentielles aux dérivées partielles. Les méthodes de résolution font appel à des schémas de discrétisation numérique : 1) aux différences finies (méthode répandue), 2) aux éléments finis, 3) de façon purement analytique lorsque la résolution des équations ne se fait plus numériquement.

Il faut s'assurer de la qualité des données qui seront introduites dans ces modèles, car la qualité des résultats en dépend très fortement (propagation des erreurs). Il existe plusieurs logiciels pour construire des modèles hydrogéologiques et hydrologiques : Modflow, Feeflow, Newsam, Aquifer test, ... pour les écoulements souterrains : Caredas, Hydroworks,... pour les écoulements en canaux)².

Ces modèles comportementaux de type déterministe peuvent être eux-mêmes composés de plusieurs entités. Par exemple, la modélisation des hydrosystèmes fait intervenir un modèle hydraulique pour l'écoulement des eaux superficielles (fleuve), un modèle hydrodynamique pour l'écoulement des eaux souterraines (nappe phréatique), un modèle de bassin pour les plans d'eau (lacs, étangs, gravières). Ces trois modèles sont interfaçables pour tenir compte des échanges entre les différents éléments de l'hydrosystème. Ce type de modèle permet de simuler le fonctionnement de l'hydrosystème modifié par différentes actions anthropiques comme l'exploitation de granulats ou les pollutions. La simulation de scénarios d'évolution permet d'apprécier l'influence de futurs plans d'aménagement sur l'hydrosystème.

Les modèles hydrauliques et hydrodynamiques, couplés à une base de données géographiques de type SIG, simulent la réponse de l'aquifère à l'aménagement, mettant ainsi en évidence les paramètres clés à prendre en compte (dimensionnement par exemple). Les résultats produits par ce type de modèle proposent une représentation physique de la ressource en eau, à partir d'objets hydrologiques pour visualiser les relations d'échanges (flux) entre ces objets et les bilans hydrologiques.

Il existe plusieurs méthodes de modélisation mathématique des écoulements avec lesquelles on peut tenter d'améliorer les représentations cartographiques. Parmi elles, on peut citer les modèles mathématiques aux différences finies avec un maillage régulier ou irrégulier pour mieux représenter les objets hydrologiques (Mimoun, 2004), et des modèles mathématiques par éléments analytiques qui permettent de prendre en compte encore plus exactement la forme des objets hydrologiques (ex : contours curvilinéaires des nappes, des lacs, des cours d'eau,...) et donc la réalité de terrain (Dauvergne & al., 2003).

L'évaluation quantitative des échanges entre écoulements de surface et souterrains fait l'objet d'une activité de modélisation relativement importante. Ceci, dans un but de compréhension et d'analyse des phénomènes d'échange ou pour prévoir leur évolution par simulation. Cette évaluation s'inscrit le plus souvent dans un cadre de modélisation de systèmes aquifères. L'analyse bibliographique de ces modèles conduit à distinguer :

² www.waterloohydrogeologic.com ; www.scisoftware.com

- 1 – la nature ou le type de modèle développé (déterministe, stochastique),
- 2 – les données qu'il utilise en entrée,
- 3 – les résultats produits,
- 4 – le principe de modélisation (discrétisation, résolution numérique, mode de calibration),
- 5 – le domaine d'usage (simulation, gestion, aide à la décision, analyse du comportement des hydrosystèmes, caractère expérimental) et l'utilisateur,
- 6 – le calcul des échanges avec un cours d'eau lorsque l'aquifère est connecté à un écoulement superficiel
- 7 – les logiciels utilisés pour le prétraitement (organisation des données, articulation avec 1 SIG) ou le post-traitement (visualisation) avec leurs avantages ou leurs inconvénients,
- 8 – enfin, les références (auteurs, date, publication, documentation)

Les modèles couplés eaux souterraines – eaux de surface peuvent être utilisés pour évaluer les échanges nappes-rivières. Il s'agit de modèles combinant les écoulements sur les bassins versants, leur infiltration dans le milieu souterrain et leur connexion éventuelle avec un cours d'eau.

• Modèles couplés eau souterraine-écoulement en rivière

Le principe du couplage est dit externe car il se fait par échange de fichiers, les résultats du module « eau souterraine » étant introduits en tant que données dans le « module rivière » ou réciproquement. Les données échangées sont : le flux sortant ou entrant après calcul de l'écoulement souterrain, les hauteurs d'eau calculées par le module « eau de surface » et introduites en conditions limites dans le module « eau souterraine ».

Le couplage est réalisé par l'interface entre les deux domaines et par conséquent par l'intermédiaire des conditions aux limites. L'eau libre agit sur l'écoulement souterrain comme une condition de Dirichlet (hauteur imposée). L'écoulement souterrain agit sur l'eau libre par le biais d'une condition de Neuman (débit imposé normal aux berges). Le caractère dynamique de l'échange peut faire intervenir des conditions de suintement.

Le principal problème qui subsiste est celui du temps puisque les temps caractéristiques des deux types d'écoulement sont très différents (de l'ordre du dm/s pour l'eau de surface, de quelques mm/s dans les nappes).

Le module « rivière » : Il est fondé sur la dérivation des équations de St-Venant (qui peuvent être simplifiées pour modéliser le ruissellement provenant des bassins versant et se propageant dans le cours d'eau).

Le module « écoulements souterrains » : Il utilise généralement les équations d'écoulement en milieu poreux selon les cas non saturé et/ou saturé.

On y retrouve l'équation de Darcy combinée avec l'expression de la conservation de la masse pour obtenir l'équation générale de diffusivité qui est ensuite discrétisée en 2D ou 3D selon le maillage du domaine étudié. Cependant l'équation de Darcy n'étant pas valable au-dessus d'une certaine vitesse qui n'est plus liée au gradient hydraulique (pour un nombre de Reynolds $1 < Re < 10$), on utilise la relation de Forchheimer. On obtient l'équation d'écoulement en milieu poreux pour la zone non saturée dont la forme variationnelle peut faire l'objet d'une modélisation aux éléments finis si le sol n'est pas homogène (les différences finies peuvent suffire si l'aquifère est homogène sur la portion du domaine étudié). Les conditions aux limites de type Dirichlet, Neuman et Cauchy sont définies :

- Dirichlet : pour imposer la charge piézométrique, le long d'un contact avec un plan d'eau, une rivière,

- Neuman: pour représenter une partie de contour imperméable en imposant le flux qui le traverse,
- Cauchy: spécifiant que le flux traversant un contour dépend de la charge piézométrique sur ce contour (contact nappe-rivière, ou nappe-canal dont l'étanchéité peut varier).

Généralement, les hauteurs d'eau sont imposées à l'amont et à l'aval du cours d'eau. Les apports des affluents ou torrents sont représentés par des débits imposés (Q imposés). L'équation de Richards peut être également utilisée dans les modèles pour la modélisation des écoulements à la fois dans la zone non saturée et dans la zone saturée (thèse Lemacha, 2006). En général, le cours d'eau est représentée par des mailles rivières telles que $Q \text{ échange} = C (H_r - H_n)$ avec C conducteur, paramètre de calage au même titre que la perméabilité K. Le calage est effectué sur le mode essai-erreur en comparant données observées et calculées (Q rivière ou hauteur de nappe).

Ce type de couplage a été utilisé pour évaluer l'influence des remontées de nappe dues aux crues de la Loire aval par exemple (Poligot-Pitsch, 2002) en ayant recours à :

- une modélisation aux éléments finis 2D et 3D développée sur Matlab de l'écoulement souterrain en régime stationnaire et transitoire (logiciel NSAT) ;
- au progiciel CESAR (maillage 2D et 3D), et au logiciel d'éléments finis SEEP/W de Géoslop-International pour la modélisation des infiltrations.

Exemple 1 : Echanges nappe-rivière en vallée alpine (Triganon & al., 2003)

Dans le cadre de projets d'irrigation et d'hydroélectricité, une démarche relativement identique a été développée pour la modélisation des échanges nappe/rivières aux aquifères alluviaux de montagne dans la Vallée d'Aoste (vallée Alpine de la Doire). Il s'agit d'aquifères libres hétérogènes et étroits (ombilics) localement superposés. La modélisation a mis en évidence les apports par des cônes de déjection et par le substratum. Le modèle fonctionne en régime stationnaire selon une discrétisation bi couche (1 couche par nappe superposée à l'aval) en volumes finis rectangulaires de taille variable (20m² soit (400 x 240 m) – 5604 cellules actives par couche). Les données en entrée de modèle sont issues de mesures géophysiques et piézométriques (61 puits, 217 piézomètres et 3 mesures de débit en rivière pour 27km²). Les apports des versants restent toutefois limités et les gradients hydrauliques sont de 73 à 7.10⁻³. L'étude des caractéristiques isotopiques (deutérium 3H) indiquent un faible renouvellement des eaux.

Le modèle fondé sur l'utilisation du logiciel MODFLOW a servi à réaliser des simulations de hauteurs de nappe en fonction des hauteurs d'eau dans la rivière. La modélisation a permis d'affiner la délimitation des zones d'échanges et la simulation des effets liés aux perturbations de ces échanges. Le module zone budget de Visual ModFlow a permis de calculer la répartition des teneurs en sulfates par rapport aux mesures de terrain pour une étude de l'évolution des sulfates. Le calage du modèle a été effectué en période de moyennes et basses eaux. Les résultats obtenus montrent l'influence des relations nappes/rivières sur la physico-chimie des eaux et ont permis d'aboutir à une cartographie des échanges nappe/rivière en hautes eaux et basses eaux.

Exemple 2 : Les principes du modèle couplé, illustration sur le bassin du Rhône (Golaz & al., 1998)

Sur le bassin versant du Rhône une opération de modélisation intégrée (écoulement de surface, écoulement souterrain, échanges nappes/rivière) a été amorcée. Le modèle développé dans le cadre du projet GEWEX-Rhône fonctionne aux différences finies selon des mailles carrées emboîtées de taille variable. Les débits d'échange entre la nappe et le Rhône peuvent être calculés de la même manière que précédemment par calage d'un coefficient de transfert (Tp en m²/s) entre la rivière et la nappe, et en fonction des niveaux d'eau dans la rivière et dans la nappe sur la même maille. Les données en entrée de modèle sont issues de : la base de données Corine Landcover pour

l'occupation du sol, de la banque Hydro pour les données hydrologiques et du système Safran pour les données météorologiques. Cependant le modèle (Newsam) conçu pour un fonctionnement en régime permanent et transitoire, comporte un nombre impressionnant de mailles atteignant plusieurs dizaines de milliers ce qui n'est pas sans influence sur la convergence des résultats. Il est intéressant d'approfondir l'examen des travaux réalisés dans le cadre de ce projet notamment en matière de données sur les échanges nappes/Rhône.

- **Conclusion :**

L'applicabilité de ce type de couplage semble théoriquement possible mais difficilement réalisable à l'échelle d'un bassin versant comme le Rhône. La disponibilité de nombreuses données est nécessaire et dépend de la nature du couplage : 2D souterrain – 1D surface, 3D souterrain – 2D surface.

Les difficultés rencontrées concernent essentiellement la construction du maillage à l'échelle d'un bassin versant comme le Rhône, et des problèmes de convergence dus à la taille des mailles.

L'opération de calage est délicate puisqu'elle fait intervenir plusieurs paramètres (K et C) ainsi que des jeux de données différents (débits en rivières et hauteurs de nappes).

Les avantages des systèmes aux éléments finis sont la prise en compte des hétérogénéités de l'aquifère grâce aux éléments finis par rapport à MODFLOW ou MARTHE (BRGM) fonctionnant aux différences définies.

Les modèles en 1D d'écoulement de surface aux éléments finis nécessitent des simplifications et ne fonctionnent que pour des hauteurs d'eau faibles (1m maximum) avec fond plat, pente simple, pente double ou cuvette comme dans les écoulements en canal. Enfin, le choix du pas de temps reste problématique, et l'influence de l'érosion et de la stabilité des berges n'est pas prise en compte. La prise en compte de contre-canaux ou de barrages (modélisation de l'avancement du front d'eau par courbe de remous) le long du cours d'eau n'est pas toujours prévue.

Finalement, le calcul des échanges sur les mailles du modèle en connexion avec la rivière se fait par calage des conducteurs qui permettent de calculer les débits d'échange. Cela est possible puisque cette maille est en équilibre avec les autres du fait de la propagation du calcul dans tout le maillage.

Les équations mathématiques qui interviennent dans les différents modèles, les schémas de résolution numérique utilisés sont décrits dans les références bibliographiques consultées (Poligot-Pitsch, 2002 ; Triganon & al., 2003 ; Golaz, Gomez & Ledoux, 1998 ; Dauvergne, 2003 ; Mimoun, 2004).

Le degré d'opérationnalité de ces modèles peut être évalué sur des critères assez simples :

- performance : dépend de la qualité des données (résolution). Ils sont très efficaces sur le plan informatique car le temps de calcul est réduit pour les simulations ;

- alimentation en données : le modèle doit être calé ou calibré par rapport à des mesures de terrain sinon il ne peut pas permettre d'effectuer des simulations. Les données sont aussi essentielles pour fixer les conditions limites, géométriques, et hydrodynamiques indispensables à la construction du modèle. Finalement, il faut savoir identifier les paramètres de sensibilité du modèle qui permettent d'aboutir à son calage qui peut être complété à l'aide de paramètres qui ne sont plus de nature purement physique mais également biologique (bio-indicateurs végétaux ou animaux) ;

- simplicité d'utilisation : l'utilisation de ce type de modèle nécessite une formation appropriée ;
- réalisme : ces modèles constituent des outils permettant d'étudier les mécanismes physiques impliqués (ex : échanges nappe/rivière) mais aussi de simuler des impacts d'aménagements hydrauliques. Leur utilisation combinée avec des SIG permet d'en prédéterminer le fonctionnement et la visualisation spatiale des résultats ;
- crédibilité : ces modèles constituent des argumentaires spatiaux peu convaincants pour des non-spécialistes en hydraulique et nécessitent d'être comparés avec d'autres données, biologiques par exemple pour des modèles d'écoulement.

1.1.1.4. Méthodes bilans et statistiques

Le travail de Danneville (1997) propose une qualification et une quantification des apports souterrains provenant des aquifères en étiage sur tout un cycle hydrologique. Cette méthode nécessite :

- de nombreuses données, comme les débits moyens journaliers, les précipitations journalières sur des périodes longues, tant sur le fleuve que sur ses affluents, afin de pouvoir étudier des cycles hydrologiques secs et humides ;
- une bonne connaissance des modifications anthropiques tels les barrages énergétiques, les canaux, les prélèvements (AEP, irrigation, industries) ;
- la réalisation de schémas hydrauliques tenant compte des entrées et des sorties d'eau naturelles et artificielles (contribution aux débits des affluents, des canaux, dérivation, exutoires...) ;
- une décomposition hydrodynamique des hydrogrammes en fonction du comportement des aquifères pour déterminer leurs apports aux eaux de surface ;
- une étude des courbes de tarissement pour une quantification des réserves souterraines.

• Contribution des affluents au débit du fleuve

Au départ, il est nécessaire de construire le schéma hydraulique et de reconstituer les débits naturels. Pour cela, il faut tenir compte :

- des barrages : il y a en effet une différence entre débit mesuré et débit naturel au niveau des barrages en fonction de leurs capacités de stockage et de déstockage. Il est important de comparer les deux types de débits pour connaître l'impact des aménagements. Sur un cycle hydrologique, l'effet du barrage est souvent nul (sauf s'il est soumis à des prélèvements), par contre il est très important au pas de temps mensuel ;
- des canaux : les débits prélevés et les débits rendus font varier le débit naturel ;
- des prélèvements : AEP (sources, puits, forage, prise en rivière), industriels, et agricoles (nappe libre, rivière en période estivale). Le plus souvent, ce type de prélèvements est sous-estimé. Il est possible de réévaluer les captages en fonction de la surface irriguée. D'une manière générale les captages en nappe et en rivière ne sont pas tous connus.

La contribution des affluents au débit du fleuve peut être évaluée à l'aide des débits moyens journaliers sur différentes échelles de temps :

- sur des périodes longues (15 ans) pour le calcul des apports moyens ou débits moyens journaliers pluriannuels, car ils gommant l'influence des barrages et des ouvrages. Il est ainsi important de connaître la date d'installation des ouvrages pour éviter des problèmes sur les calculs des débits ;
- sur les cycles hydrologiques (1 an ou plus), avec au moins un cycle sec et un cycle humide (hautes-eaux et basses-eaux). L'étude peut se faire à partir d'une année sèche (faible

pluviométrie) et d'une année humide (forte pluviométrie) en considérant la pluviométrie moyenne journalière sur le cycle ;

- sur des périodes mensuelles (hautes-eaux et basses-eaux). L'étude des apports en période d'étiage est intéressante car ces apports sont alors essentiellement souterrains, sauf en cas de pluie estivale. Ici, la distribution des apports révèle les principales zones de réserves souterraines. Les apports en période de hautes-eaux permettent de discriminer les apports souterrains des apports dus au ruissellement.

En conclusion, l'utilisation des débits issus des chroniques de cycles hydrologiques ou mensuels permet de quantifier les apports qu'un fleuve reçoit de ses affluents, et d'estimer l'influence des variations climatiques interannuelles sur les débits moyens. Sur des périodes longues (pluriannuelles), il apparaît que l'influence des prélèvements pour des canaux n'est pas négligeable, au contraire de l'influence des barrages. Il est aussi possible de mettre en évidence les zones régulatrices des bassins en comparant les cycles hydrologiques et les débits mensuels. Un travail sur les débits d'étiage permet de mettre en évidence la répartition des réserves souterraines.

• **Contribution des eaux souterraines aux débits des eaux de surface**

L'étude de Danneville (1997) tient compte du comportement différent des aquifères alluviaux et karstiques.

~ Détermination des apports des aquifères alluviaux

Les aquifères alluviaux étant généralement des nappes libres associées à un cours d'eau, les échanges ont lieu dans deux sens, soit la rivière a un rôle drainant, soit la rivière à un rôle d'alimentation.

L'étude de ces apports peut se faire selon plusieurs méthodes :

- *utilisation des pluies efficaces* (fraction de précipitation intervenant dans la recharge de l'aquifère) fondée sur un bilan hydrique annuel intégrant : précipitation, l'ETP (Evapotranspiration Potentielle), l'ETR (Evapotranspiration Réelle), la RFU (Réserve Facilement Utilisable). Ici, le problème est qu'il faut supposer que la nappe a un comportement dynamique saisonnier, ce qui n'est pas toujours le cas. En effet, une partie des pluies peut servir à la recharge de la nappe suite à des cycles déficitaires.

- *utilisation des stations hydrométriques* (en amont et en aval de la nappe) en effectuant une soustraction des débits entre deux stations hydrométriques placées en amont et en aval de la nappe alluviale. Si l'on travaille sur des stations proches, il est possible d'utiliser un pas journalier. Si l'on travaille sur des stations éloignées, il est préférable d'utiliser un pas hebdomadaire, mensuel ou annuel en raison du déphasage entre les deux hydrogrammes).

Cette méthode est possible sur des secteurs où la nappe couvre toute la superficie du bassin entre les deux stations. Il est aussi nécessaire d'avoir des chroniques de débits sur une période identique, et de s'assurer de la sensibilité des stations par analyses corrélatoires et spectrales.

- *utilisation de relevés piézométriques à un instant donné* fondée sur les cartes piézométriques hautes-eaux et basses-eaux (évolution du niveau de la nappe et des réserves) et le coefficient d'emmagasinement par pompage d'essai (évaluation du volume des réserves). Un enregistrement continu sur un point permet de déduire la variation des réserves sur un aquifère homogène, continu, avec transmissivité unique. Sinon, il est nécessaire d'avoir un enregistrement sur plusieurs points. Cette méthode permet de déterminer les apports potentiels de la nappe au réseau hydrographique de façon permanente.

- *décomposition de l'hydrogramme* fondé sur sa séparation en une partie souterraine et une partie de ruissellement de manière graphique. Cette méthode, appelée aussi analyse spectrale et corrélatoire, nécessite une bonne connaissance du bassin hydrogéologique.

Ce type d'étude nécessite le recueil de nombreuses données : surface du bassin, nature des formations géologiques, nature des alluvions (épaisseurs mouillées, transmissivités), modes

d'alimentation (précipitation, autres aquifères, eaux de surface), niveaux piézométriques (sens d'écoulement), coefficient de tarissement.

Si les débits ne sont pas utilisables (déphasage des chroniques, imprécision des mesures, corrélation trop forte entre les débits de deux stations trop proches), il est possible d'utiliser une analyse corrélatoire et spectrale des hydrogrammes pour estimer de manière qualitative si la nappe alimente la rivière. La quantification des échanges nécessite des mesures piézométriques.

Il existe des logiciels pour réaliser ces analyses :

1) Stochastos (CNRS Moulis) : pour l'étude de chroniques et analyses corrélatoires et spectrales (ACS) ;

2) Recess (CNRS Moulis) : pour l'analyse de la décrue et du tarissement des hydrogrammes (coefficient de tarissement, volume de tarissement, coefficient de la décrue).

Selon Mangin (1984), l'étude de séries chronologiques de données (pluies, débits, niveaux d'eau...) constitue un moyen de décrire les aquifères. Ces données sont complexes à étudier car elles sont à la fois structurées (dépendantes dans le temps) et aléatoires. Il s'agit de variables régionalisées. Elles peuvent être traitées par des méthodes fondées sur des modèles visant à prévoir, contrôler des données ou reconstituer des valeurs manquantes. Parmi ces modèles, on peut citer celui de Box & Jenkins utilisé par Košmelj (1982) pour caractériser et étudier les relations des nappes de Brégner-Cordon (Partie III. Application sur un site test : la chute CNR de Brégner-Cordon). Toutefois, avant d'élaborer des prévisions, il est nécessaire de connaître la structure et le fonctionnement des systèmes aquifères étudiés. Pour cela, il est possible de s'appuyer sur des méthodes géostatistiques comme l'analyse des courbes de récession, des débits classés, des niveaux piézométriques, de la caractérisation de la pluviométrie ou les analyses corrélatoires et spectrales.

Les analyses corrélatoires, fondées sur l'étude de corrélogrammes, permettent de mettre « en évidence la dépendance d'événements entre eux pour des intervalles de temps de plus en plus grand ; il traduit par conséquent la mémoire du système³ ». D'un autre côté, « l'approche spectrale est duale de l'approche corrélatoire, elle exprime dans le domaine fréquentiel ce dont le corrélogramme rend compte dans le domaine temporel » (Mangin, 1998). De telles analyses peuvent être aussi utilisées pour traiter des données comme la température ou la chimie des eaux.

~ Détermination des apports des aquifères karstiques (Larocque & al., 1998)

Ce travail d'étude fonctionnelle des aquifères karstiques nécessitent aussi de nombreuses données : coefficient de compacité, volume dynamique moyen (volume des réserves souterraines), altitude, débits moyens interannuels (Qmi) pour distinguer les périodes pluvieuses, coefficient de tarissement pour estimer le volume des réserves souterraines, débits moyens par cycle (Qmc).

Les bassins karstiques sont étudiés en tant que systèmes hydrologiques avec signal d'entrée (précipitations) et signal de sortie (débits). Ces signaux sont étudiés avec des analyses corrélatoires et des analyses spectrales. Ces analyses permettent de mettre en évidence : le pouvoir régulateur d'un karst ou d'un bassin, l'importance des réserves, la mémoire du bassin. L'étude de tarissement permet d'identifier des réservoirs souterrains mal connus et sous-estimés.

~ Bilan

On peut ainsi comparer le comportement dynamique des aquifères karstiques et poreux et des systèmes hydrologiques de surface grâce à des corrélogrammes. Ils permettent de mettre en évidence le rôle régulateur des systèmes hydrologiques et des nappes alluviales, plus important que celui des karsts. Le cycle saisonnier est bien marqué pour ces derniers, plus que pour les aquifères poreux. De manière générale, une baisse régulière de la piézométrie peut montrer des prélèvements humains.

³ Ceci est surtout vrai pour les systèmes karstiques qui sont des systèmes à mémoires liées à l'importance des réserves et à la nature de l'aquifère.

On peut aussi relier les réserves souterraines à la variabilité des effets du climat sur les écoulements grâce à des analyses corrélatoires et spectrales, en séparant fonction de transit (écoulement de l'eau par un drain dans les aquifères karstiques, écoulement de l'eau par la rivière dans les systèmes hydrologiques de surface) et fonction captive (systèmes annexes dans les karsts, eaux souterraines et neige pour les systèmes de surface).

L'évaluation des réserves se fait en fonction de chroniques de débit. Un travail sur des chroniques de 15 ans produit des résultats satisfaisants. Les corrélogrammes permettent de classer les bassins selon qu'ils ont des réserves neigeuses dominantes, des réserves souterraines et neigeuses importantes, des réserves souterraines importantes, des réserves souterraines plus faibles, ou enfin aucune réserve.

L'étude de la tendance de l'évolution des débits, et la comparaison avec l'évolution de la pluviométrie, permet de voir l'importance des prélèvements humains. On utilise des moyennes mobiles pour évaluer les tendances. La dynamique des bassins est plus ou moins sensible aux conditions climatiques, et ceci est lié au rôle régulateur des réservoirs neigeux et souterrains. Il existe ainsi des rivières sans réserve notable, ou avec des réserves uniquement souterraines et/ou neigeuses.

L'estimation des apports souterrains et des réserves souterraines sur des bassins nécessite de travailler sur des cycles hydrologiques, sur le volume de tarissement pour les aquifères poreux (période longue de récession des débits après crue sur une période de calcul de 20 ans au moins) et sur le volume dynamique plutôt que de tarissement en aquifères karstiques. Ce type de calcul est réalisé grâce à la formule de Maillet. Il est ainsi possible d'évaluer le volume des réserves souterraines et leur évolution dans le temps. Le tarissement peut être influencé par les aménagements, la neige, la pluie, et doit donc être corrigé en conséquence. De plus, il faut penser que l'écoulement souterrain existe aussi pendant la phase de décrue, et que le volume réel est donc toujours supérieur au volume de tarissement.

La décomposition hydrodynamique de l'hydrogramme d'une crue simple peut se faire selon plusieurs méthodes : les méthodes classiques (Castany), les méthodes semi-logarithmiques, et la méthode Langbein. Danneville (1997) propose quant à lui une nouvelle méthode tenant compte des aménagements (détournement d'eau ou modification du régime par stockage/déstockage) et de la fonte des neiges. Le travail est effectué sur un hydrogramme où on retire le débit correspondant à la fonte des neiges et corrigé en fonction des débits dus aux aménagements. La décomposition de l'hydrogramme en une composante souterraine et en un ruissellement est réalisée par extrapolation de la courbe de tarissement jusqu'au pic de crue (pour les aquifères à réaction rapide) ou un mois après le pic de crue (pour les aquifères poreux).

Ces méthodes présentent leurs limites. Elles sont surtout valables sur des tronçons où la nappe alimente la rivière. En effet, les bilans ne tiennent pas compte de la recharge des aquifères alluviaux par la rivière ou le fleuve. De plus, elles ne sont sans doute pas très utilisables pour des fleuves où les débits sont trop importants par rapport aux apports potentiels des nappes. Sur le Rhône, leur utilisation en aval de la confluence avec la Saône semble compromise. Ceci reste à confirmer dans les prochaines étapes du travail. Par contre, l'apport des méthodes hydrochimiques mérite d'être examiné car elles peuvent produire des résultats intéressants des échanges nappe/river.

1.1.2. Hydrobiologie : invertébrés souterrains

Dans le but de repérer, puis de cartographier les circulations d'eaux souterraines dont l'observation directe est impossible, Marmonier (1988) s'est attaché à rechercher des descripteurs de fonctionnement hydrologique choisis dans la physico-chimie des eaux interstitielles, de la granulométrie et de la physico-chimie des sédiments ainsi que dans la faune interstitielle.

Sur le secteur amont du Canal de Miribel, trois groupes de paramètres chimiques des eaux interstitielles ont ainsi été identifiés : 1) les sulfates qui permettent de localiser les zones d'infiltration d'eau superficielle où ils atteignent des valeurs proches de celles mesurées dans le Rhône, 2) la conductivité, la dureté, l'alcalinité et la teneur en silice qui permettent de localiser les zones de transformation physico-chimiques des eaux au contact des sédiments et d'estimer leur trajet parcouru depuis leur infiltration, et 3) les nitrates, qui permettent de localiser les arrivées d'eaux souterraines provenant de la rive (si cette dernière est assez oxygénée pour interdire tout processus dénitrifiant) ou de la profondeur des sédiments. En revanche, l'utilisation de la granulométrie et de la physico-chimie des sédiments semble interdire tout choix de descripteurs fiables.

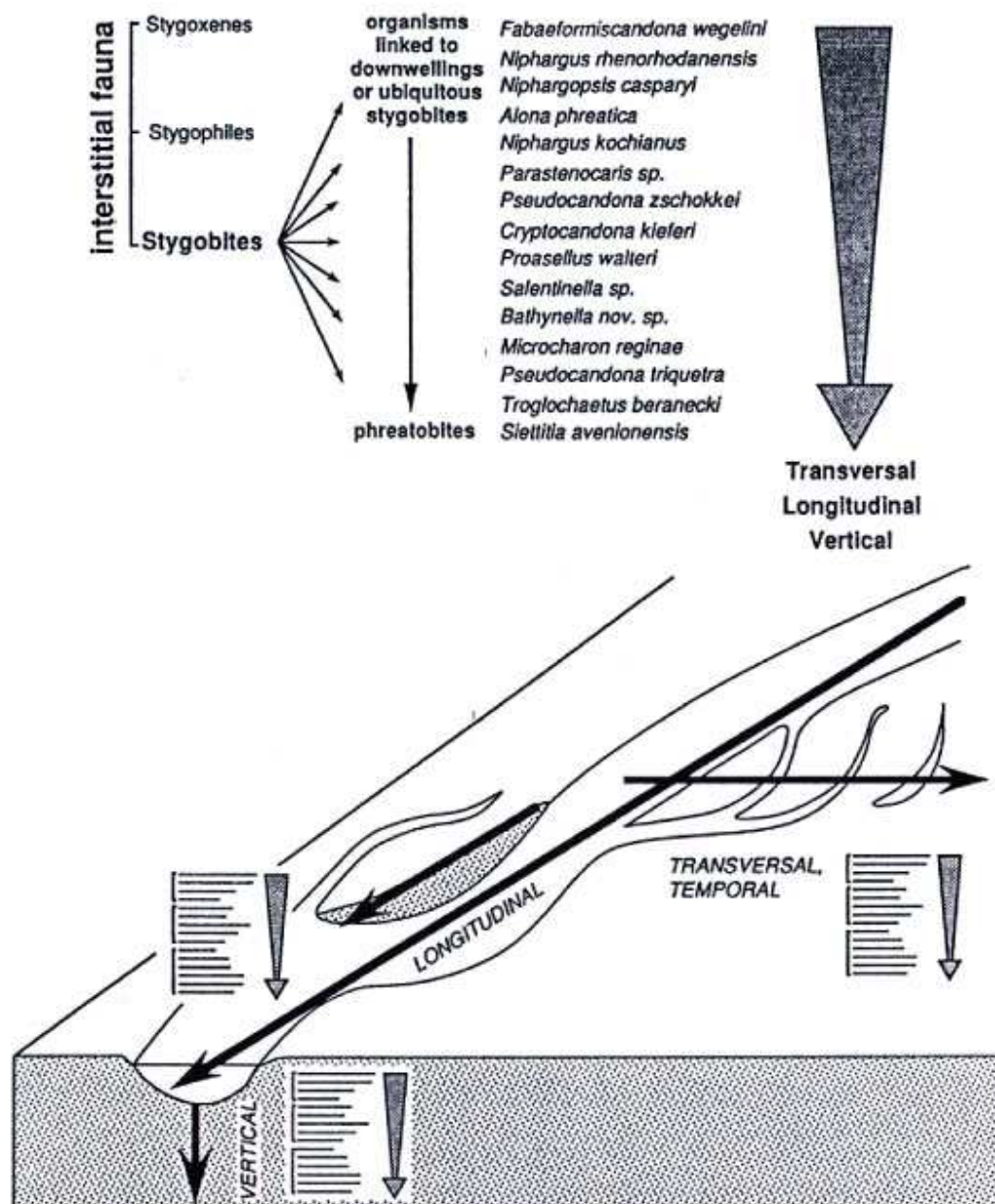


Figure 3. Liste ordonnée de la faune stygobie du Rhône à l'amont de Lyon. L'ordination proposée correspond à la fois aux gradients verticaux, transversaux et longitudinaux (D'après Dole-Olivier et al. 1993).

Mais plus que les facteurs abiotiques, ce sont les descripteurs biotiques, à savoir les organismes, qui fournissent le plus de renseignements permettant la reconstitution des circulations d'eau dans le milieu interstitiel. Toutefois, Marmonier (1988) souligne qu'il serait indispensable de

conserver les descripteurs biotiques et abiotiques, la redondance et la complémentarité des informations qu'ils apportent renforçant les images des échanges entre eaux superficielles et souterraines. La priorité étant donnée pour le moment au rassemblement des données faunistiques, les données physico-chimiques des eaux interstitielles seront considérées ultérieurement. L'intégration de ce type de données dans la base est souhaitable à moyen et long terme.

La relation très claire existant entre l'origine et le mode de circulation des eaux dans les sédiments, et la structuration spatio-temporelle des peuplements interstitiels à différentes échelles a permis d'envisager la possibilité d'utiliser les taxons stygobies comme descripteurs biologiques des échanges entre eaux de surface et eaux souterraines (Ginet 1982, Marmonier 1988). Dans cette perspective, Dole-Olivier et al. (1993) ont proposé, pour le secteur Rhône en amont de Lyon, une liste de 15 taxons stygobies ordonnés selon un gradient croissant de sensibilité aux fluctuations environnementales dans les trois dimensions spatiales de l'hydrosystème fluvial (Figure 3.).

Espèces	Types d'écosystèmes	Origine de l'eau interstitielle	Importance des flux souterrains	Stabilité physique du milieu
<i>Fabaeformiscandona wegelini</i>	Chenal actif du cours d'eau	Eau de surface en infiltration	?	Supporte une certaine instabilité
<i>Pseudocandona zschokkei</i>	Chenal actif et lône proches du chenal	Eau de surface transformées et para-écoulement	?	Pas de préférence marquée
<i>Cryptocandona kieferi</i>	Lônes de position intermédiaire	Para-écoulement	Flux forts	
<i>Schellencandona triquetra</i>	Lônes isolés du système	Eau de nappe exclusivement	Flux faibles	Grande stabilité du régime hydrologique

Figure 4. Tableau des informations apportées par les quatre espèces de Candoninae stygobies (Crustacés Ostracodes) des plaines alluviales de l'Ain et du Rhône (D'après Marmonier 1988).

Présentant des valences écologiques différentes (ex. Ostracodes Candoninae : Figure 4.), ces taxons permettent, d'une part, le repérage des circulations souterraines en apportant des informations sur l'origine de l'eau interstitielle et l'importance des échanges entre le cours d'eau et sa nappe, et d'autre part, leur sensibilité aux crues en fait de bons indicateurs de mesure du degré de stabilité physique du milieu. En fonction de leurs valences écologiques, ces taxons stygobies regroupent (Marmonier 1988, Dole-Olivier et al. 1993) :

- des organismes sensibles aux caractéristiques du sédiment (ex. granulométrie, teneur en matière organique) dans les zones d'infiltration des eaux de surface ou de zones d'arrivées d'eaux souterraines. Par exemple, les espèces stygobies telles que *Fabaeformiscandona wegelini* et *Niphargopsis casparyi*, sont presque uniquement trouvées en amont de bancs de graviers dans le chenal actif du Rhône, où les circulations d'eau sont intenses, les sédiments bien oxygénés et enrichis en matière organique par les arrivées d'eau superficielle. Au contraire, d'autres espèces qualifiées de phréatobies telles *Proasellus walteri* et *Pseudocandona zschokkei* se développent préférentiellement dans les zones aval de banc de graviers où les teneurs en oxygène et en matière organique ainsi que les densités de prédateurs (ex. *Niphargus sp.*) sont plus faibles. D'autres espèces phréatobies, plus rares et plus sensibles à la stabilité physique des sédiments telles *Microcharon reginae* et *Schellencandona triquetra*, ne développent pas de populations stables à de faibles profondeurs dans le chenal actif du Rhône, mais colonisent préférentiellement les habitats

interstitiels à forte stabilité physique telles les annexes les plus éloignées du chenal actif et donc isolées du réseau hydrographique de surface.

- des organismes sensibles aux caractéristiques hydrauliques quelles que soient les caractéristiques du sédiment. Par exemple, les genres *Salentinella* sp. et *Parastenocaris* sp. sont caractéristiques des zones d'arrivées des eaux souterraines, leurs distributions spatio-temporelles étant étroitement liées aux zones de circulation ou d'apport des eaux phréatiques.

- des organismes ubiquistes tel *Niphargus rhenorhodanensis*, une des rares espèces stygobies trouvée dans tous les types d'eaux souterraines (hyporhéique, phréatique et karstique) et parfois dans le milieu benthique.

Il convient de rappeler ici que les descripteurs de fonctionnement n'ont souvent de valeur que dans un système donné. La faune stygobie peut ne pas être toujours aussi diversifiée (ex. secteur de Donzère-Mondragon) que dans la plaine alluviale de l'Est lyonnais et des études comparatives dans d'autres secteurs du Rhône (ou dans d'autres fleuves) seront certainement nécessaires afin de vérifier l'efficacité des descripteurs faunistiques utilisés. De plus, la faune stygobie est généralement caractérisée par un fort degré d'endémisme, les espèces pouvant être limitées à un seul aquifère (Dole-Olivier et al. 2005, Ferreira 2005). Par exemple, au niveau du secteur de Miribel-Jonage, les aquifères fluviaux des rives droite et gauche du Rhône contiennent respectivement 29 et 21 espèces avec seulement 16 espèces en commun (Ferreira, données non publiées). Parmi les espèces interstitielles, les oligochètes présentent globalement un degré élevé d'ubiquité et d'eurytopie (Lafont 1989). A ce titre, la distribution spatiale des Oligochètes est peu dépendante du contexte éco-régional autorisant des études comparatives entre sites géographiquement éloignées (Lafont et Vivier 2006).

Compte tenu de l'importance des eaux souterraines dans la dynamique de leur répartition, les oligochètes ont fait, depuis la fin des années 1980, l'objet d'un travail de recherche spécifique visant au développement d'un outil fiable de description biologique du degré de pollution des eaux et des sédiments (Lafont 1989). Le développement de ce travail a, entre autres, conduit Lafont et al. (1992) au développement du concept d'*Active Exchange Describers* (AED). **Ce concept s'appuie sur la relation étroite existante entre les mesures hydrauliques (vitesse de filtration) et la distribution spatiale de certaines espèces d'oligochètes dans les sédiments.** Les oligochètes considérés comme des AED correspondent à des espèces qui 1) exploitent essentiellement les eaux souterraines et 2) qui prédominent dans les sédiments superficiels lorsque les vitesses de filtration à travers les sédiments hyporhéiques sont importantes. **L'examen des espèces d'oligochètes AED permet en outre de décrire le sens privilégié des échanges entre le cours d'eau et sa nappe** (Lafont et Durbec 1990, Lafont et al. 1992). Une liste d'oligochètes AED a été proposée (Lafont 1989, Lafont et al. 1992) et est régulièrement mise à jour (Figure 5.).

Hydrologically validated AED

Spirosperma velutinus, all the Rhyacodrilinae and Phallo-drilinae species, including *Rhyacodrilus coccineus*, all the species belonging to the Genera *Pristina* and *Pristinella*, *Chaetogaster parvus*, *Stylodrilus* spp., including *S. heringianus****, *Rhynchelmis* spp., *Trichodrilus* spp., *Bichaeta sanguinea* (all the Lumbriculidae, except *Lumbriculus variegatus*), *Cernosvitoviella* spp., including *C. atrata*** and *C. carpatica***, *Achaeta* spp., *Marionina argentea*** *Haplotaxis gordioides***;

*Dorydrilus michaelsoni***;

*Propappus volki***

Suspected AED (need for validation)

Bothrioneurum spp., *Aulodrilus pigueti*, *Quistadrilus multisetosus*, *Haber* spp., *Lumbricillus fennicus*,

Tubifex kessleri, *Mesenchytraeus armatus*, *Nais communis*** (eyeless populations)

**mentioned in the surface and hyporheic sediments of the glacial river Roseg (Malard et al., 2001).

Figure 5. Tableau de la liste des espèces d'oligochètes AED (d'après Lafont et Vivier 2006).

En l'état actuel, les données rassemblées dans la base permettent d'envisager deux approches méthodologiques pour l'évaluation des échanges superficiels/souterrains sur le secteur test sélectionné, la première portant sur l'ensemble des groupes taxonomiques composant les peuplements interstitiels, et la seconde portant plus spécifiquement sur les seuls peuplements d'oligochètes.

1.1.2.1. Utilisation des espèces interstitielles pour définir les échanges eaux de surface/eaux souterraines

Sur l'ensemble des stations de ce secteur, la faune récoltée dans le milieu interstitiel pourrait permettre, dans un premier temps, d'identifier la structuration spatiale des peuplements interstitiels, tous groupes taxonomiques confondus. Néanmoins, l'hétérogénéité des données rassemblées dans la base incluant la variabilité du niveau de détermination des organismes selon les groupes faunistiques, de la profondeur des échantillons (généralement comprises entre 20 cm et 2 m) et de la période d'échantillonnage (été / hiver, étiage / crues) soulève le problème de la variabilité de l'effort d'échantillonnage. Indépendamment de la qualité des données disponibles (ex. précision des données cartographiées), la variabilité de l'effort d'échantillonnage constitue un problème récurrent dans les analyses biogéographiques quels que soient le milieu, l'échelle spatiale ou le groupe taxonomique considérés. Les données rassemblées dans les bases sont effectivement rarement récoltées dans le but d'analyses cartographiques. Aussi, la carte de distribution des données rassemblées sur l'ensemble du corridor fluvial du Rhône traduit en premier lieu l'état actuel des connaissances (Figure 9.). L'étude des caractéristiques faunistiques des stations ne pourra donc être envisagée qu'à partir des données les plus comparables. Il s'agira de sélectionner les données pour lesquelles la pression d'échantillonnage ne présente pas de disparités trop importantes. Des limites (ex. systématiques pour les différents taxons récoltés, profondeur et période d'échantillonnage) devront donc être fixées.

Le modèle prédictif attendu est une structuration spatiale des peuplements interstitiels liée aux interactions entre les eaux superficielles et souterraines. Il s'agirait, dans un premier temps, de **mettre en évidence l'établissement d'une structuration spatiale de la faune hyporhéique à une profondeur et une période donnée à l'échelle du secteur test sélectionné**. Dans un deuxième temps, il s'agirait d'utiliser et de tester les descripteurs stygobies identifiés par Dole-Olivier et al. (1993) pour **renseigner sur la nature et l'origine des eaux circulant dans les sédiments et peut-être également sur l'intensité des flux hydriques qui les traversent**. La distribution spatiale des différents taxons, la richesse taxonomique et le pourcentage d'espèces stygobies pourraient également permettre de définir les caractéristiques faunistiques des stations et d'élaborer une description biologique des échanges entre eaux superficielles et souterraines sous forme de cartes.

1.1.2.2. Utilisation des Oligochètes benthiques et interstitiels pour définir les échanges eaux de surface/eaux souterraines

Cette approche serait l'examen simultané de la distribution spatiale des peuplements d'oligochètes dans les milieux benthiques et interstitiels. En effet, 1) la faune a été récoltée à la fois dans les milieux benthiques et hyporhéiques dans près de 50 % des stations hyporhéiques recensées sur le secteur sélectionné, 2) le groupe des oligochètes est un des groupes pour lesquels les identifications ont été menées à l'espèce, et 3) des données sur les peuplements d'oligochètes couvrant des zones spatialement différentes de celles couvertes par les travaux de l'équipe HBES (ex. site de Crépieux-Charmy) ont été obtenues par M. Lafont (comm. pers.).

Le modèle prédictif attendu serait une structuration spatiale des peuplements d'oligochètes liée aux interactions entre les eaux superficielles et souterraines. Il s'agirait, dans un premier temps, de mettre en évidence l'établissement d'une **structuration spatiale des peuplements d'oligochètes à l'échelle du secteur sélectionné**, et dans un deuxième temps, d'utiliser les **espèces AED afin**

d'identifier les zones d'échanges entre les eaux superficielles et souterraines et de préciser le sens privilégié de ces échanges. L'examen du pourcentage d'espèces superficielles dans la zone hyporhéique et de celui des espèces AED dans les sédiments superficiels devrait en outre permettre de dresser un bilan global des échanges entre les eaux superficielles et souterraines sous la forme de cartes (Figure 6.).

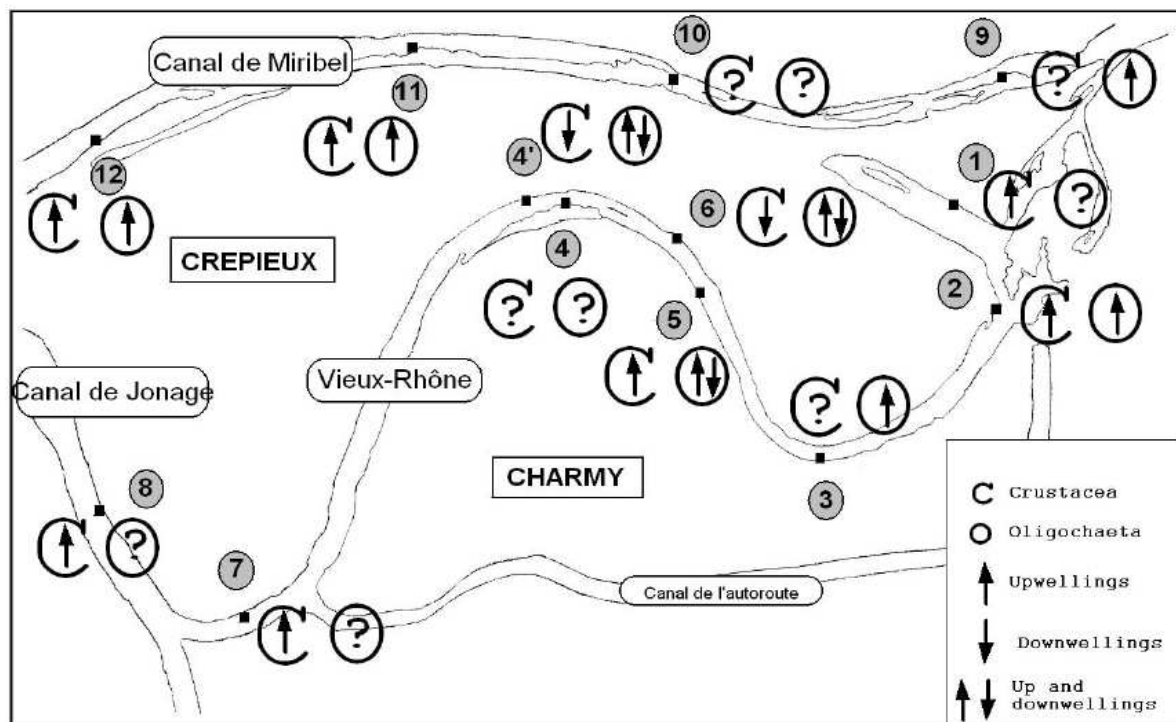


Figure 6. Description biologique des échanges hydriques sur le site de Crépieux-Charmy en juillet 1994 d'après l'examen des peuplements d'oligochètes (O) et de crustacés (C) (d'après Lafont et Vivier 2006).

Upwellings : exfiltration des eaux souterraines vers les eaux superficielles ; downwellings : infiltration des eaux superficielles dans les eaux souterraines

I.1.3. Hydrobiologie : macrophytes

Deux paramètres ont été utilisés pour caractériser les espèces végétales : leur tolérance à l'eutrophisation, et leur affinité pour les apports d'eau souterraine. Le niveau de ressources disponibles dans les écosystèmes aquatiques va jouer un rôle prépondérant sur la structure et la dynamique des communautés végétales. La distribution des espèces végétales aquatiques est donc très fortement corrélée au degré de trophie des écosystèmes. Dans les eaux douces, le degré de trophie est en général principalement lié à la quantité d'azote et de phosphore présent dans l'eau (Barroin 1991). Le phosphore est souvent la ressource limitante en eau douce, l'azote agissant sur les communautés végétales principalement au travers de son action phytotoxique sous sa forme ammoniacale. Plusieurs auteurs ont proposé une classification des communautés végétales aquatiques en fonction de leur distribution dans les écosystèmes rangés sur un gradient de concentration croissante de phosphates et d'ammonium dans l'eau (Kohler et al. 1974 ; Carbiener et al. 1990, Robach et al. 1996). La teneur en nutriments dépend du type d'alimentation en eau de la zone humide ; (eaux provenant de nappes, eaux d'infiltration du cours d'eau, eaux de surface), et de leur qualité. Des teneurs excessives en nutriments témoignent généralement d'une activité anthropique, et ceux-ci peuvent être véhiculés par les nappes phréatiques, par les eaux de ruissellement et les effluents (phosphore et nitrates), ou produits lors de la minéralisation de la matière organique (azote ammoniacal).

La qualité des eaux superficielles dans les annexes fluviales est directement liée à la qualité des aquifères (et parfois des eaux superficielles) qui les alimentent. Ce niveau de ressources permet donc fréquemment de fournir des informations sur l'origine des eaux phréatiques qui alimentent la zone humide (filtrats en général eutrophes de la rivière, résurgences karstiques en général oligotrophes, par exemple). Il est donc important 1) de connaître le niveau de ressources des différentes masses d'eau superficielles et souterraines dans un secteur de plaine donné, et 2) de connaître les tolérances des espèces par rapport à ces ressources, pour établir un diagnostic du type d'alimentation et du débit phréatique dans les zones humides. Le débit de ces apports varie selon les altitudes relatives des nappes souterraines, le degré de colmatage du substrat dans la zone humide, et selon ses caractéristiques physiques, notamment sa pente et sa capacité hydraulique. Comme on l'a dit précédemment, les eaux souterraines peuvent conditionner la qualité de l'eau dans la lône. Si elles sont pauvres en nutriments, elles peuvent maintenir le statut oligotrophe du milieu (Kohler et al. 1974, Carbiener et Kapp 1981). De surcroît, parce qu'elles sont sténothermes et fraîches, si leur débit est suffisant, elles maintiennent des températures plus froides dans la zone humide, ce qui limite la production végétale et notamment les proliférations algales (Bornette & Amoros 1991). Elles contribuent à limiter les phénomènes d'anoxie grâce au renouvellement des eaux engendré par l'apport permanent d'eaux (même faiblement) oxygénées.

Les profils écologiques des espèces végétales aquatiques concernant l'affinité des espèces pour les eaux souterraines et la qualité des eaux ont été établis en deux étapes. Dans une première étape, ces profils avaient été élaborés à partir d'une synthèse bibliographique sur les préférences écologiques des espèces. Cette synthèse a été publiée en 2000 (Amoros et al. 2000). Les exigences des espèces en termes de trophie avaient été établies sur la base de données bibliographiques. Trois niveaux de trophie avaient été définis; oligotrophe pour des teneurs moyennes en $[N-NH_4^+]$ et $[P-PO_4^{3-}] < 40$ ug/L, mésotrophe pour des teneurs moyennes comprises entre 40 et 80ug/L (valeurs supérieures à celles considérées par Carbiener et al. 1990, et Schnitzler et al. 1996, mais correspondant aux mêmes peuplements représentatifs), eutrophe pour des valeurs supérieures.

Un extrait de la table regroupant ces préférences est présenté ci-dessous (Figure 7.) :

Hydrophyte species	Oligotrophic	Mesotrophic	Eutrophic	Groundwater supplies	References
<i>Azolla filiculoides</i>			*	*	Carbiener and others (1990)
<i>Berula erecta</i>	*	*	(.)	*	Carbiener and others (1990)
<i>Ceratophyllum demersum</i>			*		Kohler (1975)
<i>Callitriche platycarpa</i>	(.)	*	*	*	Wiegleb (1978)
<i>Chara globularis</i>			*	*	Bornette and others (1996)
<i>C. hispida</i>	*			*	Krause (1981)
<i>C. major</i>	*	**		*	Stewart and Church (1992)
<i>C. vulgaris</i>	*	**		*	Wattenhoffer (1984)
<i>Eleocharis acicularis</i>	*	**	(.)	*	Haslam (1978)
<i>Elodea canadensis</i>	(.)	*	*	*	Haslam and others (1975)
<i>Fontinalis antipyretica</i>	(.)	*	*	*	Klein and others (1995)
<i>Groenlandia densa</i>		**		*	Carbiener and others (1990)
<i>Hippuris vulgaris</i>	*	**	*	*	Schmider and Ottow (1985)
<i>Hottonia palustris</i>		*	*	*	Carbiener and others (1990)
<i>Hydrocharis morsus-ranae</i>			*	?	Schmider and Ottow (1985)
<i>Juncus articulatus</i>	*	*		*	Kohler and others (1974)
<i>Juncus subnodulosus</i>	*			*	Kohler and Schiele (1985)
<i>Lemna gibba</i>			*		Rodwell and others (1995)
<i>L. minor</i>		*	**		Cernohous and Husak (1986)
<i>L. trisulca</i>		*	*	*	Carbiener and others (1990)

Figure 7. Fréquence relative d'occurrence de quelques espèces végétales aquatiques dans trois niveaux de trophie des eaux (oligotrophe, mésotrophe, eutrophe) et occurrence habituelle dans les écosystèmes alimentés par des eaux souterraines (extrait de Amoros, C. Bornette, G. & Henry, C. 2000. A Vegetation-Based Method for Ecological Diagnosis of Riverine Wetlands. *Environmental Management* 25(2) : 211-227).

Ces préférences sont définies sur la base de l'existence de relations significatives entre l'abondance des espèces et les paramètres du milieu indicateurs 1) du niveau de trophie et 2) de l'alimentation en eau souterraine.

Dans le cadre d'une nouvelle étude, nous nous sommes attachés à redéfinir ces profils écologiques non plus sur la base de données bibliographiques, mais sur celle de données floristiques et physico-chimiques collectées dans le bassin du Rhône. Pour cela, nous avons utilisé des relevés floristiques collectés de 1993 à 1999 sur une quarantaine d'anciens chenaux de l'Ain et du haut Rhône (secteurs de Jons et de Brégnier). Les caractéristiques physico-chimiques des eaux des anciens chenaux de l'Ain et du Rhône ont été mesurées au cours des années 1993 à 1996 (12 campagnes mensuelles de relevés au minimum pour les sites du Rhône, 24 campagnes mensuelles de relevés au minimum pour les sites de l'Ain). Les profils n'ont été revus que pour les espèces présentes dans cinq zones humides au moins (soit plus de 10% des écosystèmes échantillonnés).

Etablissement des profils de tolérance vis-à-vis de la trophie des eaux

Nous avons distingué dans un premier temps l'élément phosphore et l'élément azote. Nous avons cherché à mesurer la relation entre l'abondance des espèces et la teneur en phosphore mesurée dans l'eau [PO_4^{3-}] (valeurs moyennes portant sur au minimum 12 relevés mensuels), et dans le sédiment (valeurs moyennes résultant de la mesure de la concentration du phosphore total dans des échantillons de sédiments collectés au centre du chenal de chaque zone humide, à raison d'au moins 1 point de prélèvement par zone floristique). Ces deux paramètres ont été standardisés (pour qu'ils aient un poids équivalent) et ajoutés pour fournir un indice global d'eutrophisation de la zone humide par le phosphore. Les valeurs de cet indice « phosphore » ont été divisées en 5 classes, l'abondance moyenne de chaque espèce par classe a été calculée, et la relation entre la distribution de l'espèce et la valeur de cet indice a été testée. La même démarche a été appliquée pour l'azote, en se focalisant sur l'azote ammoniacal, cité dans la bibliographie, avec le phosphore, comme principal facteur d'eutrophisation des eaux. La teneur en azote du sédiment n'a pas été prise en compte, car cette teneur n'est pas liée de manière simple à l'eutrophisation, mais plutôt à la production et à l'accumulation de matière organique dans l'écosystème. La synthèse entre les deux profils a ensuite été établie espèce par espèce, pour fournir un indice global de tolérance de l'espèce à l'eutrophisation.

Etablissement des profils écologiques vis-à-vis des eaux souterraines

Les eaux souterraines sont caractérisées par leur grande stabilité thermique par rapport aux eaux de surface (Sakura 2000). Par conséquent, on a utilisé **la variabilité thermique relative des zones humides comme indicatrice de l'intensité relative de l'alimentation par les eaux souterraines**. En effet, lorsque le renouvellement des eaux superficielles par les eaux souterraines est important, ces dernières sténothermes froides vont limiter le réchauffement estival et diminuer la variabilité thermique de l'habitat. Pour mesurer la variabilité thermique, il est important de travailler sur au moins un cycle annuel. On a donc travaillé sur 43 lînes de l'Ain et du Rhône ayant fait l'objet d'au moins 12 campagnes de prélèvements distribuées sur un cycle annuel, et vérifié que le nombre de valeurs n'influencait pas la variance thermique des sites.

L'analyse a alors consisté d'abord à représenter l'abondance de chaque espèce en fonction du coefficient de variation de la température dans les sites, en recherchant les corrélations éventuelles, puis à tester l'existence d'une variation significative de l'abondance de l'espèce dans les sites répartis en 5 classes suivant la valeur du coefficient de variation.

Etablissement des nouveaux profils écologiques

La distribution de chaque espèce pour chaque paramètre (trophie, et alimentation en eaux souterraines), si elle représente une tendance significative, permet de déterminer les classes de ces paramètres pour lesquelles le développement de l'espèce est significativement supérieur aux classes

adjacentes, autrement dit, ses préférences écologiques. Ces préférences sont ensuite comparées avec celles définies précédemment à partir de la bibliographie (Amoros et al., 2000).

	niveau de trophie				alimentation en eaux souterraines		niveau de perturbations				
	oligotrophe	mésotrophe	eutrophe	hyper-eutrophe	O	N	rares	faibles	moyennes	fortes	alluvionnement
<i>Alisma plantago-aquatica</i>	(.)	**	*				(.)	**	*	(.)	*
<i>Berula erecta</i>	**	**	(.)	(.)	*		*	**	**	**	*
<i>Callitriche platycarpa</i>	(.)	*	*	*	*		(.)	*	**	*	(.)
<i>Carex acutiformis</i>	(.)	*	**	(.)			**	**	(.)	(.)	
<i>Carex elata</i>	*	*	*	*	?		**	**	*	(.)	(.)
<i>Ceratophyllum demersum</i>	(.)	(.)	*	**		*	*	*	*	*	**
<i>Chara major</i>	(.)	**	(.)		*		*	**	*	(.)	
<i>Chara vulgaris</i>	(.)	**	*		*			**	**	*	
<i>Cladium mariscus</i>	**	*			*		**	*			
<i>Elodea canadensis</i>	(.)	*	*	*	*		(.)	**	**	*	(.)
<i>Galium palustre</i>	*	**	(.)	(.)	*		*	*	*	*	*
<i>Groenlandia densa</i>	*	**			*			*	**	**	*
<i>Hippuris vulgaris</i>	**	*	(.)	*	*		*	*	**	(.)	**
<i>Iris pseudacorus</i>	*	*	*	*			*	**	*	(.)	*
<i>Juncus articulatus</i>	**	**	*		*		*	**	*	(.)	
<i>Lemna minor</i>	(.)	(.)	*	**		*	**	**	**	**	*
<i>Lysimachia vulgaris</i>	*	*	*	*			*	**	(.)		**
<i>Lythrum salicaria</i>	*	**	*	(.)			**	*	*	*	**
<i>Mentha aquatica</i>	**	**	*	(.)	*		*	**	*	(.)	**
<i>Myosotis scorpioides</i>	**	**	*	(.)	*		(*)	**	*	*	*
<i>Najas marina</i>		(.)	*	*		*	*	*	[*]	**	*
<i>Nuphar lutea</i>	(.)	*	*	**			**	*	*	(.)	**
<i>Phalaris arundinacea</i>	*	*	*	*			(.)	*	*	**	**
<i>Phragmites australis</i>	(.)	*	*	**			**	**	*	*	*
<i>Polygonum hydopiper</i>	*	*	*	(.)			(.)	*	*	**	**
<i>Potamogeton coloratus</i>	**	*	*		*		*	*			
<i>Potamogeton natans</i>	*	**	(.)	(.)	*		*	**	**	*	*
<i>Potamogeton nodosus</i>		(.)	*	**		*		*	*	**	**
<i>Potamogeton pectinatus</i>	(.)	*	**	***		*		*	(.)	**	**
<i>Potamogeton pusillus</i>	*	*	*	*				*	*	**	*
<i>Ranunculus trichophyllus</i>	*	*	*		*			*	**	*	
<i>Rorippa amphibia</i>		*	**	*			(.)	(.)	*	**	**
<i>Scirpus lacustris</i>	*	**	*				*	*	*	*	*
<i>Scutellaria galericulata</i>	*	*	*	*			*	**	*	*	
<i>Sparganium emersum</i>	**	**	*	(.)	*			**	**	*	*
<i>Veronica anagallis-aquatica</i>	**	*	*	(.)	*			*	[*]	(.)	*

Profilis écologiques

- (.) indique une occurrence tr,s sporadique
- * indique que l'esp,ce est pr'sente, mais n'est jamais abondante
- ** indique que l'esp,ce est tr,s abondante
- [*] ou [**] indique que l'esp,ce doit pr'senter la même tol'rance que dans la classe pr'cedente et suivante

Comparaison des profils établis avec les profils pr'cedemment d'crits dans Amoros et al., 2000

- exigences pr'cedemment d'crites valid'es par les distributions de la pr'sente étude
- exigences pr'cedemment d'crites amend'es par les distributions de la pr'sente étude
- exigences pr'cedemment d'crites fortement modifi'es par les distributions de la pr'sente étude

Figure 8. profils écologiques des espèces pour lesquelles les tests étaient significatifs (tiré de Rivoire & Bornette, 2006).

Pour la variable « concentration en ammonium », nous avons distingué quatre classes au lieu de trois dans l'étude d'Amoros et al. Approximativement, la limite entre les classes 1 et 2 correspond à la limite entre les niveaux oligotrophes et mésotrophes de la grille précedente (0,043 mg/L), de même la limite entre les classes 2 et 3 correspond à celle séparant les niveaux mésotrophes et eutrophes (0,075 mg/L). L'innovation repose donc essentiellement sur la définition d'une nouvelle classe, que nous avons qualifiée d'hyper-eutrophe, et qui atteint des valeurs nettement plus élevées (entre 0,25 et 0,53 mg/L). Pour la variable « concentration en phosphore dans l'eau et le sédiment », nous avons défini 5 classes, que nous avons confrontées aux quatre nouvelles classes de trophie (oligotrophe   hyper-eutrophe). Cependant, d'après les tests, le

phosphore s'est rarement révélé un paramètre régissant l'abondance des espèces, contrairement à l'ammonium.

Enfin en ce qui concerne l'alimentation en eau souterraine, le présent travail nous permet de mesurer, pour certaines espèces, grâce à leur répartition dans les cinq classes de variabilité thermique, si leur présence est liée à des apports d'eau souterraine, et à leur intensité.

Le tableau (Figure 8.) présente les nouveaux profils écologiques établis sur la base de cette méthode.

1.1.4. Hydrochimie : physico-chimie classique et isotopique

Ces méthodes permettent d'estimer la part des apports des écoulements souterrains dans les eaux souterraines. Il est possible d'exploiter des méthodes isotopiques et des méthodes physico-chimiques plus classiques.

1.1.4.1. Méthodes isotopiques

La mobilisation d'analyses isotopiques peut permettre de caractériser et de déterminer les apports souterrains aux eaux superficielles, d'estimer l'altitude de la recharge, d'estimer la provenance des eaux souterraines et des zones d'apports privilégiés et d'évaluer les temps de séjour de l'eau dans l'aquifère. Il est possible d'utiliser différents éléments isotopiques : l'oxygène 18 (^{18}O), le deutérium (^2H), le carbone 13 (^{13}C), le tritium et le carbone 14 (à l'étiage). On peut souligner ici l'intérêt de l'oxygène 18 du système Rhône. Cet isotope constitue une signature du Rhône pour des altitudes de recharge moyennement élevées.

Pour cela, on étudie les variations de concentration de l'amont à l'aval des cours d'eau, en les comparant aux teneurs observées dans les aquifères et la pluie. D'après Danneville (1997), le carbone 13 est un indicateur de l'alimentation par des eaux carbonatées et le tritium un indicateur du temps de séjour des eaux dans les aquifères. Selon Lalbat (2006), l'utilisation du carbone 14 n'est pas idéale dans un contexte carbonaté.

D'après les contacts établis avec Eric Siwertz de Thonon-les-Bains et Yves Travy d'Avignon, les mesures au tritium ne semblent pas pertinentes car les seuils de détection sont complètement perturbés par les relargages EDF. Par contre l'apport des mesures deutérium/O18 seraient plus favorables à l'identification des altitudes de recharge des eaux souterraines des aquifères connectés au Rhône (ex : contributions des massifs karstiques).

1.1.4.2. Méthodes physico-chimiques et fond géochimique

La comparaison de l'analyse physico-chimique des eaux souterraines et superficielles permet aussi de déterminer les relations d'échanges. Ces analyses portent sur les concentrations en ions majeurs de l'eau (calcium, magnésium, sodium, potassium, chlorures, sulfates, bicarbonates, nitrates) et sur d'autres paramètres comme la teneur en Silice, la conductivité, la température, la dpH (différence de pH), la $p\text{CO}_2$ (pression de CO_2 équilibrante) (Danneville, 1997). Il est aussi possible de construire des indicateurs plus complexes associant différents paramètres (Lalbat, 2006) et d'affiner le travail en ayant connaissance des fonds géochimiques.

Ces méthodes feront l'objet d'un examen plus approfondi dans la prochaine phase de travail en fonction des données disponibles.

1.2. Connaissances et données

1.2.1. Dimension hydrophysique

La grande majorité des connaissances est constituée de documents. N'ayant pas eu accès à ceux-ci, il est difficile de statuer sur leur contenu en données, et sur leur qualité. Compte-tenu du

nombre important de références, il va s'agir d'un travail de longue haleine qu'il sera possible de sectoriser en fonction et au fur et à mesure de l'étude de sites particuliers.

La grande majorité des bases de données inventoriées est localisée dans des sites Internet et en accès libre. Elles contiennent des données piézométriques (localisation de piézomètres, niveaux d'eau), hydrologiques (débits des cours d'eau), cartographiques (couvertures SIG, BD Carthage), climatologiques (pluviométrie), physico-chimiques, prélèvements et rejets d'eau... Certaines ont une vocation nationale, d'autres sont plus régionales. Beaucoup émanent de l'Agence de l'Eau et du BRGM. On observe par exemple :

- Direction de l'eau du Grand Lyon : Chroniques Eaux souterraines stockées dans la base Vigilance ;

- SIE RMC (Système d'Information sur l'Eau du bassin Rhône-Méditerranée et Corse) : Banque Hydromet - Serveur de données hydrométriques temps réel du bassin Rhône Méditerranée ; Modification du régime hydraulique par les aménagements hydroélectriques dérivant une partie des eaux d'un cours d'eau ; Déclaration des prélèvements et rejets industriels en Rhône-Méditerranée et Corse ; Déclaration des prélèvements sur les eaux superficielles et souterraines de Rhône-Méditerranée-Corse ; Système d'information sur l'eau du bassin Rhône Méditerranée ;

- BRGM/Agence de l'eau : ADES - Accès aux Données des Eaux Souterraines ;

- BRGM : Portail d'accès aux informations sur le sous-sol ; Remontées de nappes, crues, inondations, ruissellements, débordement ;

- MEDD : Banque HYDRO-Banque Nationale de Données pour l'Hydrométrie et l'Hydrologie.

D'autres bases de données ne sont pas accessibles en ligne, par exemple :

- CEMAGREF : BASE-IN ; BATHY ; BEN-HUR ; HYDROMEL ;

- CNR : INFORHONE.

De la même façon que précédemment, il conviendra de consulter ses bases de données au fur et à mesure de l'étude des secteurs considérés et en complément avec les données fournies par nos partenaires.

Concernant les cartes, il peut s'agir de cartes géologiques, hydrogéologiques, des aquifères, topographiques, de navigation, de vulnérabilité des nappes eaux souterraines.

Concernant les modèles physiques, a priori, dans le cadre ce programme le recours à ces derniers pourrait se concevoir, non pas pour modéliser les mécanismes d'échanges nappe/rivière à l'échelle du Rhône, mais plutôt pour vérifier la nature et la quantité de ces échanges à l'échelle de secteurs pour lesquels ce type de modèle existe déjà (phase 4 du programme). Dans la base de données du CD-ROM joint à ce document ont été répertoriés des secteurs du Rhône déjà modélisés.

Le recensement des connaissances et des données est une tâche de grande ampleur sur un terrain d'étude aussi large que le fleuve Rhône. Suite à une première recherche sur l'ensemble du cours d'eau, nous nous sommes attachés à obtenir le maximum de données et d'informations sur le premier secteur test (Brégnier-Cordon, Partie III. Application sur un site test : la chute CNR de Brégnier-Cordon) afin de pouvoir travailler dans de bonnes conditions. Nous avons d'une part extrait les informations utiles du CD-ROM (voir bibliographie dimension physique), et d'autre part établi une convention avec la CNR qui est le principal organisme détenteur de données sur le Rhône.

Pour le secteur de Brégnier-Cordon nous avons pu obtenir les informations suivantes :

- Cartes d'implantation des ouvrages (1/25 000e : 3 fonds IGN de 1998, situation actuelle)
 - Nature : hydraulique
 - Emprise spatiale : Chute de Brégnier-Cordon (Brens au Pont d'Evieux)
 - Ouvrages : PK, barrages, limnigraphes, station de pompage, barrage
 - Usage pour le projet échanges nappes/Rhône : localisation spatiale

- Cartes piézométriques de la nappe avant aménagement (1/20 000e : 11/1978 nappe basse, 4/1979 nappe moyenne, 7/1978 nappe haute)
 - Nature : hydrogéologique (piézo. équi. : 1m)
 - Emprise spatiale : Chute de Brégnier-Cordon (La Balme au Pont d'Evieux)
 - Ouvrages : puits, piézomètres, forages
 - Usage pour le projet échanges nappes/Rhône : calcul de gradients hydrauliques par rapport au Rhône
 - Autres données : hauteurs d'eau du Rhône à la Balme (18 au 30 avril 1979), conversion hauteur/ débit, débits du Rhône synchrone à la carte piézométrique

- Profil en travers topographique et piézométrique (Échelle variable, 3 tronçons en rive droite (T1, T6, T7), 5 tronçons en rive gauche (T9, T11, T13, T14, T15), 04/2002-05)
 - Nature : hydraulique
 - Emprise spatiale : Chute de Brégnier-Cordon (La Balme à l'usine hydroélectrique)
 - Ouvrages : PK, piézomètres des digues, digues (type, largeur, hauteur), contre-canaux (largeur, hauteur), rive, tronçon
 - Usage pour le projet échanges nappes/Rhône : comparaison des hauteurs d'eau du Rhône, des digues et des contre-canaux.

- Profil en long topographique et piézométrique dans les digues (Échelle variable, 1 tronçon en rive droite (T1), 8 tronçons en rive gauche (T8 à T15), 04/2002-05)
 - Nature : hydraulique
 - Emprise spatiale : Chute de Brégnier-Cordon (La Balme à l'usine hydroélectrique)
 - Ouvrages : PK, piézomètres des digues, digues (type, longueur), rive, tronçon
 - Usage pour le projet échanges nappes/Rhône : ??

- Carte de découpage en tronçons (Échelle inconnue, 15 tronçons (T1 à T7 en rive droite et T8 à T15 en rive gauche), situation actuelle)
 - Nature : hydraulique
 - Emprise spatiale : Chute de Brégnier-Cordon (La Balme au Pont d'Evieux)
 - Ouvrages : PK, composition et longueur des digues, 15 tronçons
 - Usage pour le projet échanges nappes/Rhône : localisation spatiale

- Chronique de débits dans les contre-canaux (Stations de jaugeage en rive gauche (2, 5, 7, 15, 16, 30, 33, 38) et en rive droite (10, 38, 38), décembre 1989 à décembre 2005)
 - Nature : hydraulique
 - Emprise spatiale : Chute de Brégnier-Cordon (La Balme à l'usine hydroélectrique)

- Ouvrages : contre-canaux
- Usage pour le projet échanges nappes/Rhône : quantification des apports des nappes au fleuve par l'intermédiaire des contre-canaux
- Autres données : température (eau ou air ?), $Q_{relevé}$, $Q_{corrigé}$, n°station, n° tronçon, PK, rive droite, rive gauche, zone, tronçon

- Carte de localisation des stations de jaugeage des contre-canaux (Échelle inconnue, 7 stations en rive gauche, 3 stations en rive droite, 2002-2005, situation actuelle)
- Nature : hydraulique
- Emprise spatiale : Chute de Brégnier-Cordon (La Balme à l'usine hydroélectrique)
- Ouvrages : contre-canaux, stations de jaugeage
- Usage pour le projet échanges nappes/Rhône : localisation spatiale

- Mesure de hauteurs d'eau et de débits dans le Rhône et le Guiers (précision 10 à 20%, avril 2004)
- Nature : hydraulique
- Emprise spatiale : Rhône vif de Brégnier-Cordon, Vieux Rhône de Brégnier-Cordon, Rhône endigué (retenue, dérivation) de Brégnier-Cordon
- Ouvrages : PK, limnigraphes
- Usage pour le projet échanges nappes/Rhône : cohérence des niveaux d'eau par rapport aux nappes et aux contre-canaux
- Autres données : $Q_{étiage}$, $Q_{semi-permanent}$, Q_{10} , Q_{100} , Q_{100}

- Débits moyens annuels dans le Rhône (Débit entrant à Brens 1988-2005, Débit du Guiers à Belmont 1986- 2005, débit sortant au Pont de Groslée 1996-1999, débit sortant au Pont d'Evieux 2000-2005 – précision 10 à 20%)
- Nature : Hydraulique
- Emprise spatiale : Chute de Brégnier-Cordon (Brens au Pont de Groslée)
- Ouvrages : PK
- Usage pour le projet échange nappes/Rhône : réalisation de schémas hydrauliques et déduction de l'apport des nappes par bilan – localisation des apports

Suite à un premier travail sur ces données, nous sommes dans l'attente des informations complémentaires suivantes :

- Cartes piézométriques après aménagement en basses et hautes-eaux si possibles afin de continuer et affiner nos résultats sur cette zone, ainsi que toutes autres données disponibles après aménagement sur le secteur (cartes ou mesures de niveaux...);
- Composition des digues ;
- Chroniques de débit sur une vingtaine d'années (si possible) du Rhône à Brens et au Pont d'Evieux pour tester les méthodes d'analyses corrélatoires et spectrales.

De plus, nous tacherons d'obtenir des données bathymétriques du Rhône et pluviométriques à Brégnier-Cordon par d'autres sources.

Pour la suite, la CNR prévoit de nous communiquer les données progressivement et unité d'aménagement par unité d'aménagement (chutes CNR). L'étude ne pourra donc se faire en envisageant le fleuve Rhône d'un seul tenant, mais en travaillant par secteurs successifs en fonction de l'arrivée des données.

Le travail sur les données de la chute de Brégnier-Cordon nous permettra de mieux définir nos besoins en données et de distinguer les données indispensables à notre étude, ce qui facilitera le travail de recherche des données à la CNR pour les secteurs suivants.

Outre les données CNR nous avons utilisé :

- des informations générales contenues dans la bibliographie (de Marsily, 1981) ;
- des informations spécifiques à Brégnier-Cordon contenues dans la bibliographie (Michal, 1988 ; Rampnoux, 1992 ; Coulet & al., 1987 ; Creuzé des Châteliers, 1991 ; Dufour, 2005 ; Bouillin & al., 2006 ; Chauve, 2006) ;
- des informations téléchargeables (SIERM 2005a & 2005b) ;
- les cartes IGN 1/25000^e et les cartes géologiques BRGM 1/50000^e ;
- photographies aériennes.

1.2.2. Dimension hydrobiologique : invertébrés souterrains

1.2.2.1. Données faunistiques

La structure de la base de données faunistiques ZABR/RMC s'inspire de la structure de la base de données sur les espèces strictement inféodées aux eaux souterraines de France (Ferreira 2005) établie dans le cadre du programme de recherche européen PASCALIS (Protocols for the Assessment and the Conservation of the Aquatic Life in the Subsurface) (Gibert et al. 2005). Cette base a été développée sous la forme de tableaux Excel et a été intégrée dans la base européenne élaborée pour PASCALIS sous le logiciel 4D (Ferreira et al. 2003).

Pour les besoins du programme ZABR/RMC, seules les données hyporhéiques et phréatiques récoltées dans le corridor fluvial du Rhône (chenal actif et lônes) ont été intégrées. Par ailleurs, les organismes non strictement inféodés aux eaux souterraines sont également considérés alors que ce n'était pas le cas dans le cadre du programme PASCALIS. Chaque enregistrement correspond à une espèce, un lieu (secteur ZABR / RMC, sous-secteur, station échantillonnée, commune, département), des coordonnées (longitude, latitude, altitude), et une origine (référence bibliographique). Au regard de l'échelle spatiale de la zone d'étude et des mécanismes mis en jeu pour l'évaluation des échanges eaux superficielles / eaux souterraines, des paramètres additionnels sont considérés incluant la date de l'échantillonnage (prise en compte de la composante temporelle), la profondeur des échantillons (prise en compte de la composante verticale), et de l'abondance (prise en compte de la composante quantitative).

Pour cartographier la distribution des taxons et de la richesse taxonomique, les données sont exportées vers un Système d'Information Géographique (ArcView 3.2). Alors que les coordonnées des centroïdes des communes ont été utilisées pour les représentations cartographiques dans le cadre du programme PASCALIS, les coordonnées exactes des sites échantillonnés (exprimées en Lambert II étendu) sont utilisées dans le cadre du programme ZABR / RMC. Les coordonnées X et Y sont issues de la localisation des stations d'échantillonnage à partir de cartes IGN au 1 :25000, alors que l'altitude est issue de l'index numérique GEOFLA® Communes (Edition 5 - 2001, IGN, Paris, <http://www.ign.fr>).

Sur l'ensemble du corridor fluvial du Rhône, les données recueillies se distribuent essentiellement dans des secteurs bien étudiés choisis pour leurs caractéristiques particulières (ex. facilité d'accès) et/ou en fonction des objectifs des études (ex. impact de l'anthropisation sur la biodiversité interstitielle) : le secteur court-circuité de Chautagne, le secteur de Brégnier-Cordon au contact du Bugey, l'Île Crémieu, le secteur de Miribel-Jonage à l'Est de Lyon tant au niveau du chenal actif qu'au niveau des bras morts, le site du Grand Gravier situé en bordure du Rhône à Grigny à 15 km en aval de l'agglomération lyonnaise, la Lône de la Platière, le secteur de Donzère-Mondragon situé sur le Bas-Rhône au pied du Vivarais (Figure 9.). Au contraire, les autres secteurs

du Rhône n'ont fait l'objet que de récoltes ponctuelles de taxons spécifiques (ex. Amphipodes Niphargidae, Mollusques), et de très rares études (ex. secteur de Bange) voire d'aucune étude.

Correspondant à la zone test sélectionnée, le secteur allant de l'amont vers l'aval de la plaine du Guiers à la plaine alluviale de Miribel-Jonage est de loin le secteur qui a été le plus étudié avec une quarantaine de travaux divers (thèses, D.E.A., rapports de contrats, articles scientifiques), soit environ 45 % des références bibliographiques inventoriées. Sur l'ensemble de ce secteur, près de 150 stations ont été échantillonnées soit 70 % de la totalité des stations hyporhéiques recensées actuellement sur l'ensemble du corridor fluvial du Rhône. Sur les 150 stations, 94 et 56 stations sont distribuées respectivement sur le secteur de Miribel-Jonage et de la plaine du Guiers.

La base de données présentée est toujours en cours d'élaboration, les données hyporhéiques et phréatiques concernant les organismes non strictement inféodés aux eaux souterraines sont encore en cours de compilation.

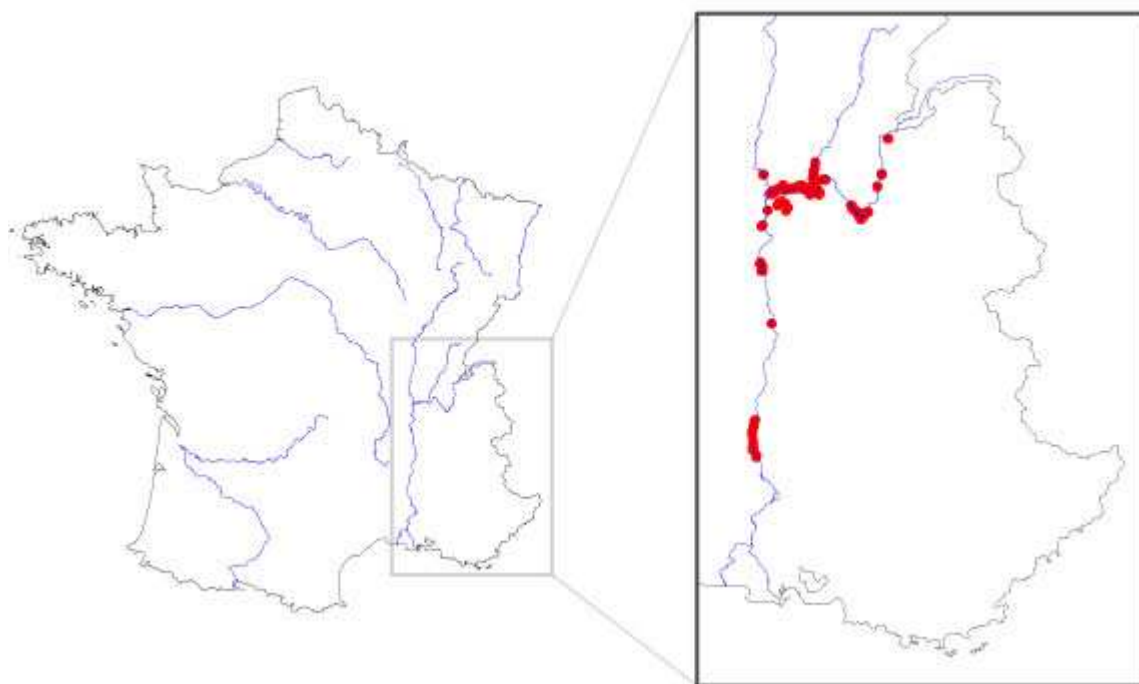


Figure 9. Carte de distribution des stations hyporhéiques et phréatiques recensées sur l'ensemble du corridor fluvial du Rhône. Les principaux fleuves représentés sont issus de BD CARTHAGE® (Edition 1 - 2002, IGN, Paris, <http://www.ign.fr>).

1.2.2.2. Données bibliographiques

L'inventaire bibliographique concernant les invertébrés regroupe actuellement près de 90 références bibliographiques disponibles sous différentes formes : articles scientifiques (68 %), rapports de DEA (14 %), thèses de doctorat (11 %) et rapports de contrats (7 %). Ce chiffre correspond au nombre total de références bibliographiques, traitant de la dynamique spatio-temporelle des peuplements interstitiels, qui ont été exploitées jusqu'à présent pour le rassemblement des données faunistiques. Il ne tient donc pas compte des références bibliographiques identifiées et en cours de récupération qui n'ont donc pas encore été exploitées, et d'autres études réalisées dans le corridor fluvial du Rhône sur d'autres thématiques de recherche (ex. rôle des sédiments et des peuplements microbiens dans la transformation des flux de nutriments organiques et minéraux circulant dans le cours d'eau).

1.2.2.3. Modèles de distribution spatio-temporelle des peuplements interstitiels (LHES)

Les interactions à différentes échelles spatiales entre le réseau hydrographique de surface et les eaux souterraines ont une influence prépondérante sur la richesse taxonomique, l'abondance et la structuration spatiale des biocénoses interstitielles. Le milieu interstitiel étant une zone d'échange entre les milieux benthiques et souterrains, la diversité biologique peut être abordée au niveau de la diversité des groupes écologiques. Cette approche est basée sur la classification des organismes rencontrés dans le milieu interstitiel des cours d'eau en fonction de leur affinité pour le domaine aquatique souterrain (Thienemann 1926, Plesa 1985, Marmonier et al. 1993, Gibert et al. 1994). Cinq groupes peuvent être ainsi définis correspondant aux :

- **stygoxènes** présents accidentellement dans les eaux souterraines,
- **stygoxènes occasionnels**, organismes épigés utilisant le milieu interstitiel mais dont l'accomplissement du cycle vital requiert une phase superficielle obligatoire (ex. larves d'insectes benthiques),
- **stygoxènes permanents**, organismes épigés pouvant effectuer la totalité de leur cycle vital aussi bien dans les eaux de surface que dans le milieu interstitiel (ex. Oligochètes, Crustacés Copépodes),
- **stygoxènes ubiquistes**, organismes strictement inféodés aux eaux souterraines et colonisant tous les habitats souterrains (ex. *Niphargus rhenorhodanensis*),
- **phréatobies**, organismes stygoxènes qui ne colonisent que les habitats interstitiels à forte stabilité physique (ex. *Microcharon reginae*, *Bathynella* sp.).

- **Hétérogénéité spatiale des peuplements interstitiels dans la plaine alluviale du Rhône**

Une relation très claire entre le mode de circulation des eaux dans le sédiment et la structure des peuplements interstitiels a été mise en évidence à différentes échelles spatiales dans différents secteurs du Rhône.

A l'échelle de l'unité géomorphologique (profil seuil-mouille-seuil, bancs de graviers, tronçon), une infiltration des eaux de surface s'effectue généralement en amont des zones de rupture de pente du profil longitudinal (seuil) tandis que la zone située en aval (aval de seuil) est le siège de remontée d'eaux souterraines. Ce fonctionnement en infiltration / exfiltration s'accompagne d'une différenciation nette des peuplements interstitiels de la zone hyporhéique (Dole-Olivier et Marmonier 1992a et 1992b, Mermillod-Blondin 1996). Les zones d'infiltration des eaux de surface sont caractérisées par de fortes diversités et densités faunistiques dominées par les taxons benthiques entraînés passivement ou activement dans le sédiment et par un pourcentage réduit d'organismes stygoxènes. A l'inverse, les zones d'arrivée des eaux souterraines sont caractérisées par de plus faibles diversités et densités d'organismes mais dominées par des taxons stygoxènes. Les zones d'affrontement entre les eaux de surface et les eaux souterraines sont caractérisées par la diminution de l'importance de la faune benthique et le développement de certains organismes stygoxènes.

L'influence des échanges entre les eaux de surface et les eaux souterraines n'a pas été seulement mise en évidence dans la dimension longitudinale, mais également dans les dimensions transversale et verticale de l'espace sous-fluvial (Dole-Olivier et al. 1993).

Dans la dimension verticale, la faune présente une décroissance de l'abondance et une augmentation de la proportion des organismes stygoxènes avec la profondeur (ex. Dole 1983, Mermillod-Blondin 1996).

Dans la dimension transversale, à l'échelle de la plaine alluviale, les stations les plus proches du chenal actif et les plus fréquemment soumises aux crues possèdent un cortège

faunistique dominée par la faune de surface (ex. Marmonier et al.1992). Inversement, les stations situées près de la bordure de la plaine alluviale hébergent une faune stygobie plus diversifiée.

Cette répétition des mêmes gradients de taxons stygobies dans les trois dimensions de l'espace sous fluvial, d'espèces résistantes à l'instabilité (ex. *Niphargus rhenorhodanensis*) à des espèces très sensibles aux perturbations hydrologiques (ex. *Bathynella sp.*), correspond à un gradient de stabilité physique du milieu (*sensu* Dole et Chessel 1986) qui joue un rôle prépondérant dans la structuration spatio-temporelle des peuplements interstitiels (Figure 3.).

- **Dynamique temporelle des peuplements interstitiels**

Ces modèles de distribution de la faune rendent donc compte des circulations d'eaux dans les trois dimensions spatiales de l'hydrosystème fluvial qui intègre une quatrième dimension : le temps (Amoros et Petts 1993). Des études intégrant les variations hydrologiques saisonnières et les effets des crues sur les biocénoses interstitielles ont permis de mettre en évidence une dynamique des communautés interstitielles (Marmonier et Dole 1986, Marmonier et Creuzé des Châtelliers 1991, Dole-Olivier et Marmonier 1992a, Dole-Olivier et al. 1997). La colonisation spatio-temporelle de la zone hyporhéique dépend en effet de l'intensité des perturbations mais également des flux hydrologiques (infiltration), de la porosité et de la stabilité des sédiments, et du recrutement des invertébrés (reproduction, morphologie).

- **Effet des variations hydrologiques saisonnières**

L'effet des variations hydrologiques saisonnières sur les communautés interstitielles n'est pas comparable dans tous les secteurs étudiés du Rhône. Si une diminution de la richesse spécifique est généralement observée entre l'été et l'hiver, les variations saisonnières de l'abondance diffèrent selon les caractéristiques hydrologiques des stations étudiées. Dans les stations alimentées par les eaux de surface, l'abondance moyenne des taxons décroît significativement entre l'été et l'hiver en raison notamment de l'importante variation de température des eaux interstitielles (Marmonier et Creuzé des Châtelliers 1993). A l'inverse, dans les secteurs essentiellement alimentés par les arrivées des eaux souterraines, l'abondance moyenne des taxons n'est pas significativement différente entre l'été et l'hiver, la remontée des eaux souterraines pouvant atténuer la variation thermique des eaux interstitielles en hiver (Creuzé des Châtelliers et Marmonier 1993, Ferreira 2000).

- **Effet des crues**

L'effet des crues sur les communautés interstitielles peut varier en fonction de l'origine et du mode de circulation de l'eau alimentant les sédiments (infiltration d'eau de surface ou arrivée d'eau souterraine), et de l'intensité de la crue (définie par le couple durée-amplitude).

Par exemple, dans les stations du Canal de Miribel alimentées par les eaux superficielles, l'effet des crues augmente jusqu'à 300 m³/s en induisant un apport d'organismes de surface dans les sédiments. Au-delà de ce débit, les crues induisent un apport plus massif de faune de surface jusqu'à plus d'un mètre de profondeur, voire même un lessivage de la faune des sédiments pour les débits les plus forts, la richesse taxonomique augmentant ensuite lentement au cours de l'étiage (Marmonier et Dole 1986, Marmonier et Creuzé des Châtelliers 1991, Dole-Olivier et Marmonier 1992a, Dole-Olivier et al. 1997).

Dans les stations alimentées par les eaux souterraines, les crues de courte durée (< 10 jours) et de faible débit (< 300 m³/s) ont peu d'effet sur la structuration spatiale des peuplements interstitiels, qui reste inchangée. Pour des débits plus importants (> 300 m³/s), la diversité des organismes est augmentée par l'infiltration de la faune benthique dans les sédiments mais qui

disparaîtra rapidement au cours de l'étiage (Marmonier et Dole 1986, Marmonier et Creuzé des Châtelliers 1991, Dole-Olivier et Marmonier 1992a, Dole-Olivier et al. 1997).

Les deux types de stations présentent donc des dynamiques inversées.

1.2.3. Dimension hydrobiologique : végétaux aquatiques

En ce qui concerne les données de végétation aquatique, la couverture spatiale est meilleure que celle des données physico-chimiques, puisque les rapports et publications permettent de disposer d'un état floristique pour la plupart des lônes. Ces données sont un peu anciennes (1993 à 1997) mais fournissent une bonne base de référence. Par ailleurs, des données complémentaires permettent d'avoir une approche diachronique dans certains cas. Les données sont beaucoup plus sporadiques dans le cas des autres milieux aquatiques (petits cours d'eau, gravières) et sont limitées à quelques points très localisés. Les données sont encore en cours d'acquisition, et plusieurs contacts restent cependant à prendre.

Ces données sont en cours de saisie (Annexe 6.1.). Elles prennent la forme de relevés d'abondance moyenne de chaque espèce végétale rencontrée par site. Le détail de l'ensemble des relevés n'est par conséquent pas saisi. Chaque espèce végétale est associée dans ce tableau à son caractère descripteur en ce qui concerne 1) la trophie des eaux et 2) son affinité pour les apports phréatiques. Les données d'abondance correspondent à la moyenne des abondances de l'espèce relevées sur un nombre variable de relevés le long de chaque site. L'information sur la relation entre les espèces et les apports d'eau souterraine est basée sur les données du Haut-Rhône et de l'Ain. En ce qui concerne le bas Rhône, des études complémentaires seront probablement nécessaires. En effet, le Rhône se caractérise par des contrastes climatiques et trophiques forts engendrant des contrastes floristiques entre l'amont et l'aval du fleuve. Par conséquent, les données acquises sur la métrique « végétation » concernent plus particulièrement les espèces présentes sur le Haut-Rhône, mais le pouvoir descripteur de nombreuses espèces du Bas-Rhône est mal connu, voire dans un certain nombre de cas ignoré.

1.2.4. Dimension hydrochimie

En ce qui concerne les milieux aquatiques de la plaine du Rhône, l'équipe « Écologie des Communautés Végétales » a commencé l'inventaire des données physico-chimiques disponibles sur les zones humides, petits cours d'eau, gravières de la plaine du Rhône. Cet inventaire est encore en cours actuellement, et certains contacts restent à prendre (ex : Tour du Valat, certains contacts CNR). Il a d'ores et déjà permis de rassembler plus de 30 rapports concernant les lônes et les gravières du Rhône. La liste d'une partie de ces rapports souligne que les données disponibles sont plus nombreuses sur les lônes que sur les gravières, tant sur le Haut-Rhône que sur le Bas-Rhône, ce dernier étant très mal échantillonné à l'heure actuelle. Par contre, la plupart des rapports contiennent des données physico-chimiques, même si celles-ci sont pour la plupart relativement anciennes (toutes plus de 5 ans).

Les variables retenues sont présentes dans la plupart des rapports et permettent de caractériser la qualité et l'origine des eaux présentes dans les milieux aquatiques. Les paramètres sont les suivants : température, conductivité, teneur en oxygène, pH, phosphates, nitrates, ammoniacque, nitrites, silice, et alcalinité. Ces paramètres ne sont pas documentés dans toutes les situations, mais dans la plupart des cas, les 7 premiers paramètres sont documentés. Les données sont rentrées individuellement par site et par date, et s'étendent parfois sur plusieurs années consécutives. Le traitement de ces informations est encore en cours. Un extrait du tableau de données physico-chimiques est présenté en annexe 6.2.

1.3. Bilan : intérêt de l'approche inter-disciplinaire

1.3.1. Intérêt d'une évaluation des échanges multi-dimensionnelle

Comme nous l'avons vu précédemment les méthodes quantitatives physiques d'évaluation des échanges restent approximatives et produisent des résultats dont il est difficile de contrôler

l'incertitude. Les données disponibles ne permettent pas toujours une évaluation précise des débits d'échange généralement assez faibles entre la nappe et les rivières.

Malgré l'intérêt que présentent les modèles hydrogéologiques, ceux-ci possèdent différentes limites au niveau de la précision et de la nature des résultats obtenus. Le calage du modèle mathématique est parfois difficile à réaliser, notamment à cause des conditions limites (contre-canal, fleuve, interface nappe-gravières, colmatage des berges...) et de l'hétérogénéité du secteur. Il est, par exemple, difficile d'estimer le degré de colmatage des berges ou la qualité de la valeur du niveau piézométrique mesuré dans un puits.

Les résultats produits par les différentes méthodes d'évaluation des échanges proposent une représentation hydrophysique du territoire, essentiellement quantitative, constituée d'objets hydrologiques pour visualiser les relations d'échange (flux). Le croisement avec d'autres dimensions hydrobiologiques et hydrochimiques devient très intéressant pour valider ou infirmer les relations d'échange. Par ailleurs, les corrélations établies entre ces dimensions (invertébrés souterrains, gradient floristique, gradient hydraulique) pour des secteurs déterminés constitueront une base d'extrapolation sur des secteurs où les données manqueraient pour l'une ou l'autre d'entre elles.

1.3.2. Bilan sur l'information inventoriée et sa localisation

A titre indicatif, un bilan statistique des connaissances identifiées est proposé globalement pour les 3 thèmes, dimension physique, physico-chimique et biologique (invertébrés souterrains et végétation), selon le type, la nature, le domaine d'usage et la partie d'hydrosystème concernée.

La base de connaissances que nous avons constituée comprend 476 entrées au total dont 162 fournies par l'ensemble des partenaires soit environ 35%. Celles-ci sont marquées par un fond bleu dans la base de données (nom du fichier : *Inventaire Connaissances.xls*) et celles contenues dans les fichiers *Inventaire Invertébrés.xls* et *Inventaire Macrophytes.xls*. Ces trois fichiers sont fournis dans le CD-ROM.

On observe la répartition suivante selon les champs de la base de connaissance :

- *type* : la grande majorité des connaissances est constituée de documents, puis dans une moindre mesure de bases de données, de modèles et de cartes. Ceci est dû au mode de recherche qui s'est orienté vers les bases des données documentaires (SUDOC, Réseau BRISE, base FONTAINE, moteurs de recherche, ressources documentaires internes aux différents laboratoires impliqués...). On remarque que le nombre de références à des modèles n'est pas négligeable par rapport aux références cartographiques qui ne sont certainement pas toutes intégrées.

- *nature* : la grande majorité des connaissances est de nature hydrogéologique et écologique, puis dans une moindre mesure de nature hydrologique et physico-chimique. Ceci s'explique par le choix des mots clefs utilisés pour effectuer des recherches complémentaires aux connaissances fournies par nos partenaires. On observe aussi des références en bathymétrie, climatologie, géologie, géomorphologie et topographie.

- *domaine d'usage* : la plupart des connaissances sont issues de rapports et de site Internet hébergeant des bases de données. On observe aussi, un nombre de thèses, cartes et articles relativement importants ainsi que des références renvoyant d'une manière générale à des programmes de recherches ou de planification et des notes.

- *hydrosystème* : ici, l'accent est mis sur les aquifères et eaux souterraines, ainsi qu'au fleuve Rhône. Ceci s'explique par le choix des mots clefs utilisés pour effectuer des recherches complémentaires aux connaissances fournies par nos partenaires.

- *emprise spatiale* : dans la base de données l'emprise spatiale n'est pas chose facile à traiter. Ce type de traitement sera plus facile à réaliser lorsque les connaissances auront été intégrées dans le géorépertoire. On observe toutefois une plus forte concentration de connaissances dans les secteurs suivants : alentours de Lyon (ex : Miribel-Jonage), alentours d'Avignon, Chautagne-Lavours, , Île Crémieux, Crepieux-Charmy, Donzère-Mondragon, Île de la Platière, Givors, Rhône

(à l'échelle du bassin et du fleuve), canton de Roussillon, Valence ; sur certains affluents : Ain, Durance, Isère, Ardèche ; dans certaines régions : PACA.

Il est ici possible de créer d'autres champs possibles dans cette base de données pour augmenter la compatibilité et le recouvrement avec ceux du géorépertoire.

Actuellement, nous avons pu identifier et comptabiliser environ :

- 90 thèses de doctorats et rapports de recherches effectuées sur le sujet ;
- 5 études géomorphologiques ;
- 194 études hydrogéologiques ;
- 30 cartes hydrogéologiques pour la délimitation des aquifères (cartes de vulnérabilité) ;

En matière de données de débit issues des sections de jaugeage en rivière (Rhône et confluences), de données piézométriques datées, des données sur les caractéristiques des ouvrages sur le Rhône (rôle des contre canaux), il est difficile d'en évaluer la quantité. On se référera plutôt aux sites Internet dédiés et aux producteurs de ce type d'information (CNR, EDF,...).

Environ 480 références identifiées à ce jour peuvent représenter une masse d'information importante. Ce n'est qu'un leurre, notre expérience de recherche d'information montre que sur un tel sujet les références s'enchaînent en cascade et semblent intarissables. Toutefois, nous avons déjà commencé à intégrer une partie de ces références dans le géorépertoire ZABR (Annexes 7., 8.1., 8.2., 8.3., 8.4. et 8.5.).

Partie II – Le Rhône du Léman à la Camargue : hypothèses de sectorisation

Le fleuve Rhône naît en Suisse dans le massif Saint-Gothard au glacier de la Furka. Il entre en France peu après Genève le lac Léman, environ 300km après sa source, et parcourt quelque 545 kilomètres sur le territoire français jusqu'au delta de Camargue et de la Méditerranée (Dufour, 2005). Il traverse 3 régions administratives (Rhône-Alpes, Languedoc-Roussillon, Provence-Alpes-Côte d'Azur), 11 départements (Ain, Ardèche, Bouches-du-Rhône, Drôme, Gard, Isère, Loire, Rhône, Savoie, Haute-Savoie, Vaucluse), 213 communes et 48 zones hydrographiques⁴.

Environ 90% du bassin versant est situé en France dont la taille totale se situe aux alentours de 100 000km². Sur le Haut-Rhône, les principaux affluents sont l'Arve, le Fier, le Guiers et la Bourbe en rive gauche, et, la Valserine et l'Ain en rive droite. Pour le sillon rhodanien, les principaux affluents sont l'Isère, la Drôme, l'Ouvèze (drômoise) et la Durance en rive gauche, et, la Saône, le Gier, l'Ouvèze (ardéchoise) et le Gard en rive droite (Dufour, 2005).

Ce fleuve est associé à de nombreux aquifères de types différents :

1) Aquifères sédimentaires libres ou captifs, seuls ou associés : alluvions anciennes, cailloutis, calcaires jurassiques, moraines, marnes jurassiques, calcaires du crétacé supérieur, calcaires urgoniens, formations plioquaternaires, molasses miocènes, complexes morainiques glaciaires et pliocènes, formations fluvio-glaciaires) ;

2) Aquifères intensément plissés libres ou captifs, seuls ou associés : calcaires et marnes des Alpilles ;

3) Aquifères alluviaux libres ou captifs, seuls ou associés : alluvions des plaines ;

4) Formations peu imperméables localement aquifères : domaine limons et alluvions, formations marno-calcaires liasiques et triasiques, formations marno-calcaires et gréseuses, formations variées, formations tertiaires) ;

5) Aquifères de socles libres seuls.

Comme tous les fleuves, le Rhône est alimenté pour une part par les eaux de pluie et eaux de ruissellement qui correspondent à une fonction transmissive en hydrodynamique, et pour une autre part par les eaux souterraines et les eaux de fonte des neiges dont le chemin est différé, et qui correspondent à une fonction capacitive en hydrodynamique.

L'ensemble des références identifiées concernant les études sur le fleuve Rhône est contenu dans le CD-ROM joint au rapport.

Il est important de souligner dès à présent l'importance des eaux souterraines dans l'alimentation des fleuves et rivières. Un exemple sur le bassin de la Garonne montre clairement leur rôle majeur. D'après les calculs effectués par Danneville (1997), il apparaît qu'en l'absence de précipitation, la Garonne au niveau de Toulouse, c'est-à-dire à 190 kilomètres depuis la source, serait à sec au bout de 3 jours, compte-tenu d'une vitesse d'écoulement moyenne de 1m/s, s'il n'y avait pas d'apport d'eau souterraine.

⁴ « Le découpage des aires hydrographiques est institué par la circulaire n°91-50. La France a été découpée en bassins versants constituant un référentiel des aires hydrographiques. Ce découpage hydrographique a été réalisé sous forme de quatre partitions hiérarchisées (ou gigogne) selon des aires hydrographiques décroissantes : la région hydrographique (1er ordre), le secteur hydrographique (2ème ordre), le sous-secteur hydrographique (3ème ordre), la zone hydrographique (4ème ordre). De plus, il a été retenu que chaque objet ne pourrait être subdivisé qu'en 10 partitions maximum. Par exemple, une région peut être découpée en 10 secteurs au maximum. Chaque partition a été codifiée par un chiffre (et une lettre pour la région) qui se concatène à l'entité mère. »

Source : http://sandre.eaufrance.fr/article.php3?id_article=99

II.1. Sectorisations anthropique et climatique⁵

Cette partie présente deux autres possibilités de sectorisations envisageables fondées sur le climat et les aménagements.

Sur le Rhône, les premiers travaux d'aménagement datent du 18^e siècle, avec la construction en 1774 de la digue de Chautagne, puis de digues insubmersibles et d'épis pour éloigner le courant des rives. En 1840, après la grande inondation, les Ponts et Chaussées (Service Spécial du Rhône) procèdent à de nombreux aménagements pour protéger les habitations, les terres agricoles et rendre le Rhône navigable :

- 1838/1859 : construction de digues rectilignes et insubmersibles distantes de 400 à 800m ;
- 1860/1878 : construction de digues basses sinueuses distantes de 130 à 180m ;
- 1886/1910 : construction d'un ensemble de digues et d'épis le long des rives concaves, ou système Girardon avec épis, seuils de fonds et tenons traverses.

Spatialement, de la source au delta, les premiers barrages du Rhône sont construits en Suisse : en 1925 le barrage de Chancy-Pougny voit le jour avec une chute d'eau de 16 mètres et une capacité de stockage de 3 millions de m³, puis en 1943 c'est le barrage de Verbois avec une chute d'eau de 22 mètres et une capacité de stockage de 13 millions de m³.

En France, la Compagnie Nationale du Rhône (CNR) construit 18 ouvrages en 50 ans, de 1948 à 1986, pour favoriser le développement de l'hydroélectricité, de la navigation fluviale, et de l'irrigation (Figure 10.). Sur le Haut-Rhône, le barrage de haute-chute ou Barrage-Réservoir de Génissiat a été construit en 1948 (chute d'eau de 60 à 69 mètres, capacité de stockage de 53 millions de m³), et le barrage de compensation de Seyssel en 1951 (capacité de stockage de 6 millions de m³). On observe aussi sur le cours du Rhône 16 aménagements à dérivation dits « au fil de l'eau », avec des chutes d'eau comprises entre 5,5 mètres et 20,7 mètres pour une hauteur moyenne de 11 mètres.

Ce type d'ouvrage « au fil de l'eau » est constitué de différents éléments :

- un canal de dérivation artificiel où est placée l'usine hydroélectrique avec un canal d'amené et un canal de fuite ;
- le Rhône court-circuité ou Vieux-Rhône ou ancien Rhône barré par un barrage en amont ;
- une zone de retenue en amont du barrage qui est endiguée avec contre-canaux de part et d'autre pour récolter les eaux de percolation à travers les digues et assurer le drainage et le soutien de la nappe alluviale.

Les premiers ouvrages de ce type sont ceux du Canal de Jonage et de l'usine de Cusset construits en 1892/1899, auxquels a été ajouté un barrage de dérivation en 1937. Certains ouvrages font exception et sont construits différemment. Il s'agit du barrage-usine et de l'écluse de Vaugris, et de l'ouvrage d'Arles qui permet la navigation à l'étiage.

L'ensemble des aménagements permet :

- de fournir de l'électricité sur l'ensemble du Rhône à hauteur de 16,2 milliards de kWh/an ;
- d'irriguer une surface de 400 000 hectares par le biais de prises d'eau et canaux situés principalement sur le tiers aval du Bas-Rhône ;
- de naviguer de Lyon à la mer grâce à un chenal de 4,5 mètres de profondeur, 12 grandes écluses de 195 mètres de long et de 12 mètres de large ;
- de protéger 45 000 hectares de terres agricoles grâce à 300 kilomètres de digue.

⁵ Partie rédigée d'après l'ouvrage de Coulet M., Vebard B. & Monnet P. (1997) – Impacts des aménagements hydroélectriques sur l'écosystème Rhône. FRAPNA Lyon, 181p.

Aménagements	Hauteur de chute (en m)	Longueur retenue (en km)	Longueur canal d'aménagé (en km)	Longueur canal de fuite (en km)	Année de mise en service
Géniissiat-Seyssel	74,35	28	-	-	1948 1951
Chautagne	15	5,7	5,4	3,3	1981
Brégnier-Cordon	11,40	11,5	5	2,7	1984
Sault-Brenaz	7,60	20,2	5,7	2,3	1986
Miribel-Jonage	12,20	4,5	15,8	3	1899
Pierre-Bénite	9,05	4	0	11	1966
Vaugris	6,10	18,5	,5	,5	1978
Péage de Roussillon	13,80	15,7	9,4	1,9	1977
Saint-Vallier	10,75	19,5	3,3	0,7	1971
Bourg-Lès-Valence	11,70	11,1	7,6	2,3	1968
Beauchastel	12,65	11,1	7,6	2,3	1963
Baix-Logis-Neuf	11,3	8,8	7,4	1,8	1960
Montélimar	17,10	8,6	11,7	1,7	1957
Donzère-Mondragon	22	4	17	11	1952
Caderousse	9	11,5	2,4	2,1	1957
Avignon	9,4 (Avignon) 9,15 (Sauveterre)	10,6	4,2	5,2	1973
Vallabrègues	12,15	18	3	4	1970

Tableau I - Caractéristiques principales des aménagements du Rhône français

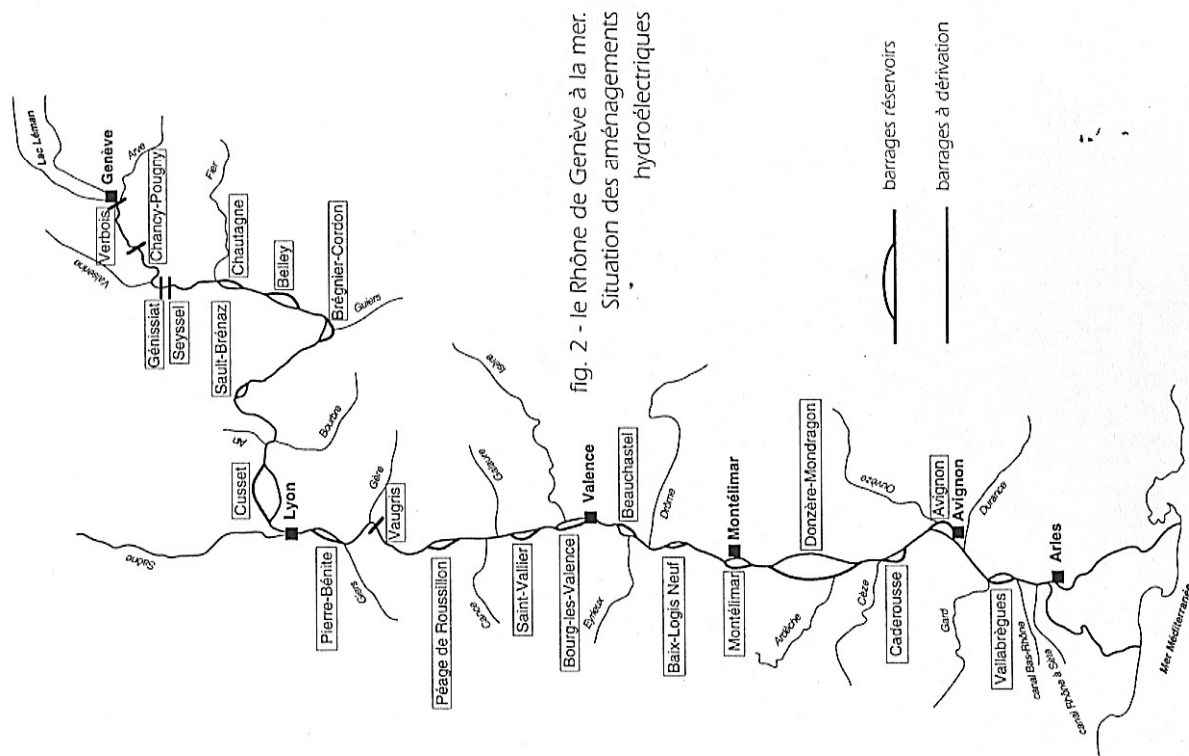


Figure 10. Caractéristiques et positionnement des aménagements sur le Rhône (Coulet & al., 1997)

Ces aménagements ont de nombreux impacts sur le système fluvial du Rhône qu'il est nécessaire d'appréhender selon 4 dimensions :

- longitudinale, suivant un gradient amont-aval de la source vers l'embouchure ;
- transversale, intégrant la diversité des écosystèmes interactifs en mosaïque dans la bande alluviale comprenant les eaux vives, les bras latéraux, les bras morts, les méandres, les forêts humides, les îles et les plaines... ;
- verticale, intégrant les échanges entre eaux de surfaces et eaux souterraines ;
- temporelle, incluant les changements naturels ou anthropiques.

D'un autre côté, les caractéristiques des plaines fluviales ont généré des contraintes lors de la construction des aménagements hydroélectriques Collin (2006). Ces contraintes sont les suivantes :

- faible pente ligne d'eau du fleuve ;
- faible gradient souterrain ;
- inondabilité superficielle,
- forte perméabilité responsable de court-circuit et de modification des lignes d'eau.

De plus, la perméabilité du fond du lit nécessite la création de contre-canaux car il se crée dans les digues une nappe artificielle à très fort gradient qu'il faut éliminer par drainage. Ce flux, plus celui de la nappe et des petits affluents constituent le débit des contre-canaux.

Par ailleurs, il est aussi nécessaire de prendre en compte les impacts sur les systèmes fluviaux générés par de nouveaux milieux comme les digues, les plates-formes et les contre-canaux. Ici, la difficulté principale consiste à faire la part entre les impacts dus aux aménagements récents, mais aussi aux aménagements anciens. A titre d'exemple, tous ces aménagements provoquent l'arrêt de la divagation du lit, la stabilisation des formes alluviales, des phénomènes de fixation rapide, de creusement du lit, d'augmentation des vitesses de courant, d'envasement progressif des bras secondaires. Les barrages, quant à eux sectorisent le fleuve et génèrent une modification des flux et de la piézométrie de la nappe compensée le cas échéant par les contre-canaux.

Aujourd'hui le Rhône est donc un fleuve très anthropisé. Le fleuve naturel du passé caractérisé par ses tressages, ses méandres, ses crues violentes (ex : la crue de 1856 est une des plus forte connue) est à présent régulé sur 50% de sa longueur par 12 aménagements au fil de l'eau ce qui représente 150km de tronçons court-circuités et 225km de retenues. Son bassin versant compte désormais 9 millions d'habitants dont 3 millions de riverains (Fruget, 2003). Le fleuve produit 20 à 25% de l'hydroélectricité française (soit 3-4% total nationale) et est régulé par de grands réservoirs de stockage dont 80% est situé en Suisse (7 milliards de m³ soit au total 7,3% de l'écoulement annuel correspondant à de 96 milliards de m³)⁶.

Sur le plan longitudinal, il est possible de sectoriser le Rhône en 2 tronçons :

- le Rhône de Genève à Lyon ou Haut-Rhône ;
- le Rhône de Lyon à la mer ou Bas-Rhône, la Saône apportant 2/3 du débit du Rhône.

Globalement, les débits du Rhône sont caractérisés par de fortes valeurs et des étiages relativement soutenus (valeurs extraites de la Banque Hydro et contenues dans le CD-ROM joint au rapport). Toutefois, cette tendance est à affiner selon les paramètres climatiques des différents secteurs :

⁶ Souchon Y. Le Rhône : réhabilitation hydromorphologique et écologique d'un hydrosystème considérablement exploité par l'homme. UICN.

En ligne : http://www.iucn.org/places/medoffice/cdflow/conten/menu_fr.html

- le régime hydrologique du Haut-Rhône est majoritairement glacio-nival et secondairement pluvial, on observe des basses-eaux en hiver et des débits soutenus au printemps et en début d'été ;
- le régime hydrologique à l'aval de Lyon est fortement influencé par la Saône caractérisée par un régime pluvial océanique avec une légère influence nivale en février et mars ;
- le régime hydrologique à la confluence Isère est nival avec de hautes-eaux de mai à juin ;
- le régime hydrologique à partir d'Eyrieux est sous l'influence du climat méditerranéen et du régime des torrents cévenols avec hautes-eaux en automne.

Les aménagements hydroélectriques modifient ces régimes hydrologiques. En effet, sur le Haut-Rhône, depuis les années 1940, l'augmentation des capacités de rétention sur le lac Léman et dans les Alpes suisses, estimée à 1000 millions de m³, provoque une diminution des débits en saison chaude et une hausse des débits en saison froide. Sur le Bas-Rhône on observe une hausse des débits hivernaux et une pénurie estivale.

Concernant les crues, on observe que 13470 hectares sur 42350 inondables sont soustraits à l'action des crues à l'aval de Lyon (ex : protection par les digues). Ce total ne tient pas compte des effets des périmètres protégés sur la Haut-Rhône et des protections partielles localisées le long de la vallée. D'une manière globale, on observe une suppression des crues à fortes fréquences ce qui provoque un colmatage des fonds et des berges, diminue les échanges entre eaux superficielles et souterraines et modifie l'écoulement des fortes crues par accélération des flux dans le Rhône court-circuité.

La consultation de la Banque HYDRO⁷ permet de situer les valeurs guides concernant les débits sur le cours du Rhône sur la période 1920-2005, par exemple :

- sur le Rhône-Amont à Injoux/Génissiat le débit moyen est de 360 m³/s (310 m³/s pour les années sèches et 410 m³/s pour les années humides) ; le débit de basses-eaux de 130 m³/s et le débit de crue cinquantennale de 1600 m³/s ;
- sur le Rhône-Amont à Brens le débit moyen est de 423m³/s (350 m³/s pour les années sèches et 490m³/s pour les années humides) ; le débit à fréquence quinquennale de basses-eaux est de 160 m³/s et le débit de crue cinquantennale de 1900m³/s ;
- sur le Rhône-Moyen à Lyon Perrache le débit moyen est de 598 m³/s (490 m³/s pour les années sèches et 700 m³/s pour les années humides) ; le débit à fréquence quinquennale de basses-eaux est de 210 m³/s et le débit de crue cinquantennale de 3800 m³/s ;
- sur le Rhône-Aval à Ternay le débit moyen est de 1030 m³/s (820 m³/s pour les années sèches et 1200 m³/s pour les années humides) ; le débit à fréquence quinquennale de basses-eaux est de 300 m³/s et le débit de crue cinquantennale de 5700 m³/s ;
- sur le Rhône-Aval à Valence le débit moyen est de 1413 m³/s (1100 m³/s pour les années sèches et 1700 m³/s pour les années humides) ; le débit à fréquence quinquennale de basses-eaux est de 450 m³/s et le débit de crue cinquantennale de 6800 m³/s ;
- sur le Rhône-Maritime à Beaucaire le débit moyen est de 1700m³/s (1400 m³/s pour les années sèches et 2000 m³/s pour les années humides) ; le débit à fréquence quinquennale de basses-eaux est de 540 m³/s et le débit de crue cinquantennale de 9600 m³/s.

Des cartes interactives sont disponibles sur le site de la CNR⁸. Elles permettent de visualiser et de localiser les principaux ouvrages et aménagements du Rhône. Elles positionnent et donnent des informations sur les écluses, les barrages, les sites portuaires, les ports de plaisance, les stations hydrologiques, les débits moyens horaires, les mouillages moyens horaires, les hauteurs libres moyennes horaires et les niveaux moyens horaires. Des liens interactifs précisent l'organisme

⁷ <http://www.hydro.eaufrance.fr>

⁸ <http://www.inforhone.fr/inforhone/fr/commun/index.htm>

gestionnaire des ouvrages (ex : SIG et SFMCF pour les ouvrages suisses situés en aval de Genève, CNR pour la majorité des ouvrages français, EDF et VNF pour quelques ouvrages de la région lyonnaise). De plus ces informations sont contextualisées car le site Internet indique le cours du Rhône, le Rhône navigable, le Vieux-Rhône, les principaux affluents, les autoroutes, les lignes TGV et les villes. Pour finir, une sectorisation par « chute » ou unité de gestion des ouvrages est indiquée.

Les cartes disponibles en lignes de la CNR n'étant pas téléchargeables, la figure 10. issue de l'ouvrage de Coulet & al. (1997) précise les caractéristiques des aménagements du Rhône.

En somme, il est possible de dégager deux contextes principaux sur le Rhône : le premier, caractérisé par un fleuve très aménagé et navigable à l'aval de Lyon, et le second caractérisé par un fleuve moins aménagé à l'amont de Lyon. **Ainsi, cette étude doit tenir compte de ces deux contextes en sélectionnant des sites tests appropriés : les uns pour étudier les mécanismes d'échange proche de l'état naturel, et les autres plus anthropisés pour étudier les mécanismes d'échanges fortement modifiés.**

Il est aussi important de bien considérer d'une part l'échelle spatiale de travail (aquifère, rive gauche, rive droite, secteur, tronçon, chute) et d'autre part l'échelle temporelle (saisons, cycle hydrologique, changements climatiques).

II.2. Caractérisation des relations d'échange

II.2.1. Configurations hydrogéologiques pour l'analyse des échanges entre le Rhône et ses nappes d'accompagnement

Afin de faciliter la lecture des échanges entre les nappes et le Rhône, nous avons réalisé des coupes schématiques des rives du Rhône sur des critères géologiques et hydrogéologiques. Ces coupes schématiques n'ont pas vocation à se substituer à des interprétations géologiques, hydrogéologiques ou géomorphologiques du terrain. Il s'agit de simplement de schémas visant à faciliter la visualisation des différentes configurations hydrogéologiques dans lesquelles se déroulent les échanges nappes/rivière. Ces schématisations seront précisées ultérieurement au fur et à mesure de l'étude des chutes.

Le désir de gestion et de contrôle du Rhône par la CNR (Compagnie Nationale du Rhône) ont conduit à la construction de digues, contre-canaux ou encore d'une mise en quai complète du Rhône (en particulier dans les grandes villes). Ces aménagements sont très importants car ils ont pour rôle essentiel d'absorber et de drainer les eaux de fuite des digues ainsi que de récupérer (ou réguler) les eaux de drainage de la nappe.

Les échanges nappe-fleuve sont fortement influencés par les caractéristiques géologiques des nappes aquifères mais aussi par ces aménagements. Compte tenu des données disponibles nous avons distingué deux zones :

- un premier aquifère, souvent de type alluvial, qui est en contact avec le Rhône voire sous le Rhône (aquifère de première zone)
- un deuxième aquifère qui est en contact avec le précédent (aquifère de seconde zone)

De nombreuses configurations sont possibles, ce qui nécessite la création d'un code explicite dans le tableau ci-dessous (Figure 11.). Il permet de répertorier et de clarifier les différentes configurations.

II.2.1.1. Principe de codification :

Caractéristiques		Codification		
RIVE	Rive gauche	RG		
	Rive droite	RD		
RHONE	Rhône vif	1		
	Rhône endigué ou influencé par un aménagement	2		
	Rhône court-circuité	3		
	Canal de dérivation	4		
DIGUE	Présence	DP		
	Absence	DA		
QUAI	S'il s'agit d'un quai [zone urbanisée la lettre D (digue) sera remplacé]	Q		
CONTRE CANAL	Présence	CCP		
	Absence	CCA		
AQUIFERE DE PREMIERE ZONE (en contact avec le Rhône)		α		
AQUIFERE DE DEUXIEME ZONE (en contact avec l'aquifère de 1 ^{ère} zone)		β		
Types de formations	Légende	Classification	Perméabilités approximatives m.s⁻¹	Légende
	Alluvions récentes	all	$\sim 10^{-1}$ à 10^{-2}	1
	Alluvions et limons	all/lim	$\sim 10^{-3}$	2
	Alluvions anciennes	all	$\sim 10^{-3}$	3
	Lœss et limons	lim	$\sim 10^{-4}$	4
	Fluvio-glaciaires	all	$\sim 10^{-2}$ à 10^{-3}	5
	Formations calcaires ou alluvions (indéterminée)	cal/all	/	6
	Calcaires compacts volumineux à micro graveleux	cal	Dépend de la fissuration	7
	Calcaires urgoniens	cal	$\sim 10^{-3}$ à 0,5 (karstifié non colmaté)	8
	Calcaires jurassiques et moraines	cal/sab	$\sim 10^{-3}$ à 0,5 (karstifié non colmaté)	9
	Calcaires et marnes jurassiques	cal/arg	/ alternance importante	10
	Formations marno-calcaire et gréseuse	arg/cal	$\sim 10^{-4}$ à 10^{-5}	11
	Molasses miocènes	sab	$\sim 10^{-2}$ à 10^{-4}	12
	Molasses et quaternaire (wurmien)	sab	$\sim 10^{-3}$	13
	Moraines argileuses à caillouteuses	arg/sab	$\sim 10^{-2}$ à 10^{-6}	14
	Moraines (wurmien)	sab/arg	$\sim 10^{-4}$	15
	Micaschistes	cri	$\sim 10^{-7}$ à 10^{-10}	16
	Gneiss	cri	$\sim 10^{-7}$	17
	Granites	cri	$\sim 10^{-5}$ (fissuré) à 10^{-10}	18
Migmatites	cri	$\sim 10^{-6}$	19	
Longueur de la zone	Longue (> 1 km)	a		
	Courte (<1km) ou rétrécissement - élargissement	b		
Type d'aménagement	Rhône court-circuité	RC		
	Canal de dérivation	CD		

Figure 11. Principe de codification des configurations hydrogéologiques

Les représentations des formations géologiques sont issues en partie des figurés lithologiques référencés que l'on trouve dans différentes littératures mais aussi sur Internet : « Banque de Schémas SVT – Académie de Dijon » (consulté le 24 avril 2007), http://svt.ac-dijon.fr/schemassvt/article.php?id_article=258.

En ce qui concerne la nomenclature des différentes formations hydrogéologiques pour l'identification des configurations d'échanges, l'affectation des gammes de perméabilités à ces différentes formations a été faite à partir de données bibliographiques qui contiennent des valeurs de référence pour certaines de ces formations (Margat, 1986 ; Paloc, 1985 – in Roux, 2006a respectivement p97 et 98).

Pour des raisons de simplification, il est possible de répartir ces différentes formations géologiques en six catégories de matériaux parentaux⁹ principaux :

- Dépôts alluvions ou glaciaires (ou colluvions) : **all**
- Roches carbonatées (calcaires et dolomies) : **cal**
- Marnes et roches argileuses : **arg**
- Roches sableuses et formations détritiques : **sab**
- Formations limoneuses : **lim**
- Socles cristallins et cristallophylliens : **cri**

Cette répartition doit bien sûr être complétée par le repérage d'aménagements (digues, barrages, contre-canaux) pour comparer les échanges nappes rivière le long du Rhône.

II.2.1.2. Exemple de la mise en place du code pour une zone donnée :

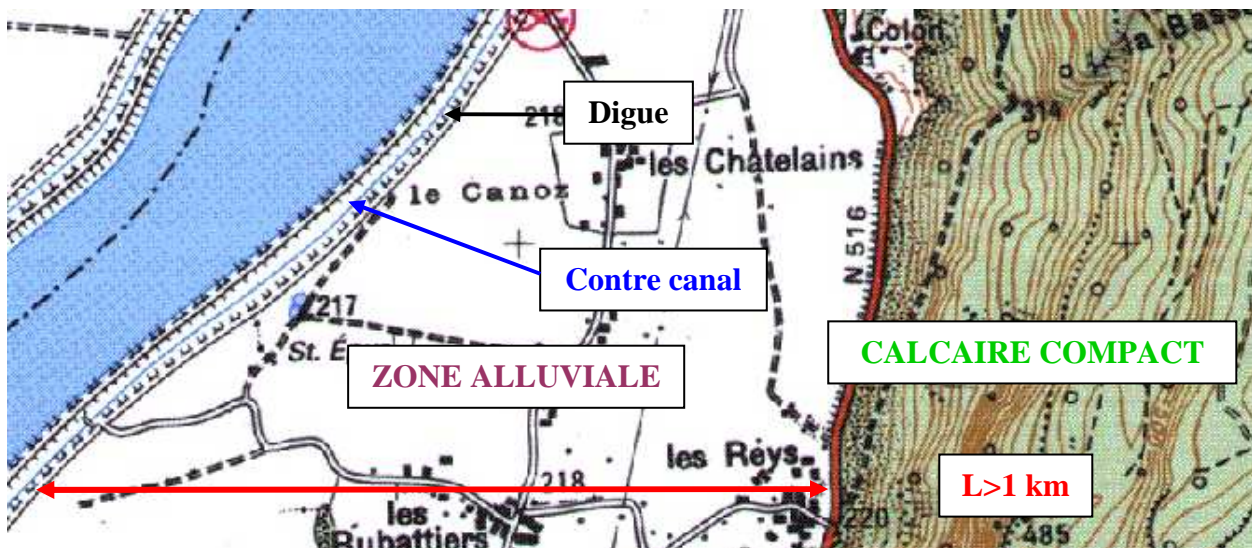


Figure 12. Exemple de la mise en place de la codification des configurations hydrogéologiques sur le secteur de Brégnier-Cordon

⁹ Matériau dont la dégradation a conduit le sol en place. Ce type de répartition a également été adopté par Golaz C., Gomez E. & Ledoux E. (1998) Les principes du modèle couplé : illustration sur le bassin du Rhône et état d'avancement sur le bassin de la Seine.

On a en rive gauche, le Rhône endigué,

- d'où : **RG-2**

Sur cette rive, on distingue deux aménagements : une digue puis un contre canal,

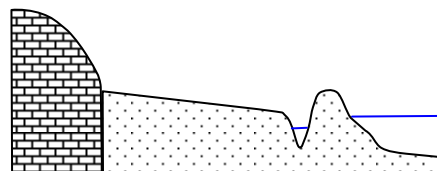
- d'où : **DP-CCP**

Ce secteur fait partie de la zone alluviale d'une longueur de 3 km suivie d'une zone de calcaire compact,

- d'où : **$\alpha 1a-\beta 7$**

Ex (PK 109.5 à 108) : Sur la rive gauche du Rhône endigué, AVEC une digue ET un contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial long et UN SECOND AQUIFERE de calcaires compacts volumineux à micrograveleux.

RG-2-DP-CCP- $\alpha 1a-\beta 7$



Pour simplifier parce qu'il y a beaucoup de configurations semblables, on retiendra les matériaux parentaux principaux des formations sans préciser la localisation en RD ou RG et sans préciser s'il s'agit du Rhône vif, influencé ou endigué (0).

Pour cet exemple les matériaux parentaux d' $\alpha 1$ et $\beta 7$ sont respectivement des **dépôts alluvions ou glaciaires (ou colluvions) ET des roches carbonatées (calcaires et dolomies) symbolisés par all/cal** (Figure 12.).

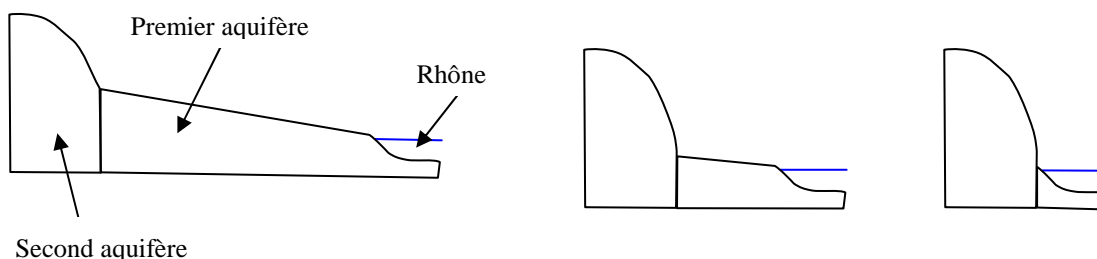
Cette classification simplifiée permettra de faciliter l'analyse d'un secteur et de l'étendre à l'échelle du fleuve.

II.2.1.3. Présentation des différentes configurations de base (sans la géologie):

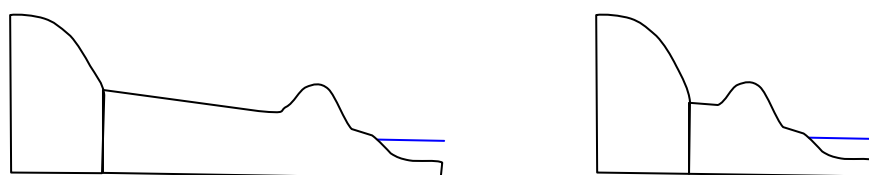
Le long du Rhône, on retrouve les configurations de base suivantes :

- **Sur le Rhône vif, le Rhône court-circuité ou le Rhône influencé**

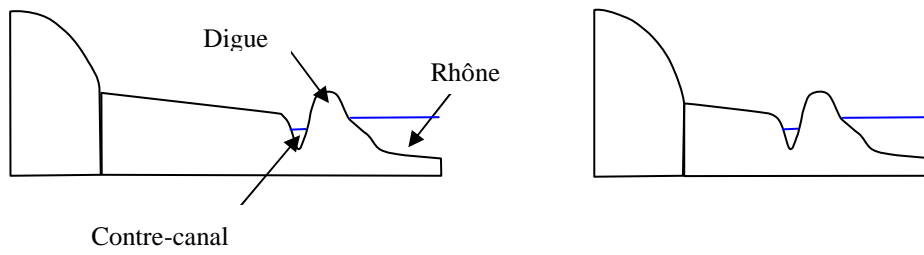
Sans digue ni contre-canal



Avec digue et sans contre-canal

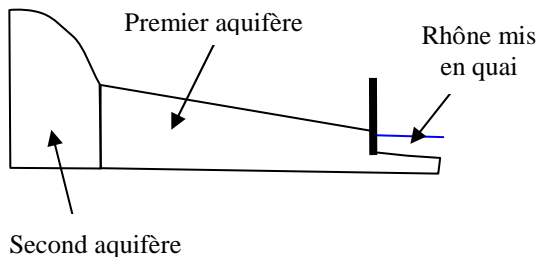


Avec digue et contre-canal

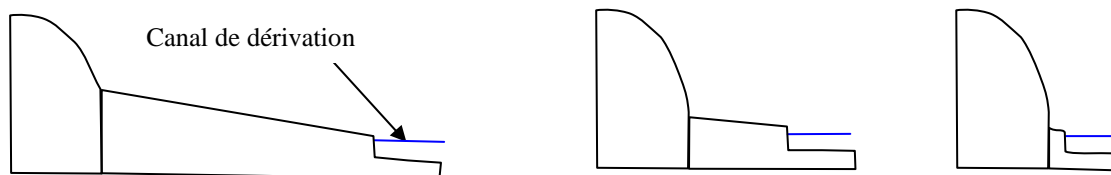


- **Sur le canal de dérivation ou le Rhône fortement urbanisé**

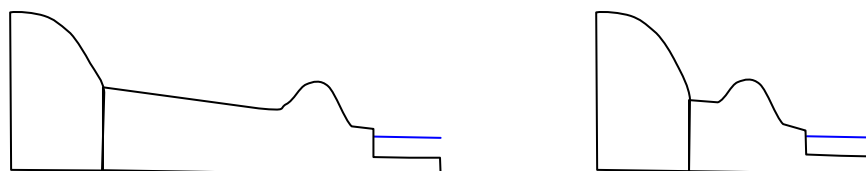
Mise en quai



Sans digue ni contre-canal



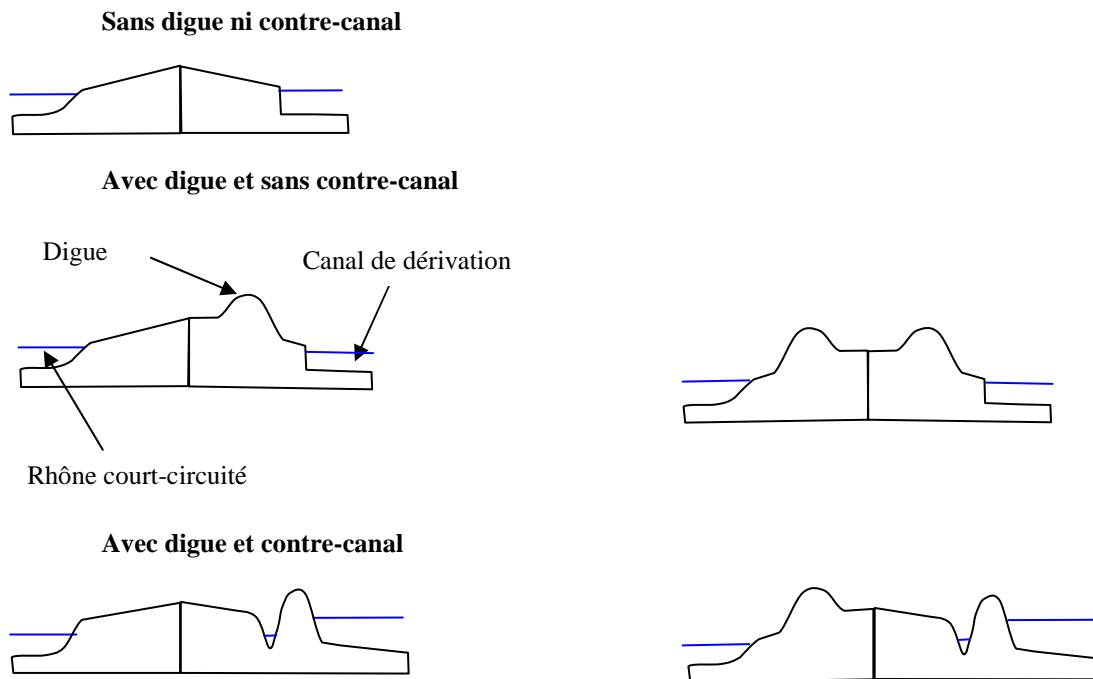
Avec digue et sans contre-canal



Avec digue et contre-canal



• Proximité du Rhône court-circuité et du canal de dérivation



II.2.1.4. Application au site test de Brégnier-Cordon

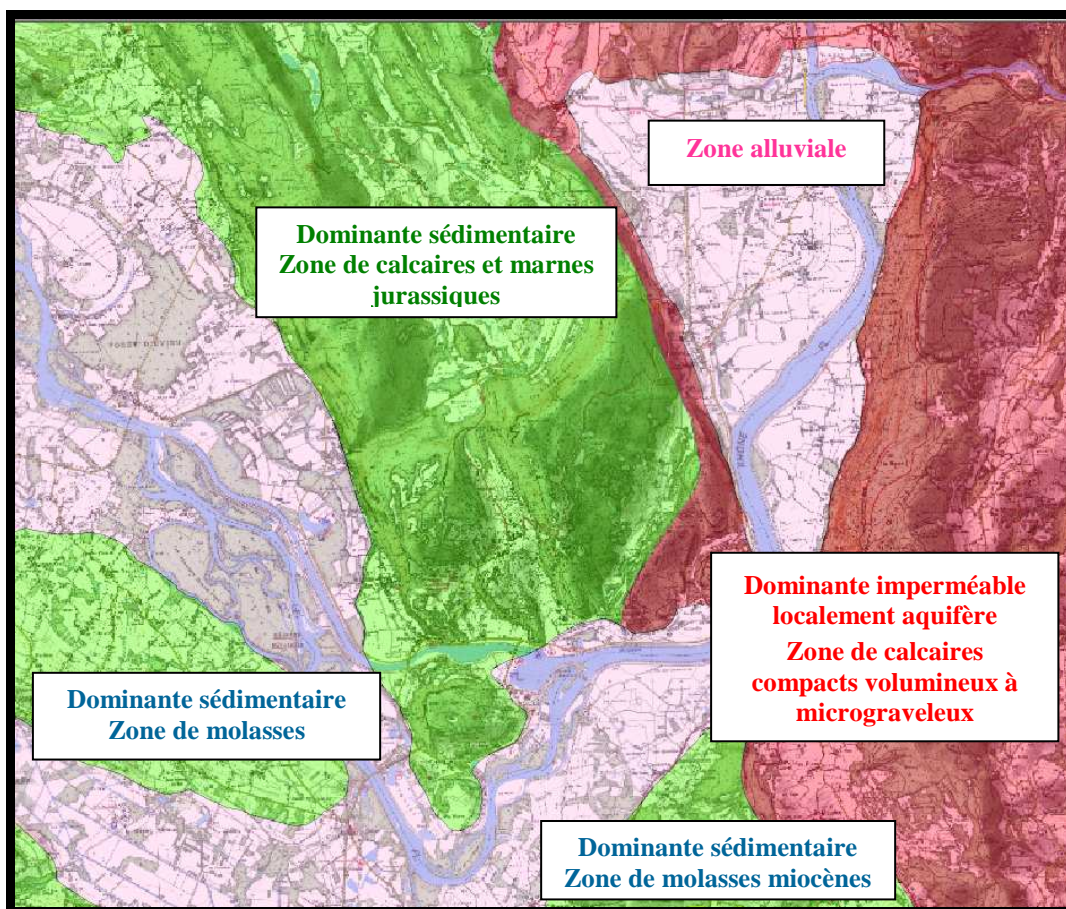


Figure 13. Quatre formations géologiques différentes sur le secteur de la chute de Brégnier-Cordon

On trouve quatre formations géologiques différentes sur le secteur de la chute de Brégnier-Cordon (Figure 13.) :

- une zone alluviale qui se situe le long du cours du Rhône dont la largeur est très variable,
- une zone de calcaires compacts à volumineux à micro graveleux (zone karstique), située à l'est, au niveau de la rive gauche du fleuve. Cette zone est constituée de formations variées de l'avant pays savoyard dans le bassin versant.
- une zone de calcaires et marnes jurassiques au nord du Rhône et de son canal de dérivation
- une zone de molasses miocènes qui est fractionnée et se situe au sud du Rhône.

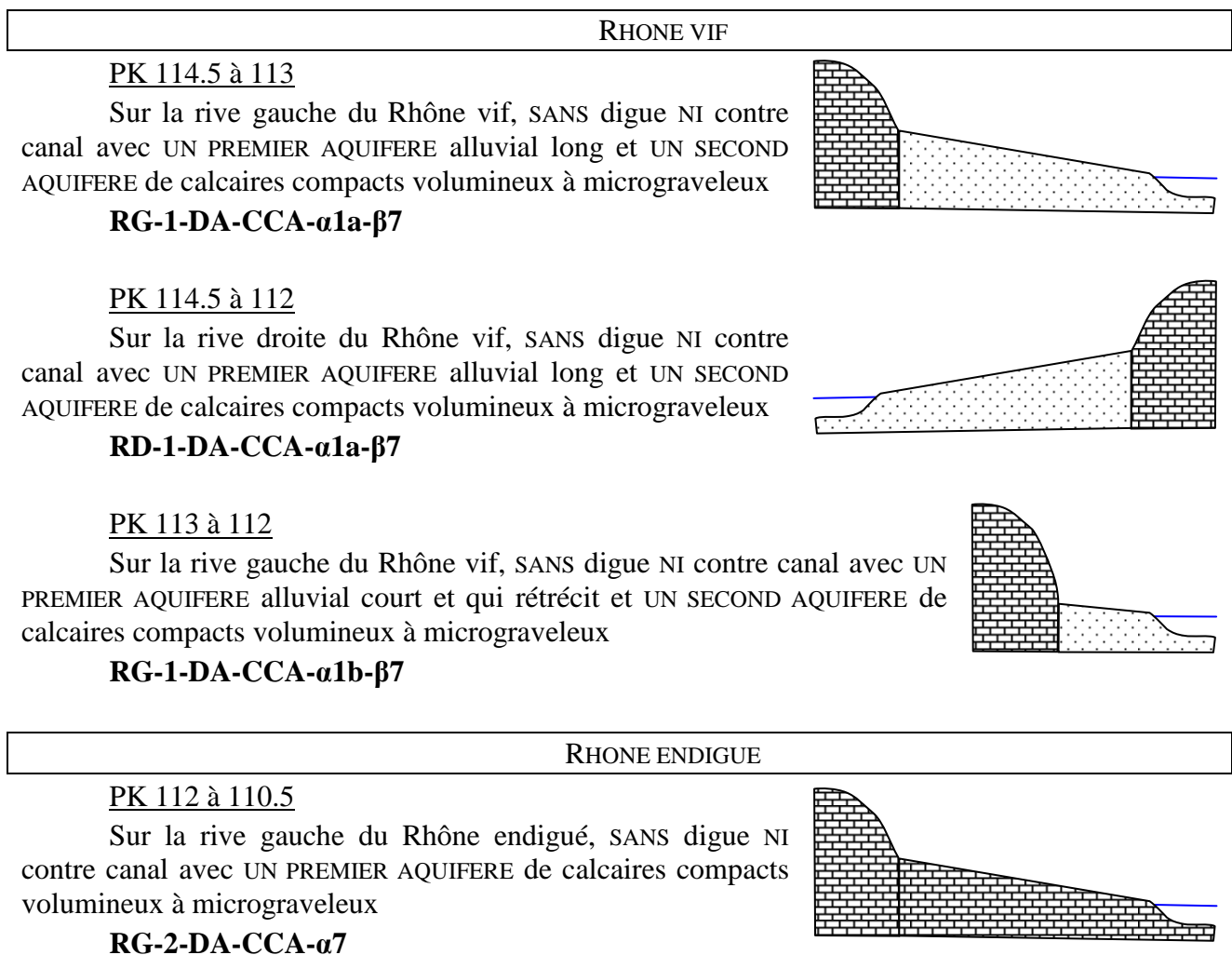
Les structures géologiques ont été déterminées à l'aide des informations suivantes :

- Données ArcMap des dominantes géologiques sur le bassin Rhône-Méditerranée-Corse de l'Agence de l'Eau RMC,
- Cartes géologiques au 1/50000 du BRGM.

II.2.1.5. Schématisation le long du Rhône à Brégnier-Cordon

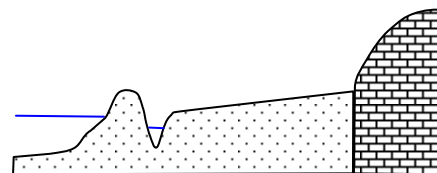
Le secteur de Brégnier-Cordon, s'étend de la confluence entre le Rhône et le Furans jusqu'au Pont d'Evieu, c'est à dire de pK 114.5 à pK 91.

- **Description détaillée**

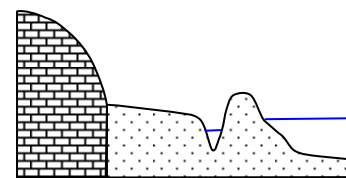


PK 112 à 109.5

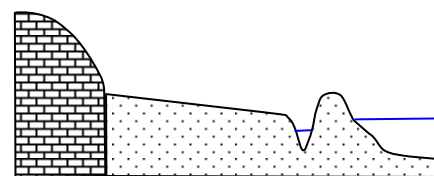
Sur la rive droite du Rhône endigué, AVEC une digue ET un contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial long et UN SECOND AQUIFERE de calcaires compacts volumineux à micrograveleux

RD-2-DP-CCP- α 1a- β 7PK 110.5 à 109.5

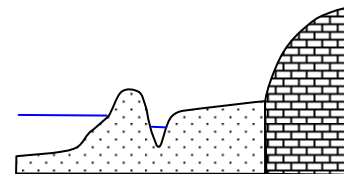
Sur la rive gauche du Rhône endigué, AVEC une digue ET un contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial court et qui s'agrandit et UN SECOND AQUIFERE de calcaires compacts volumineux à micrograveleux

RG-2-DP-CCP- α 1b- β 7PK 109.5 à 108

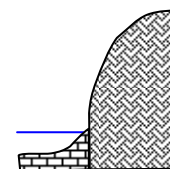
Sur la rive gauche du Rhône endigué, AVEC une digue ET un contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial long et UN SECOND AQUIFERE de calcaires compacts volumineux à micrograveleux

RG-2-DP-CCP- α 1a- β 7PK 109.5 à 109

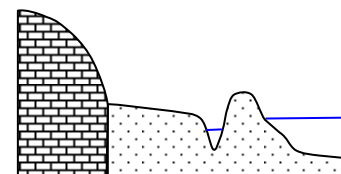
Sur la rive droite du Rhône endigué, AVEC une digue ET un contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial court et qui rétrécit et UN SECOND AQUIFERE de calcaires compacts volumineux à micrograveleux

RD-2-DP-CCP- α 1b- β 7PK 109 à 107

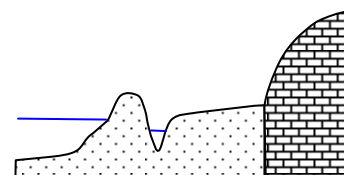
Sur la rive droite du Rhône endigué, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de calcaires compacts volumineux à micrograveleux très court et UN SECOND AQUIFERE de calcaires et marnes jurassiques

RD-2-DA-CCA- α 7b- β 10PK 108 à 105

Sur la rive gauche du Rhône endigué, AVEC une digue ET un contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial court et qui rétrécit et UN SECOND AQUIFERE de calcaires compacts volumineux à micrograveleux

RG-2-DP-CCP- α 1b- β 7PK 107 à 103

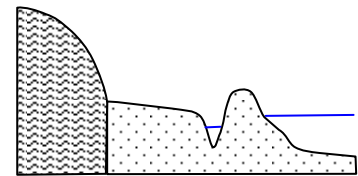
Sur la rive droite du Rhône endigué, AVEC une digue ET un contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial court et UN SECOND AQUIFERE de calcaires compacts volumineux à micrograveleux

RD-2-DP-CCP- α 1b- β 7

PK 105 à 104.5

Sur la rive gauche du Rhône endigué, AVEC une digue ET un contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial court et qui s'agrandit et UN SECOND AQUIFERE de molasses miocènes

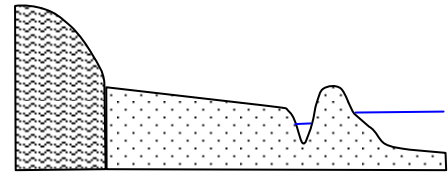
RG-2-DP-CCP- α 1b- β 12



PK 104.5 à 103

Sur la rive gauche du Rhône endigué, AVEC une digue ET un contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial long et UN SECOND AQUIFERE de molasses miocènes

RG-2-DP-CCP- α 1a- β 12

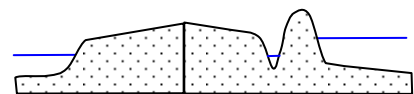


CANAL DE DERIVATION

PK 103 à 102.5

Sur la rive gauche du canal, AVEC une digue ET un contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial court et EN SECONDE PARTIE le Rhône court-circuité

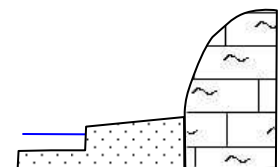
RG-4-DP-CCP- α 1b- β RC



PK 103 à 102.5

Sur la rive droite du canal, SANS digue NI un contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial court et UN SECOND AQUIFERE de calcaires et marnes jurassiques

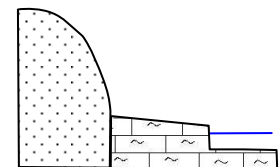
RD-4-DA-CCA- α 1b- β 10



PK 102.5 à 101.5

Sur la rive gauche du canal, SANS digue NI un contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de calcaires et marnes jurassiques court et UN SECOND AQUIFERE alluvial

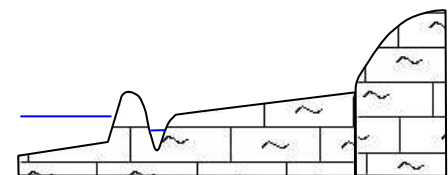
RG-4-DA-CCA- α 10b- β 1



PK 102.3 à 101.5

Sur la rive droite du canal, AVEC une digue ET un contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de calcaires et marnes jurassiques

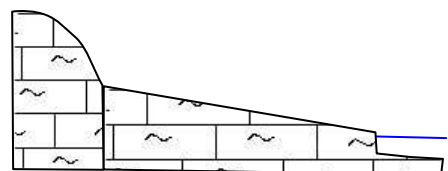
RD-4-DP-CCP- α 10



PK 101.5 à 100

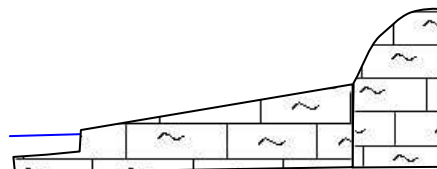
Sur la rive gauche du canal, SANS digue NI un contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de calcaires et marnes jurassiques

RG-4-DA-CCA- α 10

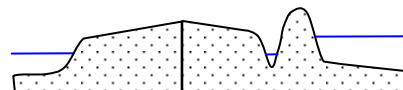


PK 101.5 à 100

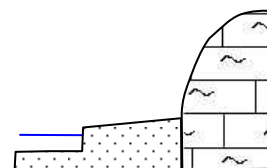
Sur la rive droite du canal, SANS digue NI un contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de calcaires et marnes jurassiques

RD-4-DA-CCA- α 10PK 100 à 94

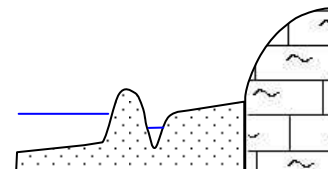
Sur la rive gauche du canal, AVEC une digue ET un contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial court et EN SECONDE PARTIE le Rhône court-circuité

RG-4-DP-CCP- α 1b- β RCPK 100 à 99.5

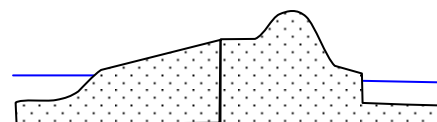
Sur la rive droite du canal, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial court et UN SECOND AQUIFERE de calcaires et marnes jurassiques

RD-4-DA-CCA- α 1b- β 10PK 99.5 à 94

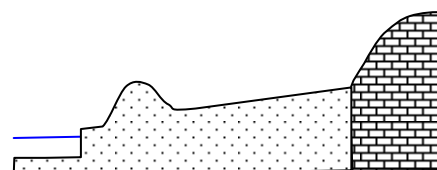
Sur la rive droite du canal, AVEC une digue ET un contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial court et UN SECOND AQUIFERE de calcaires et marnes jurassiques

RD-4-DP-CCP- α 1b- β 10PK 94 à 91.5

Sur la rive gauche du canal, AVEC une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial court et EN SECONDE PARTIE le Rhône court-circuité

RG-4-DP-CCA- α 1b- β RCPK 94 à 91.5

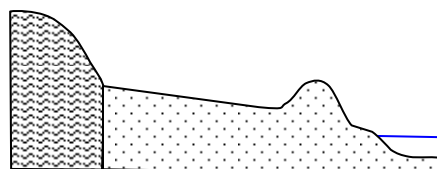
Sur la rive droite du canal, AVEC une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial assez long et UN SECOND AQUIFERE de calcaires et marnes jurassiques

RD-4-DP-CCA- α 1a- β 7

RHONE COURT-CIRCUITE

PK 103 à 102

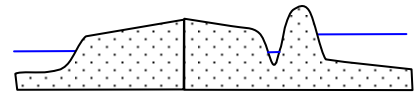
Sur la rive gauche du Rhône court-circuité fait de quelques méandres, AVEC une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial assez long et UN SECOND AQUIFERE de molasses miocènes

RG-3-DP-CCA- α 1a- β 12

PK 103 à 102

Sur la rive droite du Rhône court-circuité, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial court et EN SECONDE PARTIE le canal (avec une digue et un contre canal)

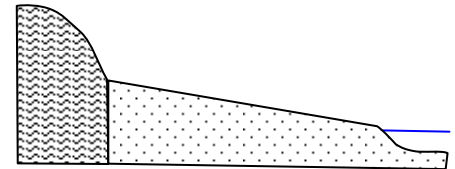
RD-3-DA-CCA- α 1b- β CD



PK 102 à 99

Sur la rive gauche du Rhône court-circuité, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial long et UN SECOND AQUIFERE de molasses miocènes

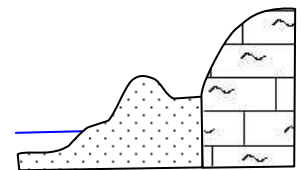
RG-3-DA-CCA- α 1a- β 12



PK 102 à 99

Sur la rive droite du Rhône court-circuité, AVEC une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial court et UN SECOND AQUIFERE de calcaires et marnes jurassiques

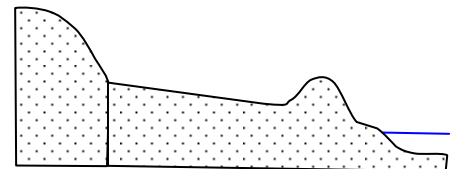
RD-3-DP-CCA- α 1a- β 10



PK 99 à 98

Sur la rive gauche du Rhône court-circuité, AVEC une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial

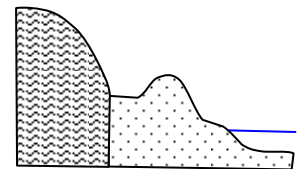
RG-3-DP-CCA- α 1a



PK 99 à 97

Sur la rive gauche du Rhône court-circuité, AVEC une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial court et qui rétrécit UN SECOND AQUIFERE de molasses miocènes

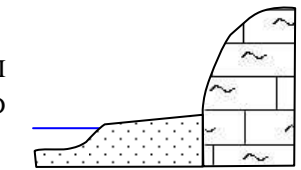
RG-3-DP-CCA- α 1b- β 12



PK 99 à 96

Sur la rive droite du Rhône court-circuité fait, SANS une digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial court et UN SECOND AQUIFERE de calcaires et marnes jurassiques

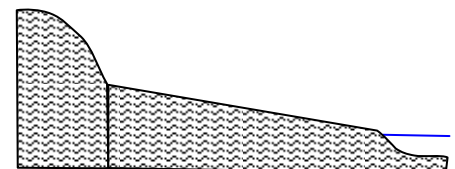
RD-3-DA-CCA- α 1b- β 10



PK 97 à 93

Sur la RG du Rhône court-circuité, SANS une digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de molasses miocènes

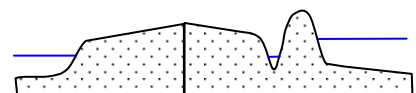
RG-3-DA-CCA- α 12



PK 96 à 94

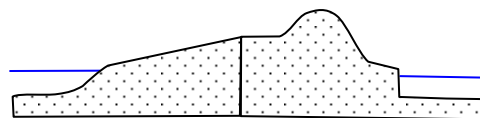
Sur la rive droite du Rhône court-circuité, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial très court et EN SECONDE PARTIE le canal (avec une digue et un contre canal)

RD-3-DA-CCA- α 1b- β CD

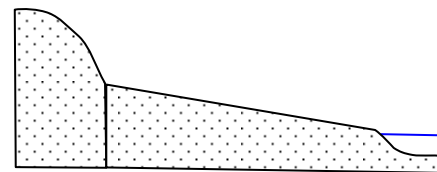


PK 94 à 91.5

Sur la rive droite du Rhône court-circuité, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial très court et EN SECONDE PARTIE le canal (avec une digue)

RD-3-DA-CCA- α 1b- β CDPK 93 à 91.5

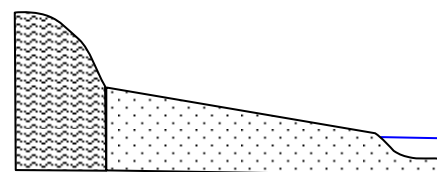
Sur la rive gauche du Rhône court-circuité fait de nombreux méandres, SANS une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial assez long

RG-3-DA-CCA- α 1

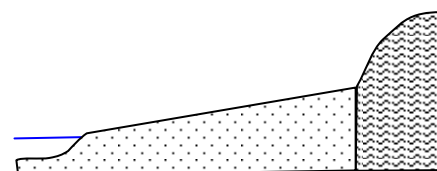
RESTITUTION

PK 91.5 à 91

Sur la rive gauche du Rhône vif, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial long et UN SECOND AQUIFERE de molasses miocènes

RG-1-DA-CCA- α 1a- β 12PK 91.5 à 91

Sur la rive droite du Rhône vif, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial long et UN SECOND AQUIFERE de molasses miocènes

RD-1-DA-CCA- α 1a- β 12**Référence :**

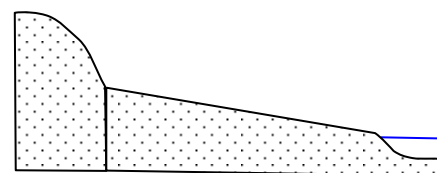
- Carte IGN 1/25000, N° 3232 ET : « Belley, Saint-Genix-sur-Guiers, Sud Bugey, Editions 1 – 1998
- Carte géologique du BRGM 1/50000, N° 724 : « La Tour du Pin ».

- **Description simplifiée**

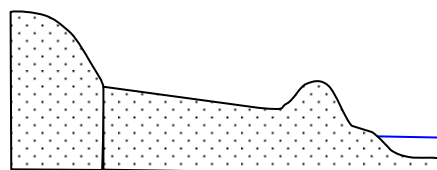
SUR LE RHONE VIF OU ENDIGUE

Dépôts alluvions ou glaciaires (ou colluvions)

Sur la rive du Rhône, SANS une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial assez long

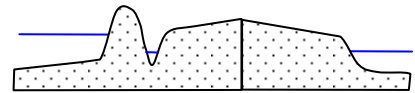
RX-0-DA-CCA- α 1

Sur la rive du Rhône, AVEC une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial assez long

RX-0-DP-CCA- α 1a

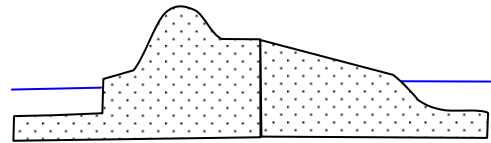
Sur la rive du Rhône, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial court et EN SECONDE PARTIE le canal (possédant digue et contre canal)

RX-0-DA-CCA- α 1b- β CD



Sur la rive du Rhône, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial court et EN SECONDE PARTIE le canal (possédant digue)

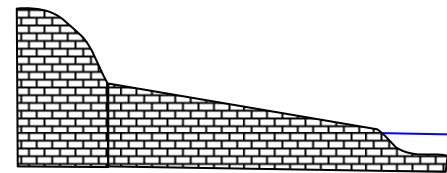
RX-0-DA-CCA- α 1b- β CD



Roches carbonatées (calcaires et dolomies)

Sur la rive du Rhône, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de calcaires compacts volumineux à micrograveleux

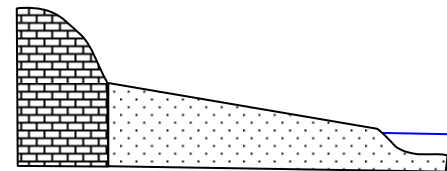
RX-0-DA-CCA- α 7



Dépôts alluvions ou glaciaires (ou colluvions) ET roches carbonatées (calcaires et dolomies)

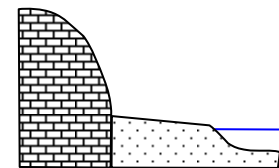
Sur la rive du Rhône, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial long et UN SECOND AQUIFERE de calcaires compacts volumineux à micrograveleux

RX-0-DA-CCA- α 1a- β 7



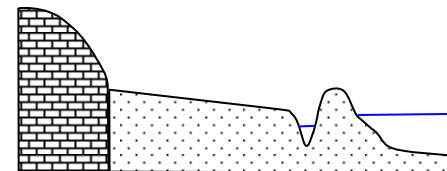
Sur la rive du Rhône, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial et UN SECOND AQUIFERE de calcaires compacts volumineux à micrograveleux

RX-0-DA-CCA- α 1b- β 7



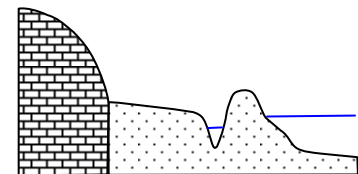
Sur la rive du Rhône, AVEC une digue ET un contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial long et UN SECOND AQUIFERE de calcaires compacts volumineux à micrograveleux

RX-0-DP-CCP- α 1a- β 7



Sur la rive du Rhône, AVEC une digue ET un contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial et UN SECOND AQUIFERE de calcaires compacts volumineux à micrograveleux

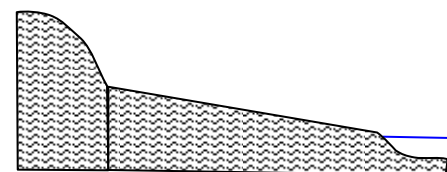
RX-0-DP-CCP- α 1b- β 7



Roches sableuses et formations détritiques

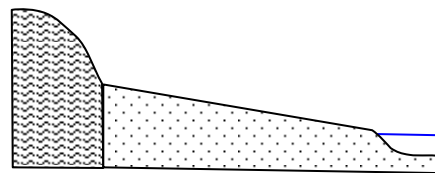
Sur la rive du Rhône, SANS une digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de molasses miocènes

RX-0-DA-CCA- α 12



Dépôts alluvions ou glaciaires (ou colluvions) ET roches sableuses et formations détritiques

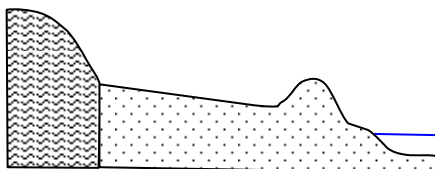
Sur la rive DU Rhône, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial long et UN SECOND AQUIFERE de molasses miocènes



RX-0-DA-CCA-α1a-β10

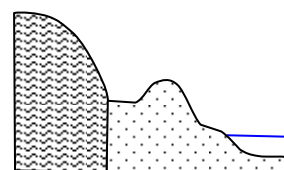
Sur la rive du Rhône, AVEC une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial long et UN SECOND AQUIFERE de molasses miocènes

RX-0-DA-CCA-α1a-β12



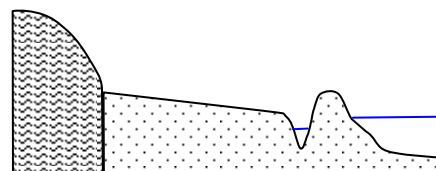
Sur la rive du Rhône, avec une digue mais sans contre canal avec un premier aquifère alluvial UN SECOND AQUIFERE de molasses miocènes

RX-0-DP-CCA-α1b-β12



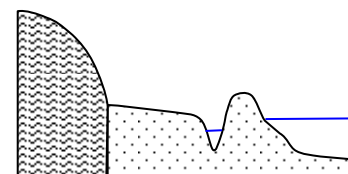
Sur la rive du Rhône, AVEC une digue ET un contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial long et UN SECOND AQUIFERE de molasses miocènes

RX-0-DP-CCP-α1a-β12



Sur la rive du Rhône, AVEC une digue ET un contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial court et UN SECOND AQUIFERE de molasses miocènes

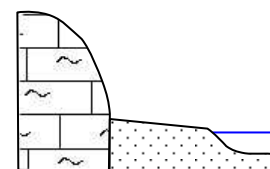
RX-0-DP-CCP α1b-β12



Dépôts alluvions ou glaciaires (ou colluvions), roches carbonatées (calcaires et dolomies) ET marnes et roches argileuses

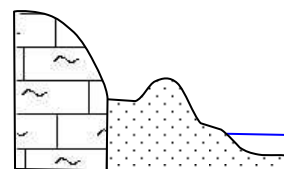
Sur la rive du Rhône, SANS une digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial court et UN SECOND AQUIFERE de calcaires et marnes jurassiques

RX-0-DA-CCA-α1b-β10



Sur la rive du Rhône, AVEC une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial court et UN SECOND AQUIFERE de calcaires et marnes jurassiques

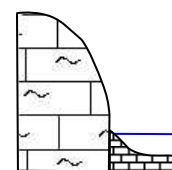
RX-0-DP-CCA-α1a-β10



Roches carbonatées (calcaires et dolomies) ET marnes et roches argileuses

Sur la rive du Rhône, sans digue ni contre canal avec un premier aquifère de calcaires compacts volumineux à micrograveleux très court et UN SECOND AQUIFERE de calcaires et marnes jurassiques

RX-0-DA-CCA-α7b-β10

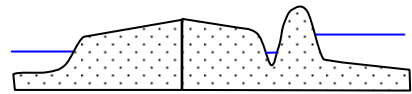


SUR LE CANAL DE DERIVATION

Dépôts alluvions ou glaciaires (ou colluvions)

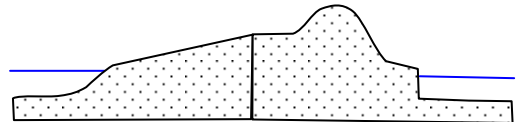
Sur la rive du canal, AVEC une digue ET un contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial court et EN SECONDE PARTIE le Rhône court-circuité

RX-4-DP-CCP- α 1b- β RC



Sur la rive du canal, AVEC une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial court et EN SECONDE PARTIE le Rhône court-circuité

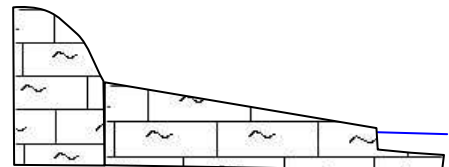
RX-4-DP-CCA- α 1b- β RC



Roches carbonatées (calcaires et dolomies) et marnes et roches argileuses

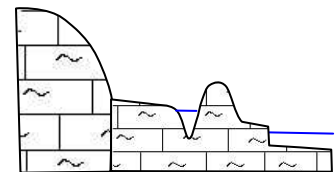
Sur la rive du canal, SANS digue NI un contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de calcaires et marnes jurassiques

RX-4-DA-CCA- α 10



Sur la rive du canal, AVEC une digue ET un contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de calcaires et marnes jurassiques

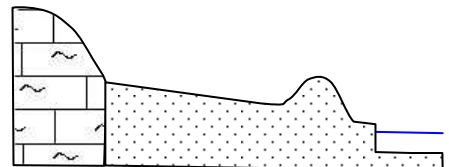
RX-4-DP-CCP- α 10



Dépôts alluvions ou glaciaires (ou colluvions), roches carbonatées (calcaires et dolomies) ET marnes et roches argileuses

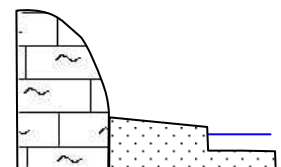
Sur la rive du canal, AVEC une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial long et UN SECOND AQUIFERE de calcaires et marnes jurassiques

RX-4-DA-CCA- α 1a- β 10



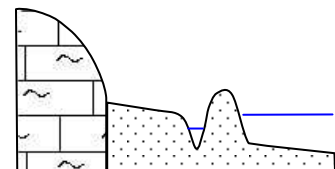
Sur la rive du canal, SANS digue NI un contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial court et UN SECOND AQUIFERE de calcaires et marnes jurassiques

RX-4-DA-CCA- α 1b- β 10



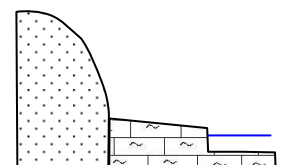
Sur la rive du canal, AVEC une digue ET un contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial court et UN SECOND AQUIFERE de calcaires et marnes jurassiques

RX-4-DP-CCP- α 1b- β 10



Sur la rive du canal, SANS digue NI un contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de calcaires et marnes jurassiques court et UN SECOND AQUIFERE alluvial

RX-4-DA-CCA- α 10b- β 1



II.2.1.6. Tableau récapitulatif des schématisations simplifiées le long du Rhône à Brégnier-Cordon (Figure 14.)

Types de structures géologiques	Schématisations présentes sur le secteur
SANS AMENAGEMENT	
ALL Dépôts alluvions ou glaciaires (ou colluvions)	RX-0-DA-CCA- α 1 RX-0-DP-CCA- α 1a RX-0-DA-CCA- α 1b- β CD RX-0-DA-CCA- α 1b- β CD
CAL Roches carbonatées (calcaires et dolomies)	RX-0-DA-CCA- α 7
ALL / CAL Dépôts alluvions ou glaciaires (ou colluvions), et roches carbonatées (calcaires et dolomies)	RX-0-DA-CCA- α 1a- β 7 RX-0-DA-CCA- α 1b- β 7 RX-0-DP-CCP- α 1a- β 7 RX-0-DP-CCP- α 1b- β 7
SAB Roches sableuses et formations détritiques	RX-0-DA-CCA- α 12
ALL / SAB Dépôts alluvions ou glaciaires (ou colluvions) et marnes et roches argileuses	RX-0-DA-CCA- α 1a- β 10 RX-0-DA-CCA- α 1a- β 12 RX-0-DP-CCA- α 1b- β 12 RX-0-DP-CCP- α 1a- β 12 RX-0-DP-CCP- α 1b- β 12
ALL / CAL / ARG Dépôts alluvions ou glaciaires (ou colluvions), roches carbonatées (calcaires et dolomies) et marnes et roches argileuses	RX-0-DA-CCA- α 1a- β 10 RX-0-DA-CCA- α 1a- β 12 RX-0-DP-CCA- α 1b- β 12 RX-0-DP-CCP- α 1a- β 12 RX-0-DP-CCP- α 1b- β 12
CAL / ARG Roches carbonatées (calcaires et dolomies) et marnes et roches argileuses	RX-0-DA-CCA- α 7b- β 10
AVEC AMENAGEMENT	
ALL Dépôts alluvions ou glaciaires (ou colluvions)	RX-4-DP-CCP- α 1b- β RC RX-4-DP-CCA- α 1b- β RC
CAL / ARG Roches carbonatées (calcaires et dolomies) et marnes et roches argileuses	RX-4-DA-CCA- α 10 RX-4-DP-CCP- α 10
ALL / CAL / ARG Dépôts alluvions ou glaciaires (ou colluvions), roches carbonatées (calcaires et dolomies) et marnes et roches argileuses	RX-4-DA-CCA- α 1a- β 10 RX-4-DA-CCA- α 1b- β 10 RX-4-DP-CCP- α 1b- β 10 RX-4-DA-CCA- α 10b- β 1

Figure 14. Tableau récapitulatif des configurations hydrogéologiques simplifiées présentes sur le secteur de Brégnier-Cordon

La codification des configurations hydrogéologiques a été réalisée pour l'ensemble Haut-Rhône (Annexes 9.). Elle est en cours pour le Rhône moyen et le Rhône aval. La codification est également reportée sur SIG et permet de disposer d'une vue d'ensemble des configurations hydrogéologiques dans lesquelles ont lieu les échanges entre le Rhône et les nappes (Figures 15. à 29.). C'est un élément important de la sectorisation qui permettra ensuite d'évaluer les échanges. Pour chaque grand type de configuration (avec aménagement, sans aménagement, nappe alluviale ou nappe de socle,...), les méthodes de quantification des échanges seront différentes (débit nappe/Rhône déduit des cartes piézométriques CNR, calcul des débits des contre-canaux à partir des données d'ouvrages fournies par la CNR, débit de fuite des digues, débits de contribution des exutoires karstiques ou d'autres milieux fissurés). Auparavant, il est nécessaire de rappeler et de définir les différentes situations d'échange possibles.

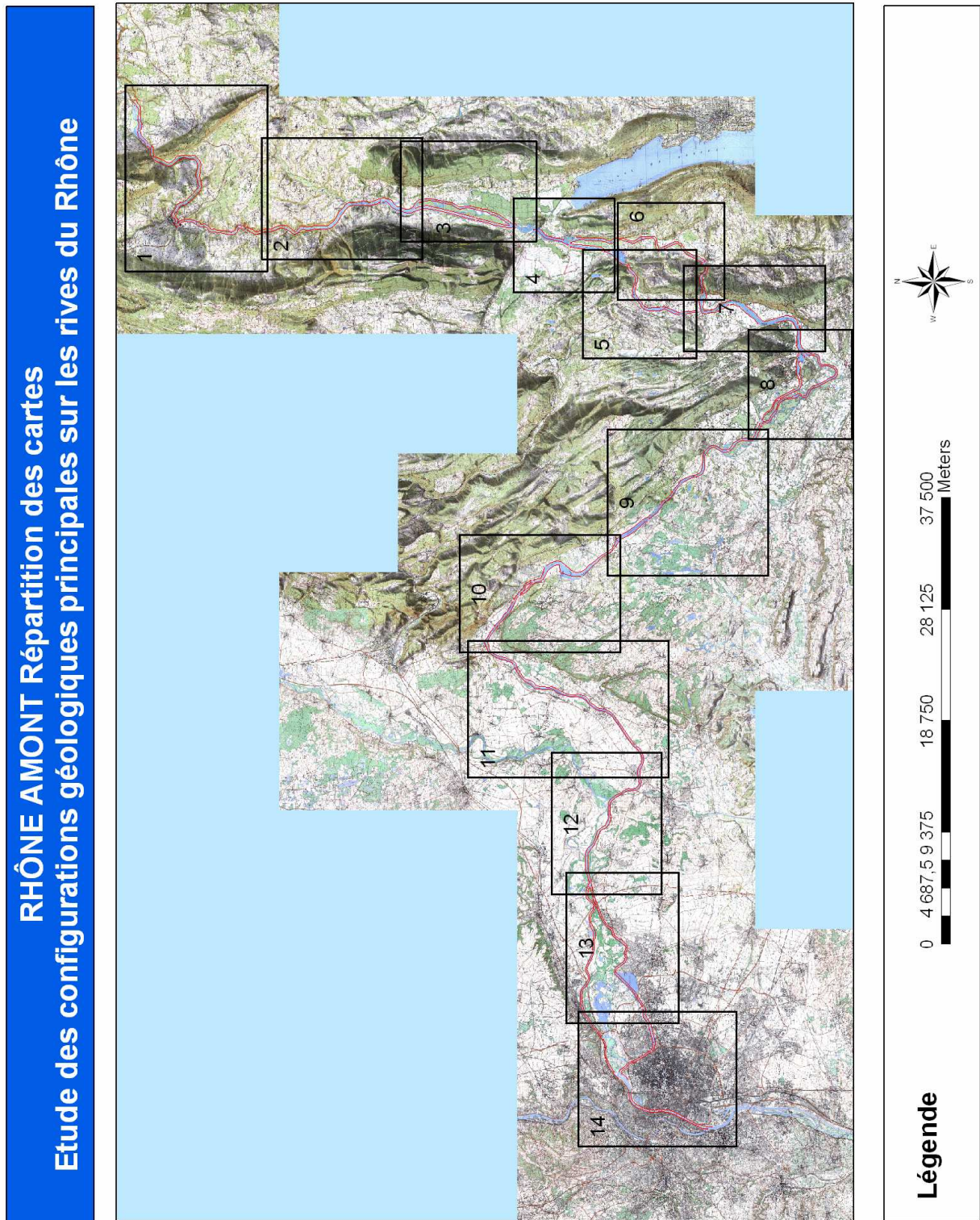


Figure 15. Carte de localisation des planches présentant les configurations hydrogéologiques d'échange sur le Haut-Rhône Français

RHÔNE AMONT Planche 1 Secteur de la Frontière à Seyssel
Etude des configurations hydrogéologiques principales sur les rives du Rhône

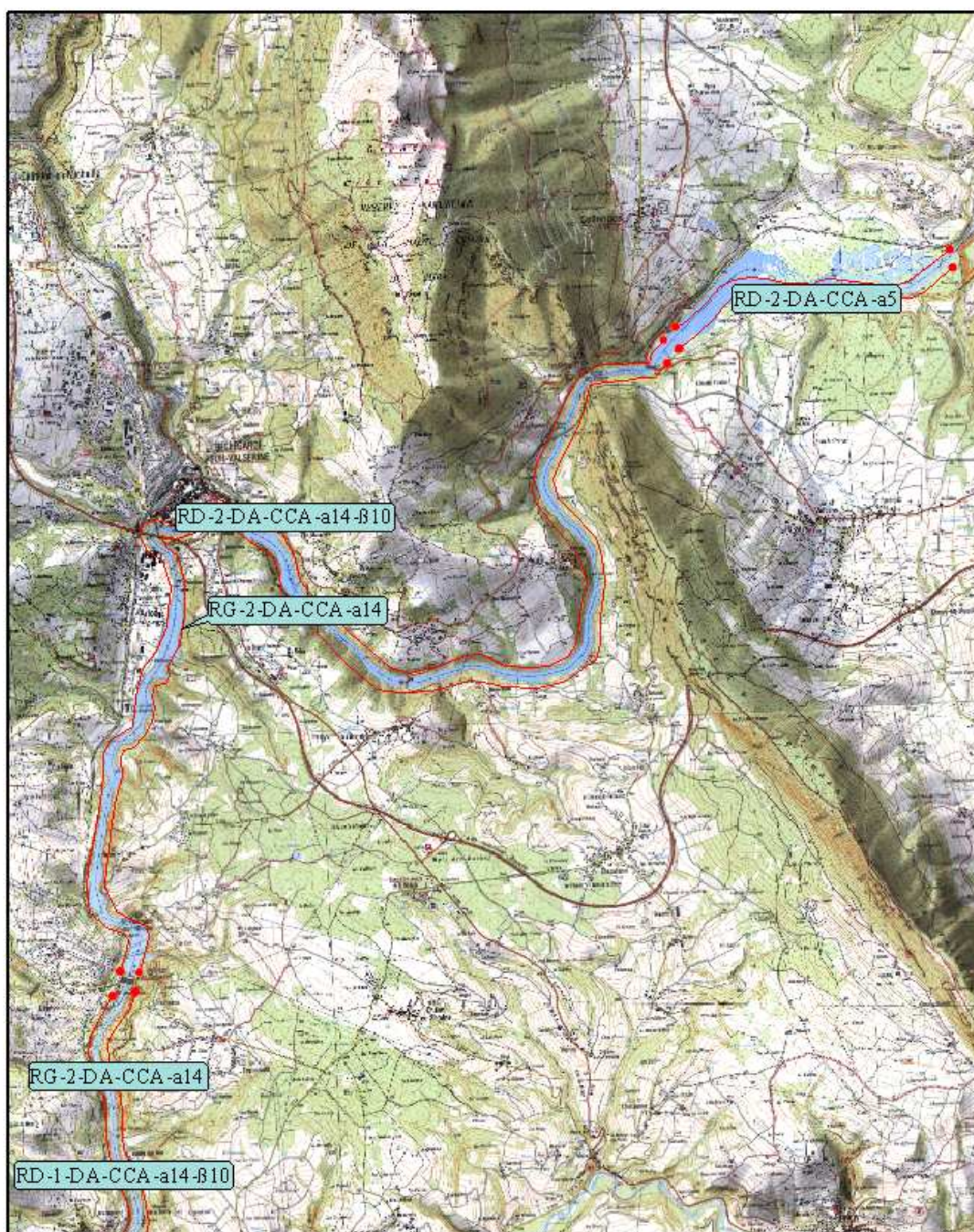


Figure 16. Configurations hydrogéologiques d'échange de la frontière suisse à Seyssel (Planche 1)

RHÔNE AMONT Planche 2 Secteur de la Frontière à Seyssel
Etude des configurations hydrogéologiques principales sur les rives du Rhône

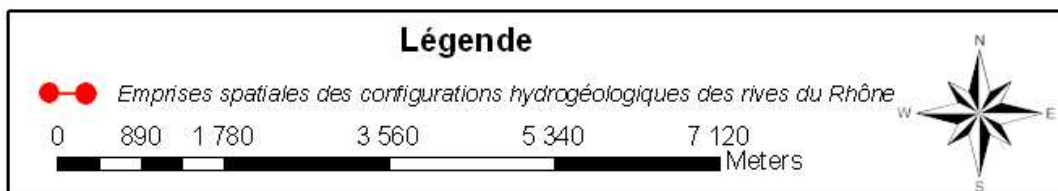
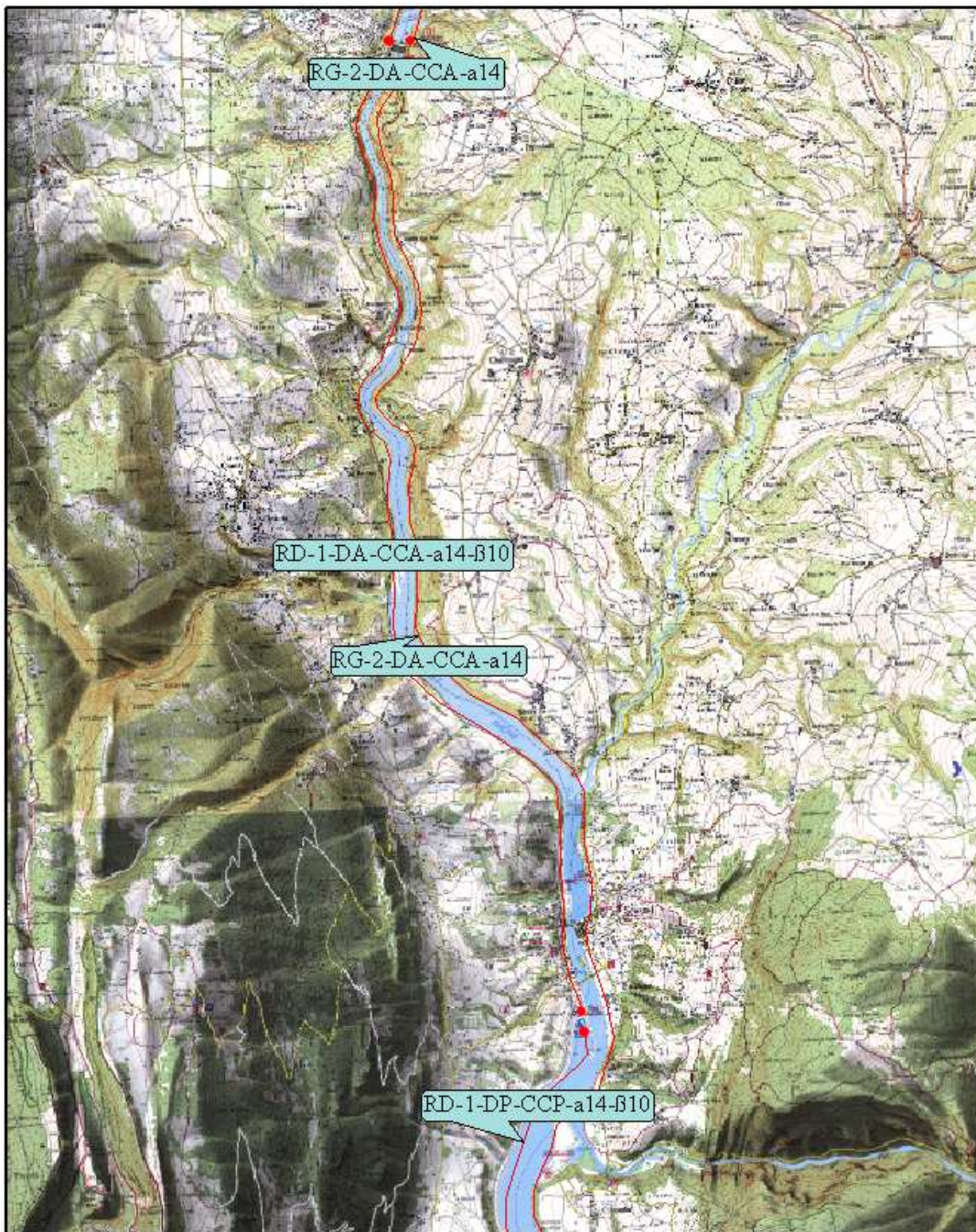


Figure 17. Configurations hydrogéologiques d'échange de la frontière suisse à Seyssel (Planche 2)

RHÔNE AMONT Planche 3 Secteur de la chute de Chautagne
Etude des configurations hydrogéologiques principales sur les rives du Rhône

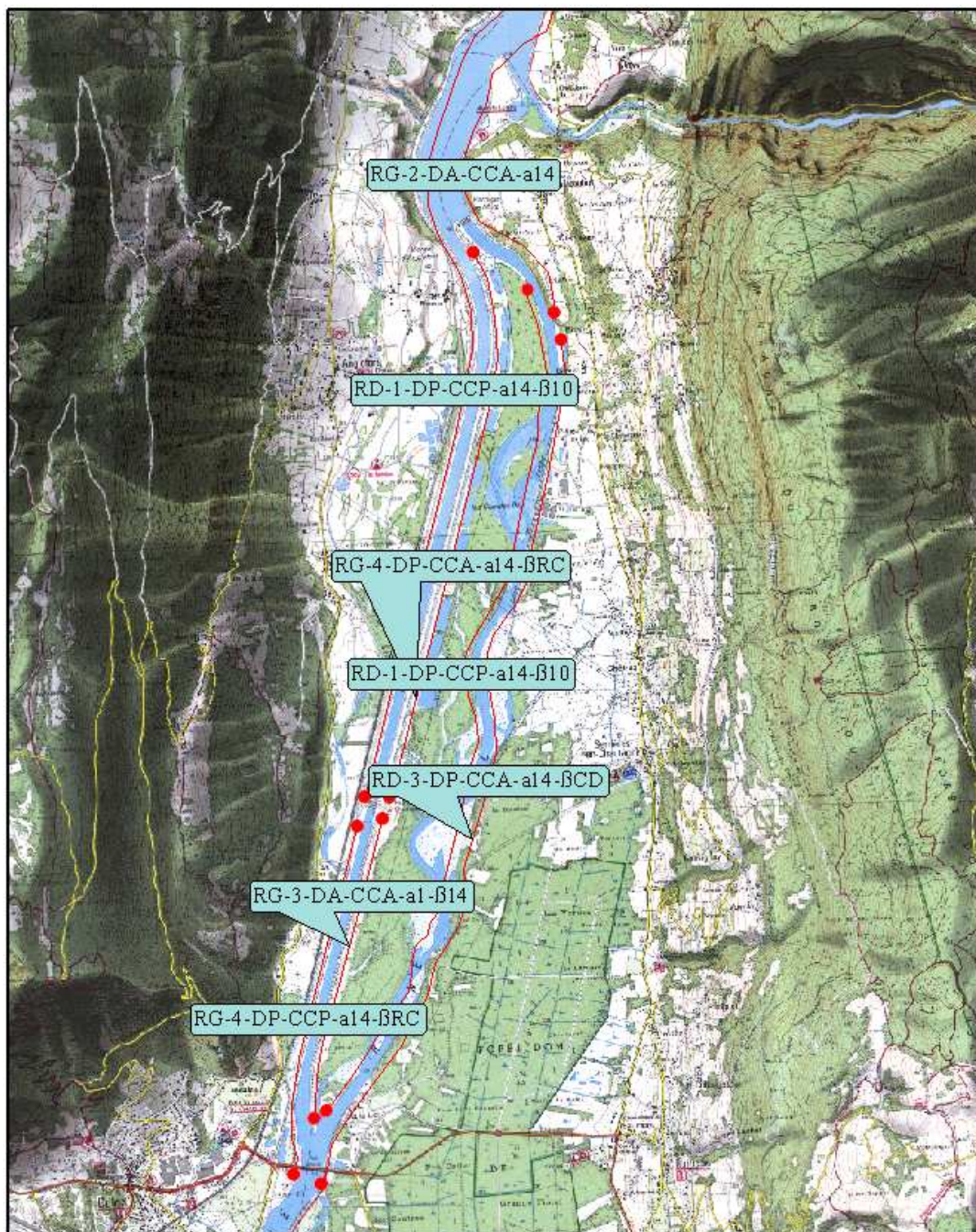


Figure 18. Configurations hydrogéologiques d'échange de la chute de Chautagne (Planche 3)

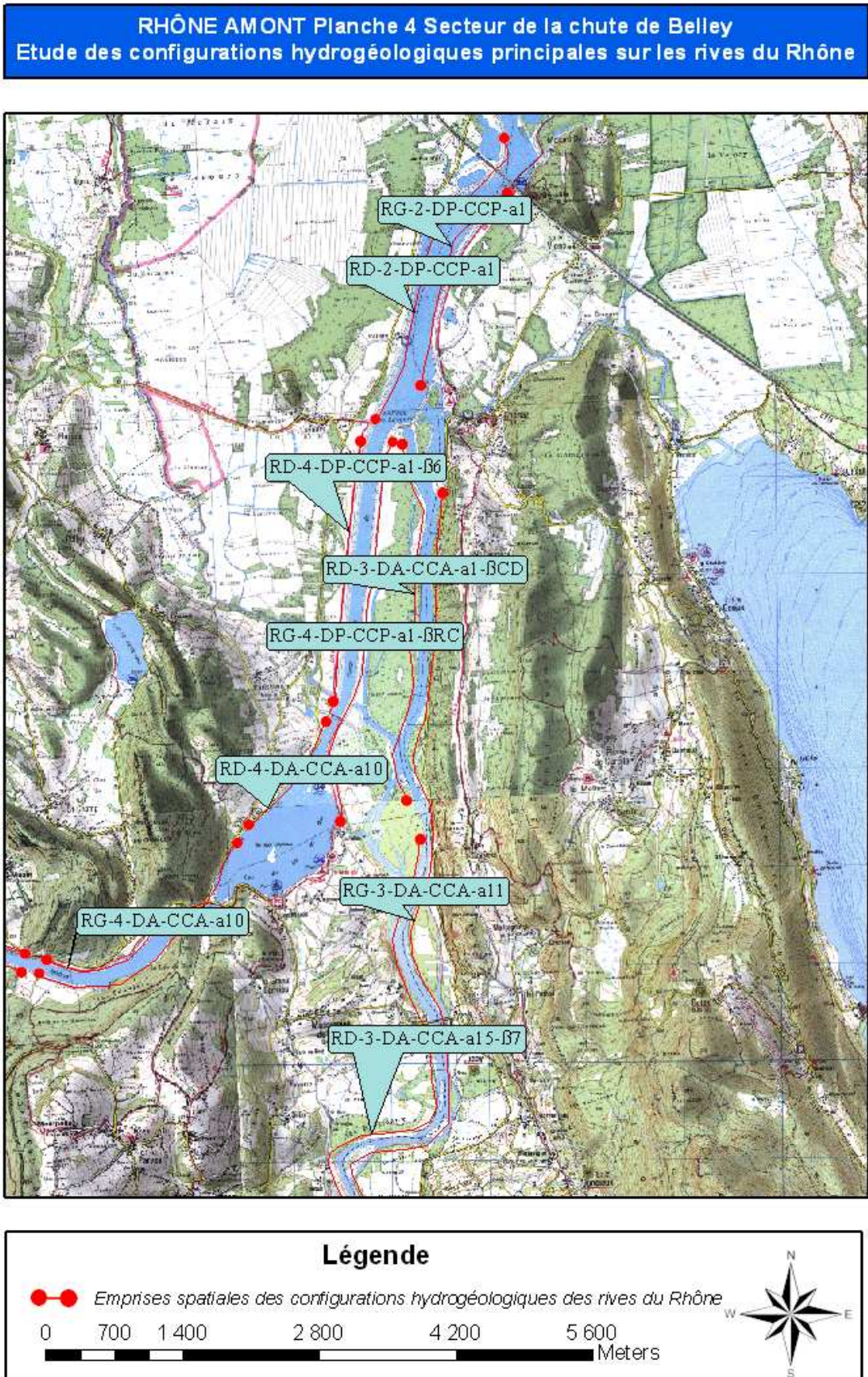


Figure 19. Configurations hydrogéologiques d'échange de la chute de Belley (Planche 4)

RHÔNE AMONT Planche 5 Secteur de la chute de Belley
Etude des configurations hydrogéologiques principales sur les rives du Rhône

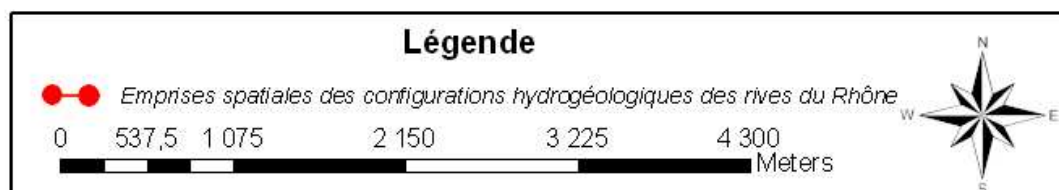
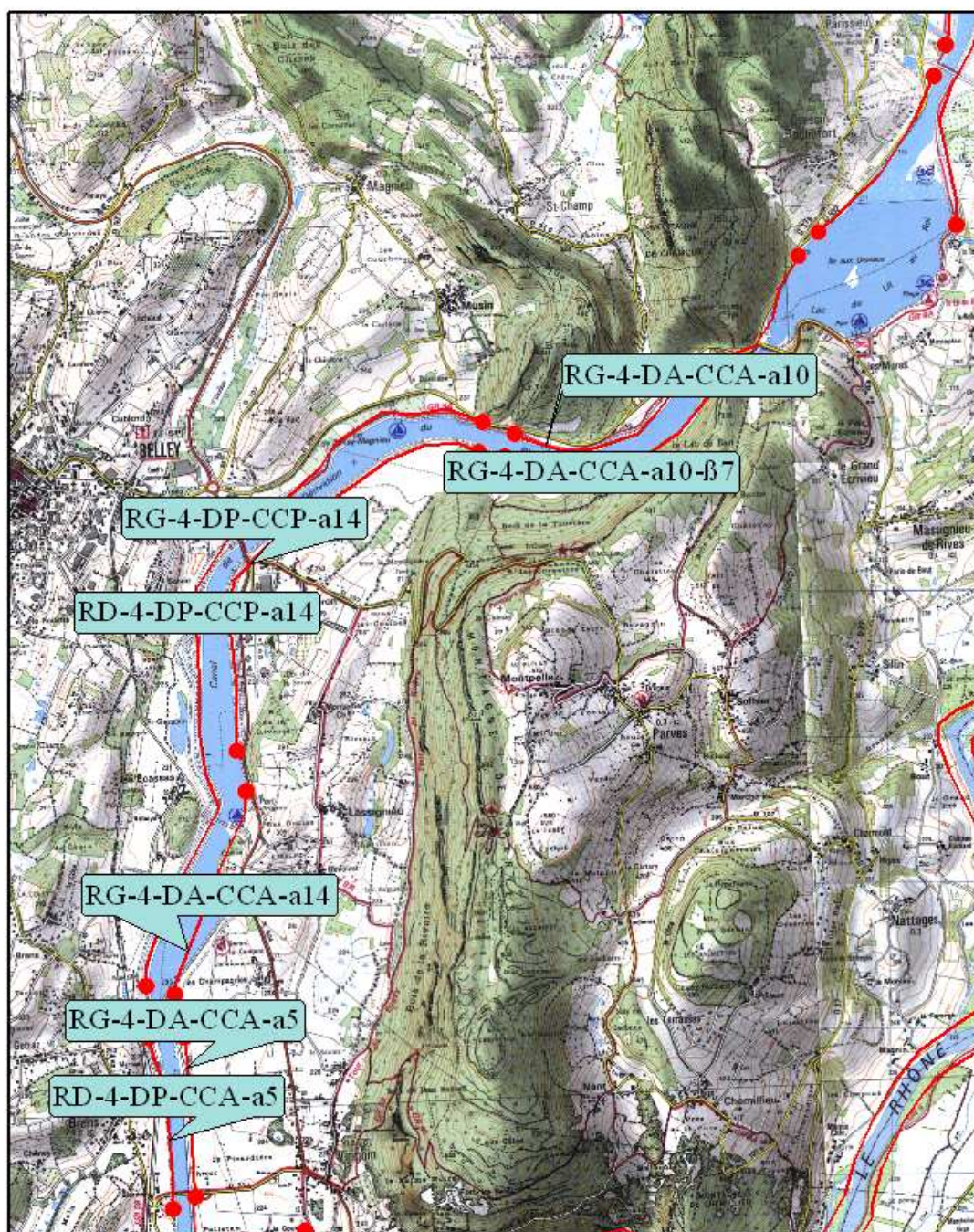


Figure 20. Configurations hydrogéologiques d'échange de la chute de Belley (Planche 5)

RHÔNE AMONT Planche 6 Secteur de la chute de Belley
Etude des configurations hydrogéologiques principales sur les rives du Rhône

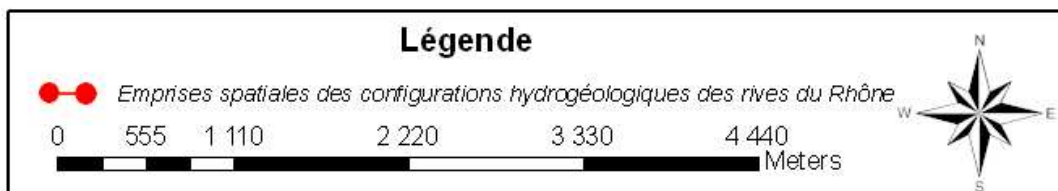


Figure 21. Configurations hydrogéologiques d'échange de la chute de Belley (Planche 6)

RHÔNE AMONT Planche 7 Secteur de la chute de Brégnier Cordon
Etude des configurations hydrogéologiques principales sur les rives du Rhône

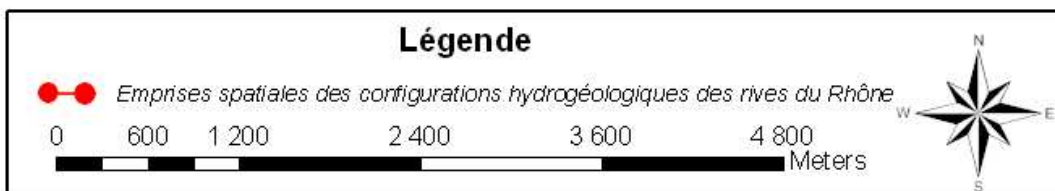
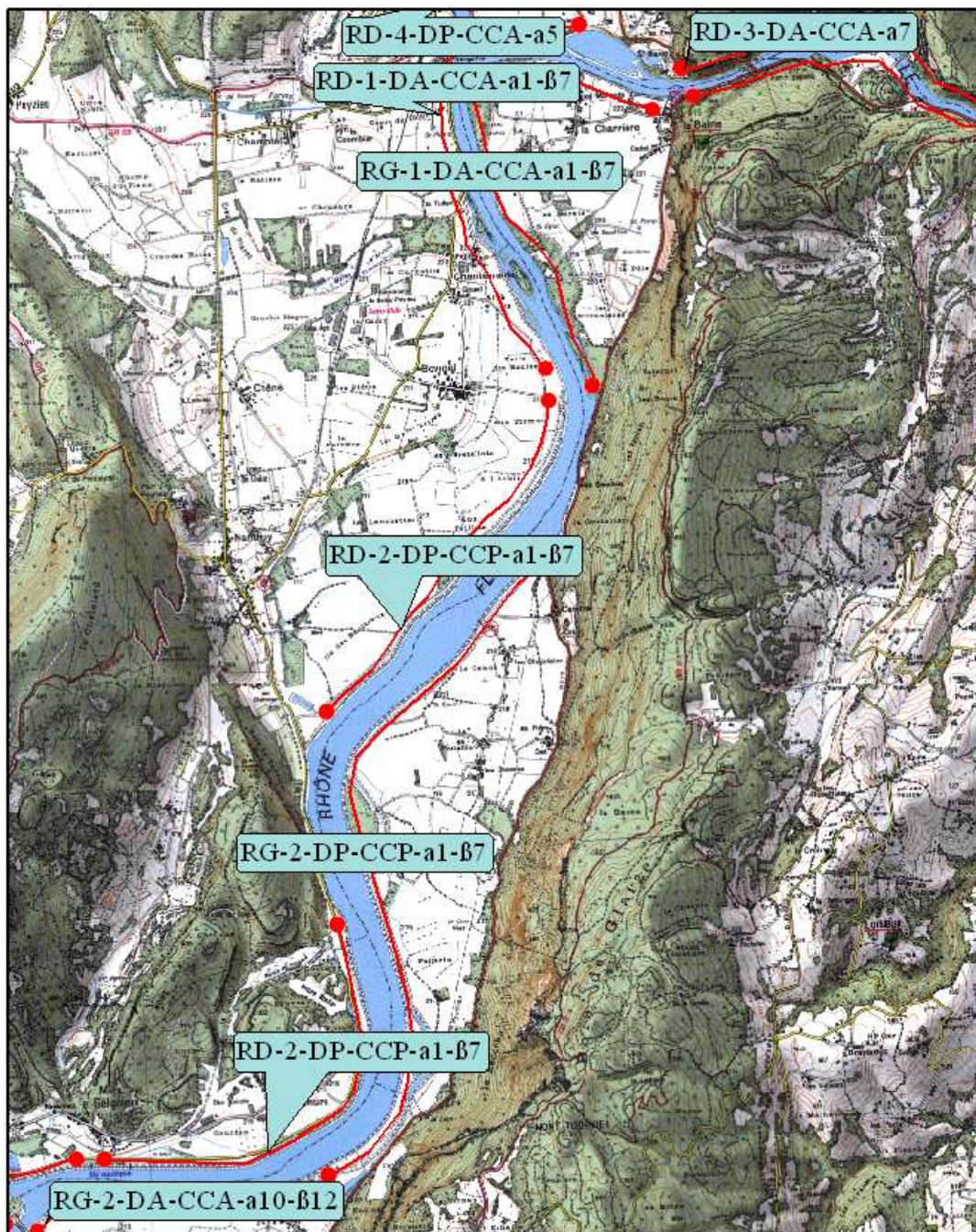


Figure 22. Configurations hydrogéologiques d'échange de la chute de Brégnier-Cordon (Planche 7)

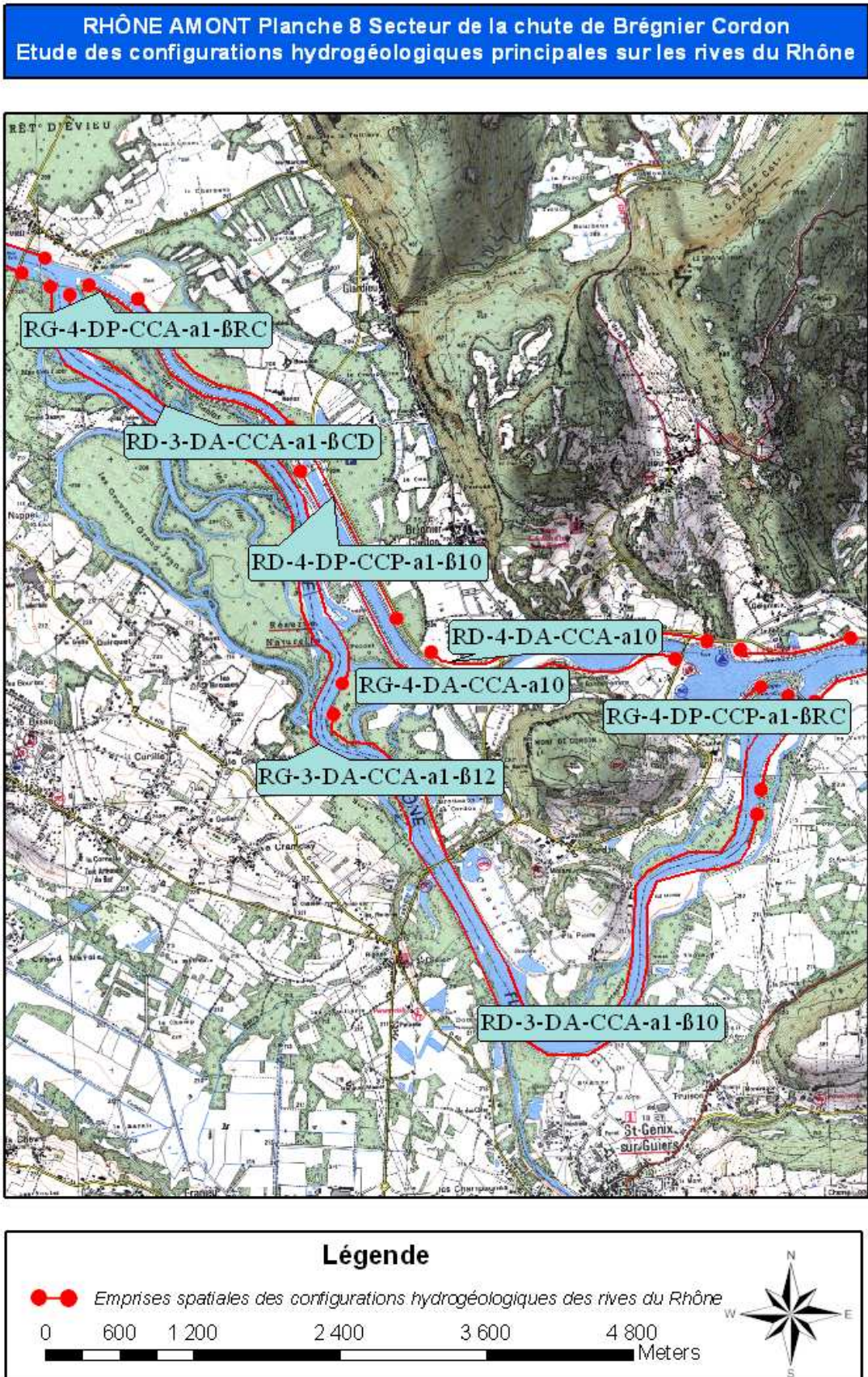


Figure 23. Configurations hydrogéologiques d'échange de la chute de Brégnier-Cordon (Planche 8)

RHÔNE AMONT Planche 9 Secteur de la chute de Sault Brénaz
Etude des configurations hydrogéologiques principales sur les rives du Rhône

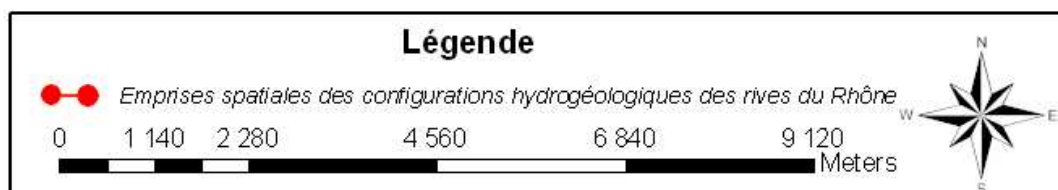
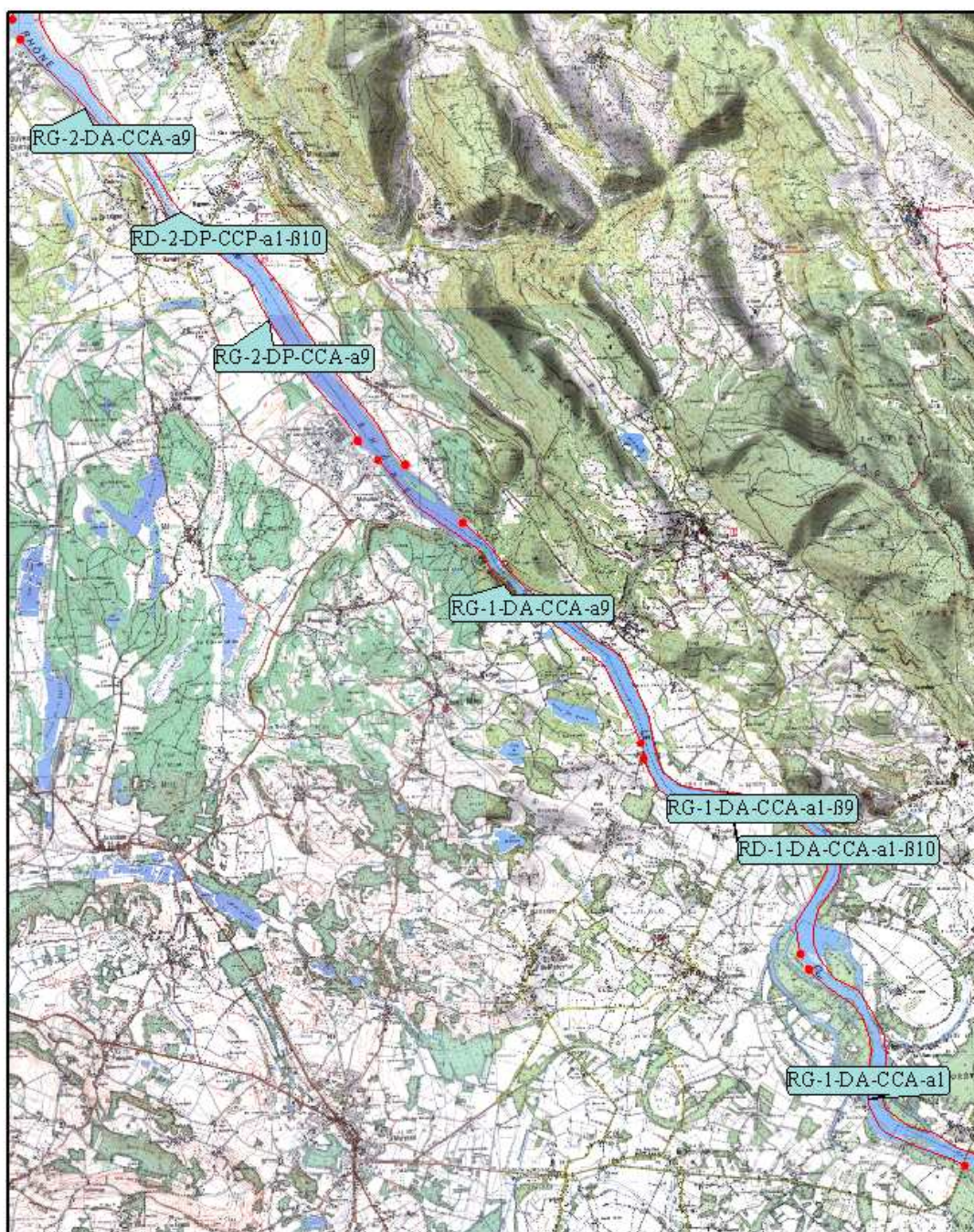


Figure 24. Configurations hydrogéologiques d'échange de la chute de Sault-Brénaz (Planche 9)

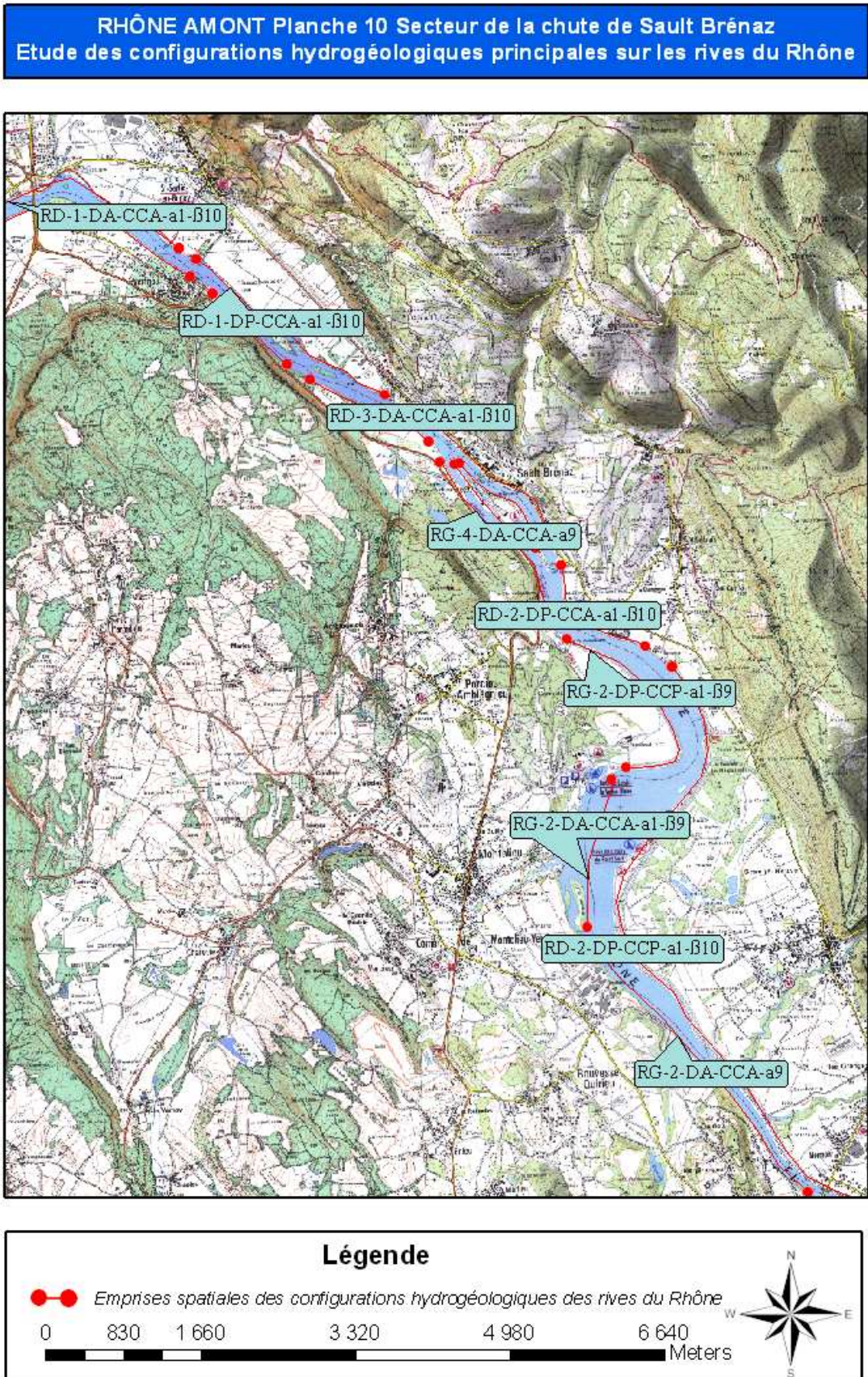


Figure 25. Configurations hydrogéologiques d'échange de la chute de Sault-Brénaz (Planche 10)

RHÔNE AMONT Planche 11 Secteur de Port Lagnieux au Pont de Jons
Etude des configurations hydrogéologiques principales sur les rives du Rhône

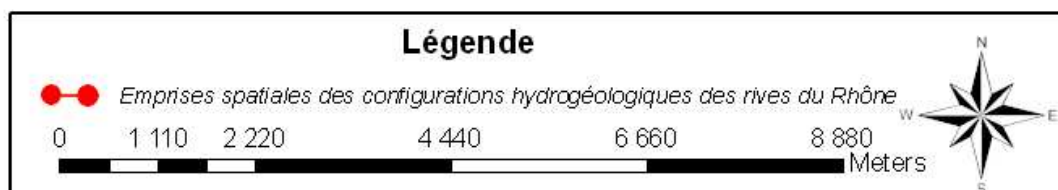
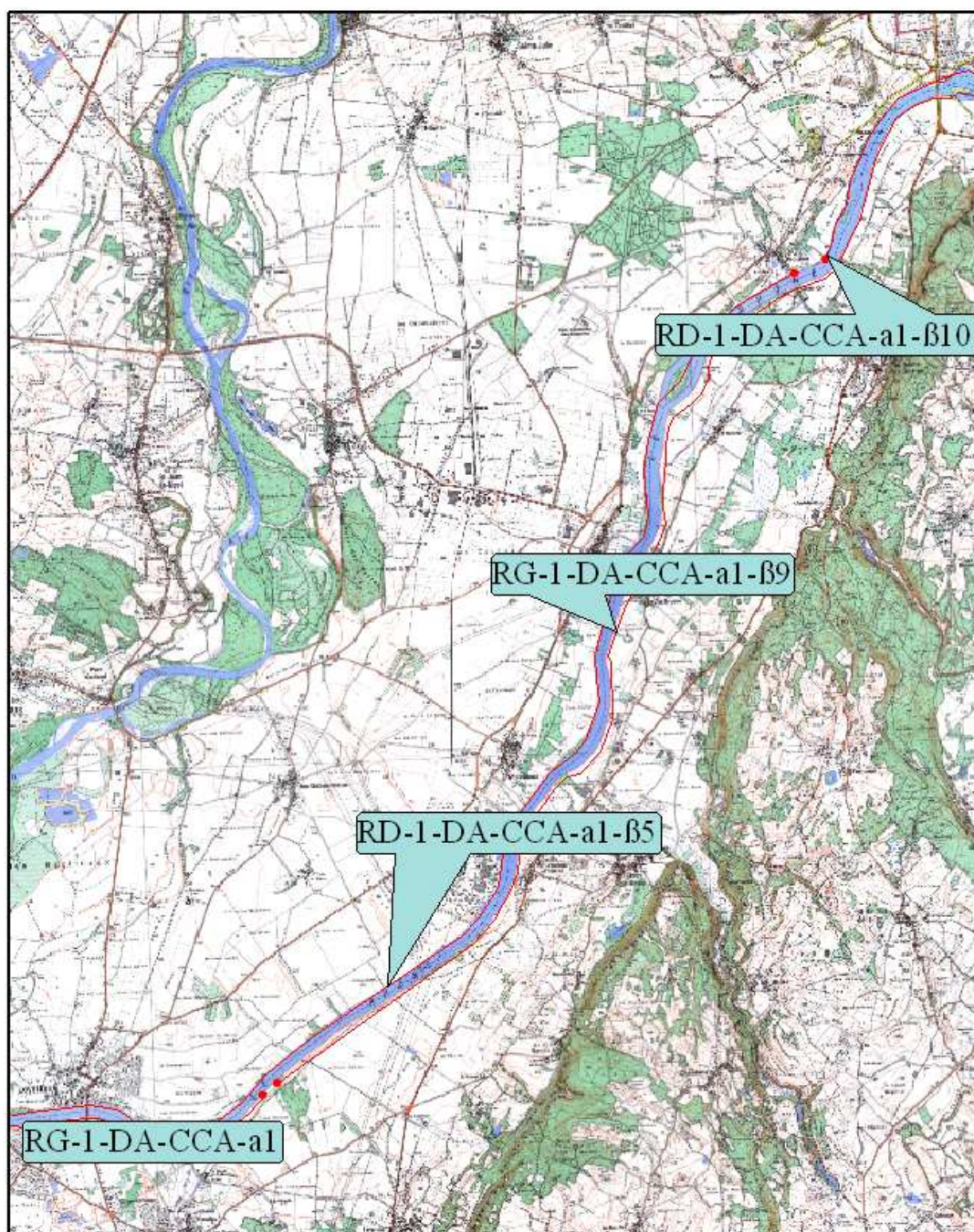


Figure 26. Configurations hydrogéologiques d'échange du Port de Lagnieu au Pont de Jons (Planche 11)

**RHÔNE AMONT Planche 12 Secteur de Port Lagnieux au Pont de Jons
Etude des configurations hydrogéologiques principales sur les rives du Rhône**

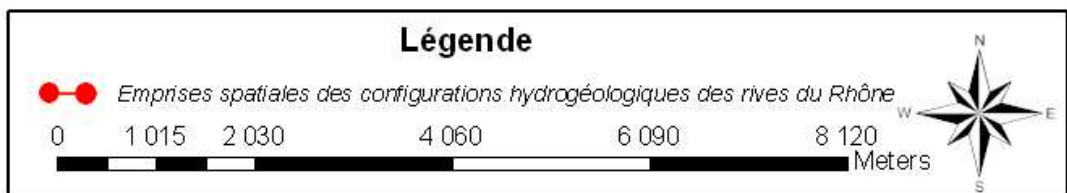
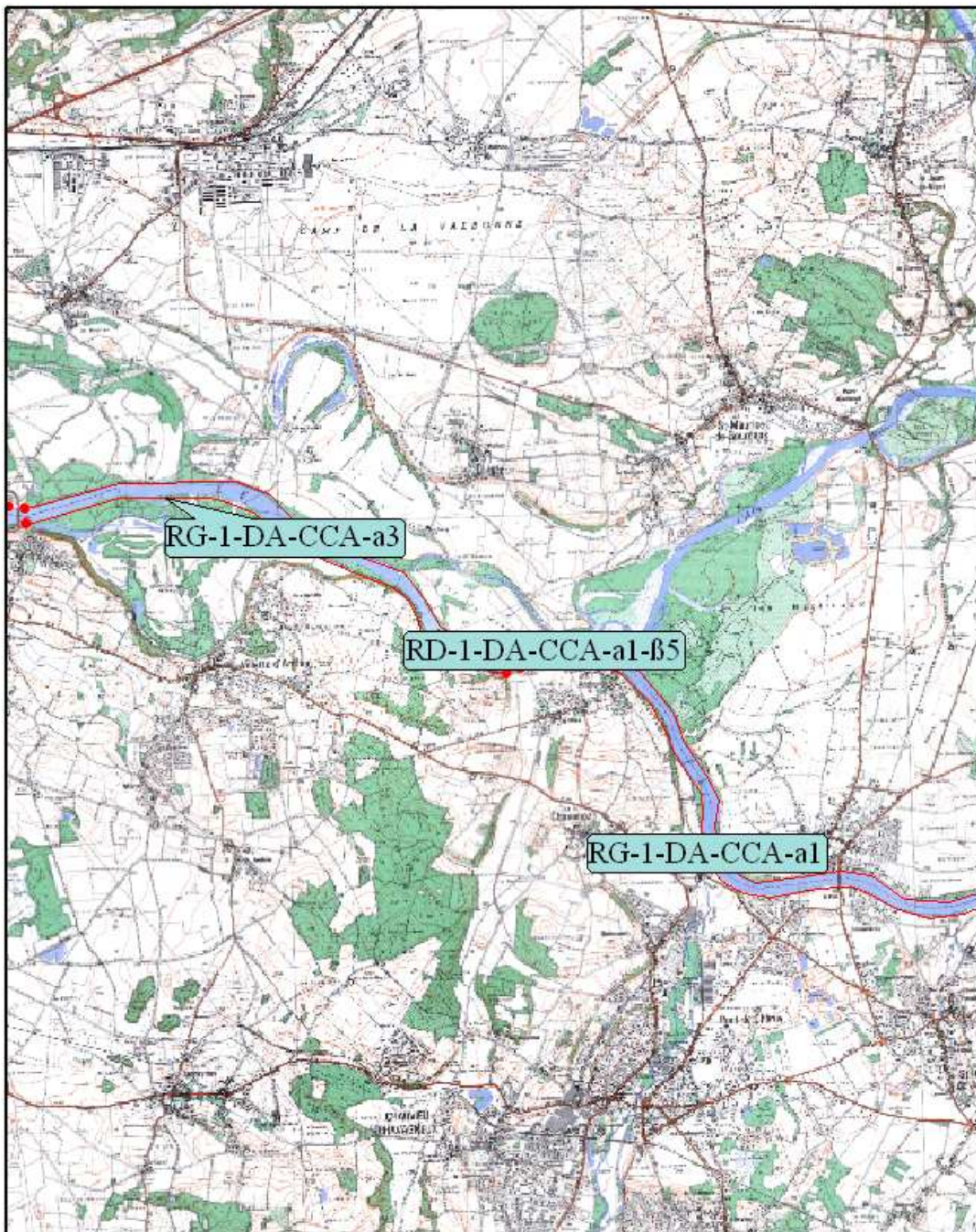


Figure 27. Configurations hydrogéologiques d'échange du Port de Lagnieux au Pont de Jons (Planche 12)

RHÔNE AMONT Planche 13 Secteur du Pont de Jons à Lyon
Etude des configurations hydrogéologiques principales sur les rives du Rhône

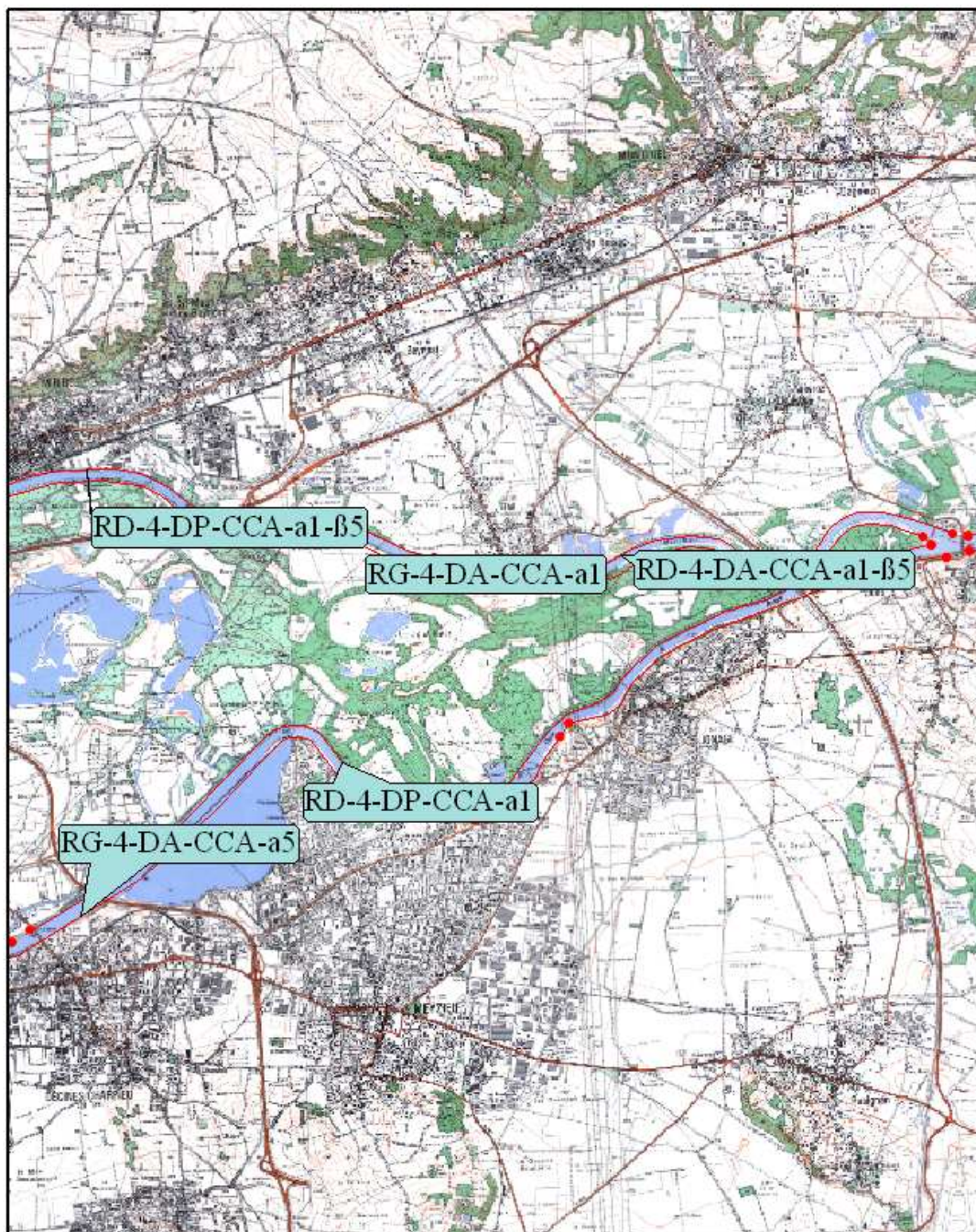


Figure 28. Configurations hydrogéologiques d'échange du Pont de Jons à Lyon (Planche 13)

RHÔNE AMONT Planche 14 Secteur du Pont de Jons à Lyon
Etude des configurations hydrogéologiques principales sur les rives du Rhône

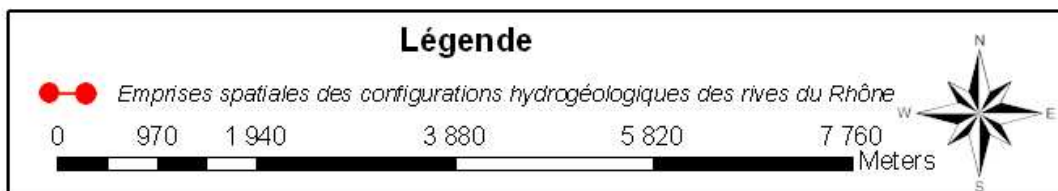
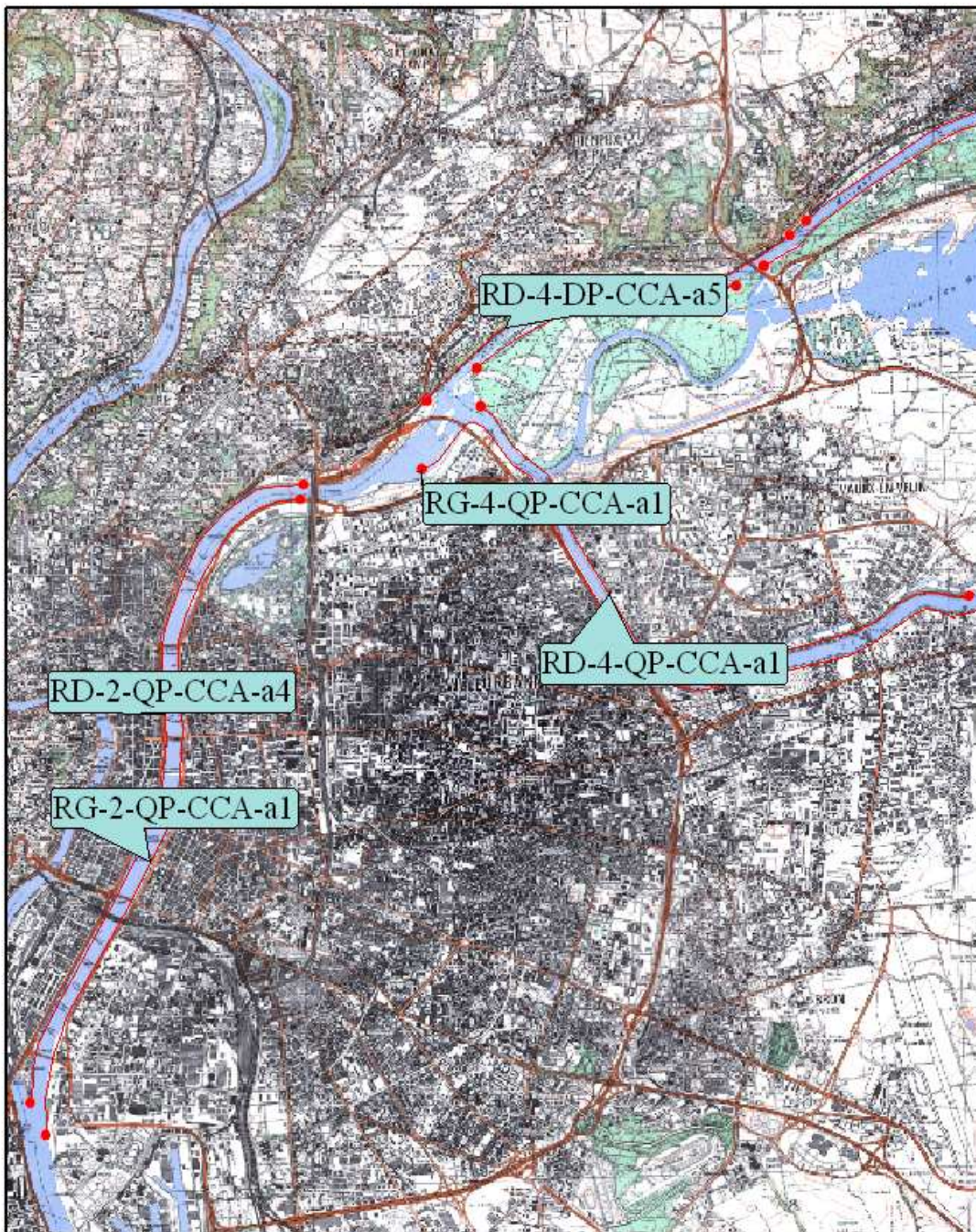


Figure 29. Configurations hydrogéologiques d'échange du Pont de Jons à Lyon (Planche 14)

II.2.2. Définition des situations d'échange

Les situations d'échanges entre la nappe et le Rhône peuvent être différentes. Ce paragraphe dresse la liste des échanges possibles.

II.2.2.1. Echanges inexistant, très faibles, indirects ou équilibre

On distinguera d'abord les situations dans lesquelles il y a peu ou pas de relations hydrodynamiques (Schindler, 2006) :

- Nappe peu ou pas développée : le cours d'eau circule sur des formations peu perméables ou imperméables sans nappe phréatique ;
- Colmatage du lit et des berges : lorsque le cours d'eau circule lentement (courant faible) le dépôt de fines particules rend le lit et les berges imperméables. Les vitesses d'écoulement peuvent être ralenties par des aménagements. Ceux-ci peuvent aussi empêcher le changement de sens saisonnier des relations ce qui favorise le colmatage. Un colmatage peut déconnecter verticalement la rivière et la nappe en provoquant l'apparition d'une zone non-saturée entre les deux.
- Apports indirects : il s'agit d'apports par ruissellement de nappes contenues dans des formations latérales qui ne sont pas en contact avec le cours d'eau constituant le niveau de base.
- Ecoulement de l'aquifère parallèle au cours d'eau ;
- Cours d'eau en équilibre avec la nappe.

II.2.2.2. Echanges nappe/cours d'eau

Dans le cas où les relations hydrodynamiques existent, on distinguera les cas suivants (Danneville, 1997 ; Schindler, 2006 ; Anus, 1998) :

- nappe alimentant le cours d'eau : lorsque le niveau piézométrique est situé au-dessus du niveau du cours d'eau ;
- cours d'eau alimentant la nappe : lorsque le niveau piézométrique est inférieur au niveau du cours d'eau ;
- Relations mixtes : lorsque les deux rives du cours d'eau ne se comportent pas de la même façon, l'une drainant la nappe et l'autre alimentant.

II.2.2.3. Eléments de perturbations des échanges nappe/cours d'eau

Plusieurs facteurs peuvent entraîner des modifications des relations hydrodynamiques (Schindler, 2006 ; Anus, 1998) :

- Variation de la position relative du cours d'eau et de la nappe : l'intensité des échanges peut varier selon que le cours d'eau est entièrement inclus dans l'aquifère ou partiellement inclus dans celui-ci, s'il coule sur le substratum par exemple. De plus, un cours d'eau peut être en situation perchée par rapport à la nappe et son infiltration verticale dans la zone non-saturée de l'aquifère alimente la nappe ;
- Variations spatiales : le sens et l'intensité des échanges peuvent changer le long d'un cours d'eau. Ceci peut se produire lorsque l'hétérogénéité de la perméabilité des alluvions est suffisamment importante pour faire varier le niveau de la nappe. Le méandrage et les goulets d'étranglement des nappes alluviales induisent aussi des variations du sens des échanges ;
- Variations temporelles saisonnières : selon les conditions climatiques saisonnières le sens des échanges peut changer. Par exemple, la rivière peut alimenter la nappe en saison humide et la drainer en saison sèche. Il y a donc une inversion saisonnière de l'hydraulicité ;
- Variations temporelles à long terme : changements climatiques ;
- Apports d'aquifères adjacents : l'apport de réservoirs adjacents peut soutenir le niveau d'une nappe alluviale.
- Modifications anthropiques :

. Ouvrages au « fil de l'eau » et contre-canaux : les contre-canaux ont été construits pour drainer l'eau du cours d'eau s'infiltrant à travers les digues et limiter l'élévation du niveau des nappes phréatiques adjacentes. Ils sont de plus alimentés par les eaux du bassin versant. Pour améliorer l'efficacité des contre-canaux, des forages de décompression permettent d'évacuer vers la surface les eaux de la nappe sous pression hydrodynamique et de la stabiliser au niveau désiré. Au contraire, s'il y a risque d'abaissement trop important de la nappe, celui-ci peut être corrigé grâce à des puits de réalimentation ou de petits ouvrages de contrôle des niveaux (vannes, pale-plates). A l'échelle d'un aménagement, on observe que la nappe est plus élevée que son niveau naturel à l'amont de la chute et moins élevé en aval ce qui influe sur les sens d'échange nappe/rivière.

. Pompage : ces derniers peuvent provoquer des phénomènes de réalimentation induite s'ils sont implantés à proximité du cours d'eau et créent un gradient hydraulique entre celui-ci et le point de pompage. Si initialement la rivière alimente la nappe ceci peut provoquer un abaissement de la nappe. Si au contraire la nappe alimente la rivière ceci peut réduire, supprimer ou inverser le flux.

. Réalimentation artificielle des aquifères : il s'agit d'injection d'eau dans la nappe qui font varier sont niveau.

II.3. Hypothèses de travail sur les relations d'échange nappe/fleuve Rhône et bilan

II.3.1. Hypothèses de travail et sectorisation sur le cours du Rhône¹⁰

Dans son étude des relations nappe-rivière sur le bassin Rhône-Méditerranée, Schindler (2006) propose une sectorisation du Rhône et de certains de ses affluents principaux. Le fleuve est ainsi divisé en 47 tronçons lithologiques et en 36 tronçons pour les relations d'échanges. Ce travail a été réalisé uniquement sur la base d'une analyse bibliographique et cartographique. Les hypothèses proposées sont intéressantes car elles distinguent la rive gauche et la rive droite, et elles prennent en compte certains aménagements ainsi que les variations saisonnières.

Les relations nappe/rivière ont été interprétées et codifiées de la façon suivante :

- **D** : Drainage de la nappe par le cours d'eau ;
- **P** : Perte du cours d'eau au profit de la nappe ;
- **N** : Equilibre entre la nappe et le cours d'eau ou échanges inexistantes ;
- **S** : Variations saisonnières, le cours d'eau en situation d'étiage draine la nappe et l'alimente en période de hautes eaux ;
- **I** : Infiltration induite par un champ captant ;
- **ID** : Infiltration induite en rive droite, drainage en rive gauche ;
- **DI** : Infiltration induite en rive gauche, drainage en rive droite ;
- **PS** : Alimentation de la nappe en rive droite, variations saisonnières en rive gauche ;
- **PD** : Alimentation naturelle en rive droite, drainage de la nappe en rive gauche.

Un tableau associé à une couche SIG « relations avec la nappe » indique pour chaque élément (tronçon de cours d'eau) : le numéro de tronçon qui lui est attribué, le nom du cours d'eau, le code correspondant au type d'échange observable dans le secteur.

Les secteurs identifiés sont les suivants et sont illustrés sur les Figures 30. et 31. :

¹⁰ Partie rédigée sur la base du rapport de Schindler A. (2006) Etude des relations nappe-rivière, Bassin Rhône-Méditerranée. Rapport de licence, Agence de l'eau RMC, Université Lyon 1, 70p.

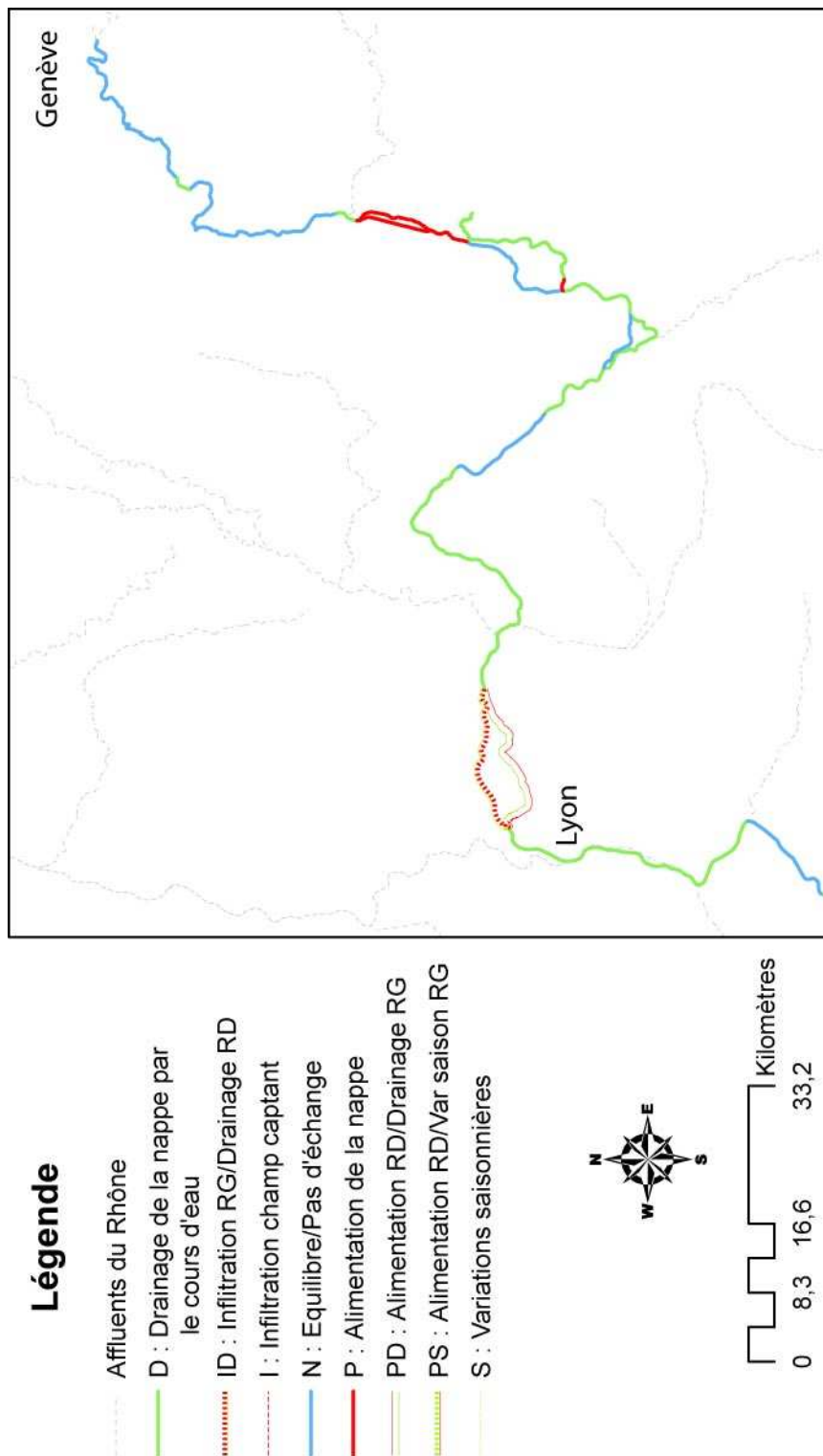


Figure 30. Les relations d'échanges sur nappes/Rhône de Genève à Vienne (d'après Schindler, 2006)

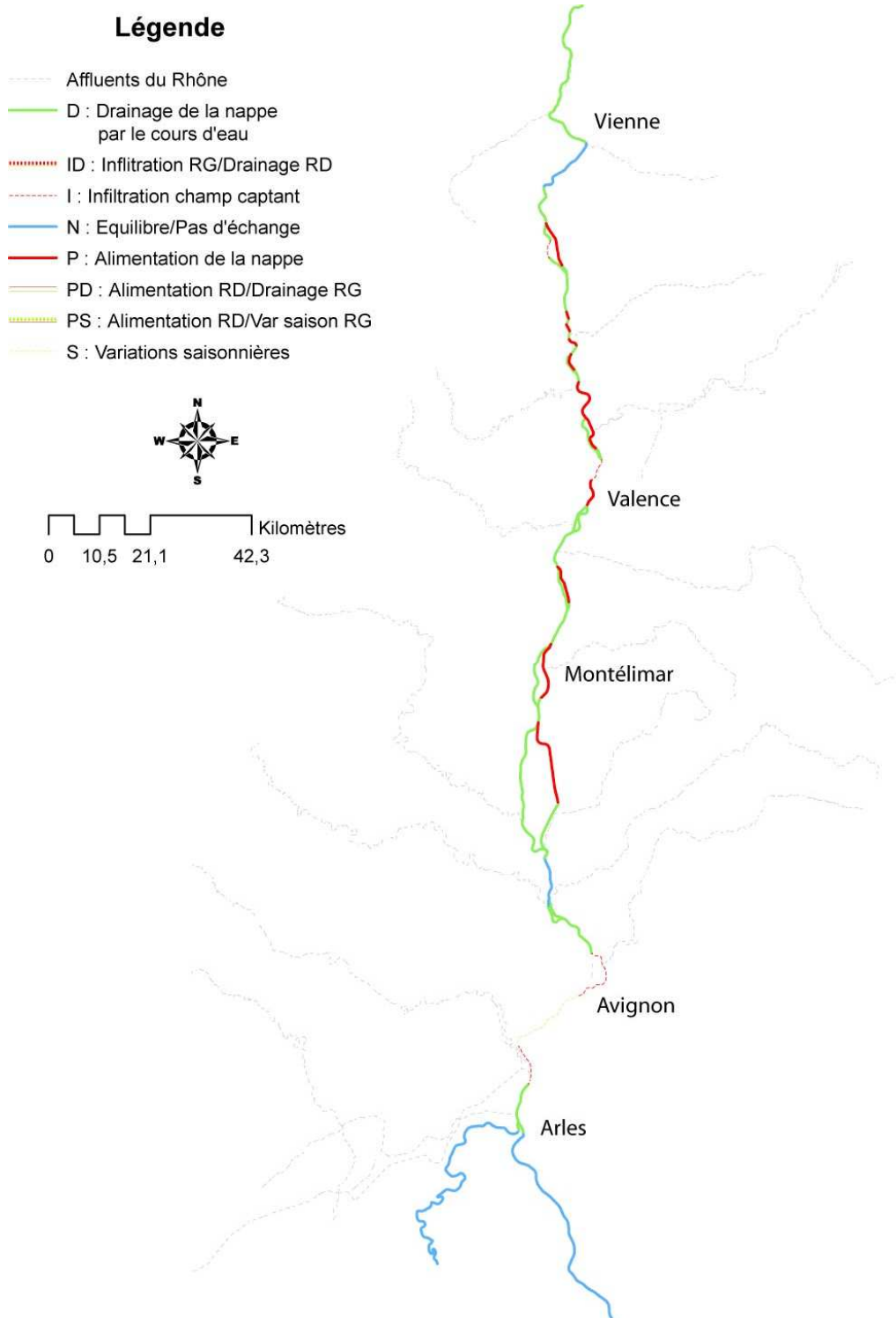


Figure 31. Les relations d'échanges sur nappes/Rhône de Vienne au delta de Camargue (d'après Schindler, 2006)

En plus du Rhône, le travail de A. Schindler (2006) sectorise les affluents suivants : l'Ain, la Drôme, l'Ardèche, la Bourbe, la Saône, le Doubs, la Loue, le Breuchin et la Lanterne, la Veyle et la Reyssouze, la Galaure, l'Herbasse, l'Isère, le Drac, la Romanche, la Durance, le Buëch, la Bléone, le Verdon, l'Asse, l'Argens, le Gapeau, l'Arc, la Toulourbe, le Var.

Ce travail permet d'ores et déjà de poser des hypothèses sur les relations d'échange nappe/rivière. Il reste toutefois à valider, compléter et affiner, car il se base essentiellement sur une interprétation bibliographique et cartographique. Il apparaît nécessaire en particulier de mieux considérer l'impact des aménagements. Il faut aussi approfondir :

- la typologie de sectorisation, de configuration (hydrogéologique, géologique, pente du fleuve, profondeur substratum imperméable, sédimentologie des alluvions) notamment au regard de la biologie (invertébrés souterrains et végétation aquatique) ;
- les résultats avec un recours plus systématique aux données (CNR, prélèvements et rejets anthropiques, piézométrie...) pour déduire les échanges qualitativement et quantitativement ;
- la prise en compte des prélèvements et des rejets anthropiques.

D'après ce rapport, il ne reste que très peu des secteurs, courts par ailleurs (dérivation de Sault-Brenaz, dérivation de Pierre-Bénite, secteur de Vallabrègues), sur lesquels les relations nappes-rivière sont inconnues. Il est donc possible ici de formuler des hypothèses concernant les échanges sur tout le cours du Rhône du lac Léman jusqu'en à la Camargue. Ce travail montre que les 3 situations principales peuvent être distinguées: les situations d'équilibre ou sans échange (en bleu), les situations où le fleuve est drainant (en vert) et les situations où le fleuve alimente la nappe (rouge). On observe en quelques autres endroits des situations plus complexes: fleuve s'infiltrant en rive droite et drainant les aquifères en rive gauche, ou l'inverse, infiltration provoquée par un champ captant. On observe aussi des variations saisonnières (en situation d'étiage la nappe alimente le cours d'eau et inversement en hautes-eaux).

Un traitement statistique sous SIG permet de résumer la situation. On observe que :

- le Rhône est en équilibre avec la nappe du Léman jusqu'à Seyssel, sauf dans quelques courts secteurs où il est drainant ;
- le Rhône alimente la nappe dans le secteur de Chautagne-Lavours ;
- jusqu'à Jons, le Rhône alterne secteurs en équilibres et secteurs drainants, avec seulement une courte portion alimentant la nappe (défilé de la Balme) ;
- de Jons à Lyon, la situation est plus compliquée puisque la branche nord du Rhône (Vieux-Rhône) se trouve dans une situation d'infiltration en rive gauche et de drainage en rive droite, alors que la branche sud du Rhône (Canal de Jonage) alimente la nappe en rive droite et la draine en rive gauche ;
- de Lyon à Vienne le Rhône est drainant, puis en équilibre avec la nappe jusqu'à Condrieu ;
- de Condrieu jusqu'à Mondragon, le Rhône est constitué de secteurs drainants et de secteurs où le fleuve alimente la nappe, avec par endroit des secteurs à infiltration induite par un champ captant (Sablons, Valence), ainsi qu'un secteur en équilibre (entre Mondragon et Marcoule) ;
- en amont du delta, il y a un secteur sujet à des variations saisonnières, limité par deux secteurs d'infiltration induite par un champ captant et deux secteurs drainants ;
- le delta de Camargue est en situation d'équilibre.

Sur l'ensemble du cours du fleuve on observe environ (Figure 32.) :

- 330km codés D soit environ 44% du linéaire des tronçons où la nappe est drainée par le cours d'eau ;

- 220km codés N soit 30% du linéaire des tronçons où il y a équilibre entre la nappe et le cours d'eau, ou des échanges inexistant ;
- 100km codés P soit 14% du linéaire des tronçons où le cours d'eau alimente la nappe ;
- 30km codés I soit 4% du linéaire des tronçons où l'on observe une infiltration dans la nappe induite par un champ captant ;
- 20km codés PD soit 3% du linéaire des tronçons où il y a une alimentation naturelle en rive droite et un drainage de la nappe en rive gauche ;
- 20km codés DI soit 3% du linéaire des tronçons où l'on observe une infiltration induite en rive gauche et un drainage en rive droite ;
- 15km codé S soit 2% du linéaire des tronçons où les variations saisonnières sont significatives, et où le cours d'eau en situation d'étiage draine la nappe et l'alimente en période de hautes eaux ;
- 0km codé ID, on n'observe donc pas d'infiltration induite en rive droite et un drainage en rive gauche sur le fleuve Rhône ;
- 0km codés PS, on n'observe donc pas d'alimentation de la nappe en rive droite et variations saisonnières en rive gauche sur le fleuve Rhône.

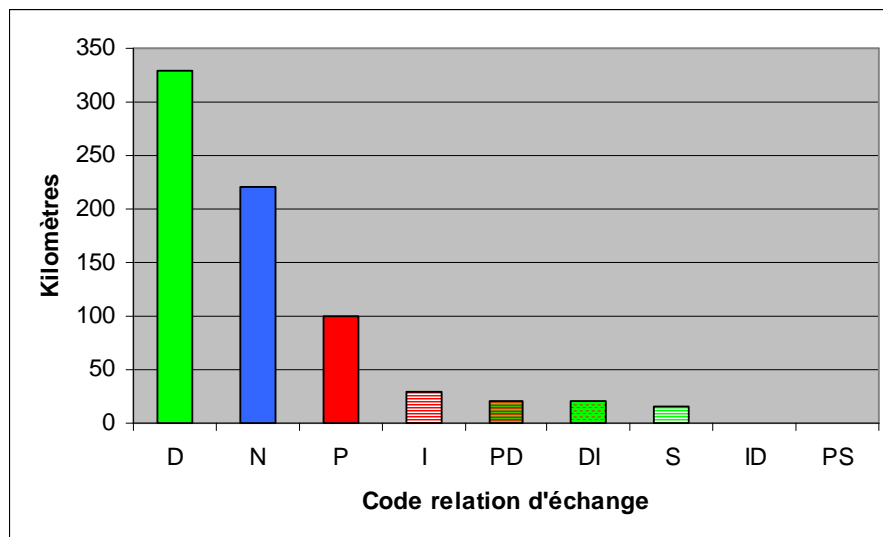


Figure 32. Histogramme des longueurs kilométriques cumulées de cours d'eau pour chaque type de relations d'échanges nappe/Rhône sur l'ensemble du cours du fleuve (la légende est explicitée dans le paragraphe ci-dessous)

Si l'on fait le même calcul sur les 600km de cours principal mesurés par le SIG, au lieu 545km annoncés par la bibliographie¹¹ (Figure 33.). On observe que :

- 320km codés D soit environ 53% du linéaire des tronçons où la nappe est drainée par le cours d'eau ;
- 200km codés N soit 34% du linéaire des tronçons où il y a équilibre entre la nappe et le cours d'eau ou échanges inexistant ;
- 30km codés I soit 5% du linéaire des tronçons où l'on observe une infiltration dans la nappe induite par un champ captant ;
- 30km codés P soit 5% du linéaire des tronçons où le cours d'eau alimente la nappe ;
- 15km codé S soit 3% du linéaire des tronçons où les variations saisonnières sont significatives, et où le cours d'eau en situation d'étiage draine la nappe et l'alimente en période de hautes eaux.

¹¹ Ceci s'explique par le fait que les deux bras du Rhône dans le delta de Camargue constituent un seul segment dans le SIG (secteur en équilibre ou échanges inexistant), et que la partie aval de la dérivation de Mondragon est sur le même segment dans le SIG que le cours principal du Rhône (nappe drainée par le fleuve).

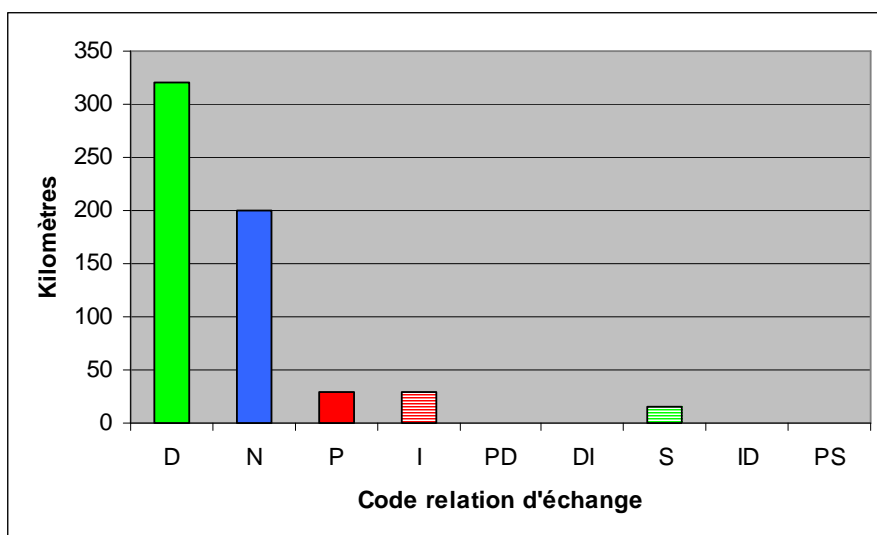


Figure 33. Histogramme des longueurs kilométriques cumulées de cours d'eau pour chaque type de relations d'échanges nappe/Rhône sur le cours principal du fleuve (la légende est explicitée dans le paragraphe ci-dessous)

Si l'on fait de même si les 149km de dérivations, on observe que (Figure 34.) :

- sur 75km codés P, soit 54% du linéaire, le cours d'eau alimente la nappe ;
- sur 20km codés N, soit 16% du linéaire, il y a équilibre entre la nappe et le cours d'eau ou des échanges inexistant ;
- sur 20km codés DI, soit 14% du linéaire, on observe une infiltration induite en rive gauche et un drainage en rive droite ;
- sur 10km codés D, soit environ 8% du linéaire, la nappe est drainée par le cours d'eau ;
- sur 10km codés PD, soit 8% du linéaire, il y a une alimentation naturelle en rive droite et un drainage de la nappe en rive gauche.

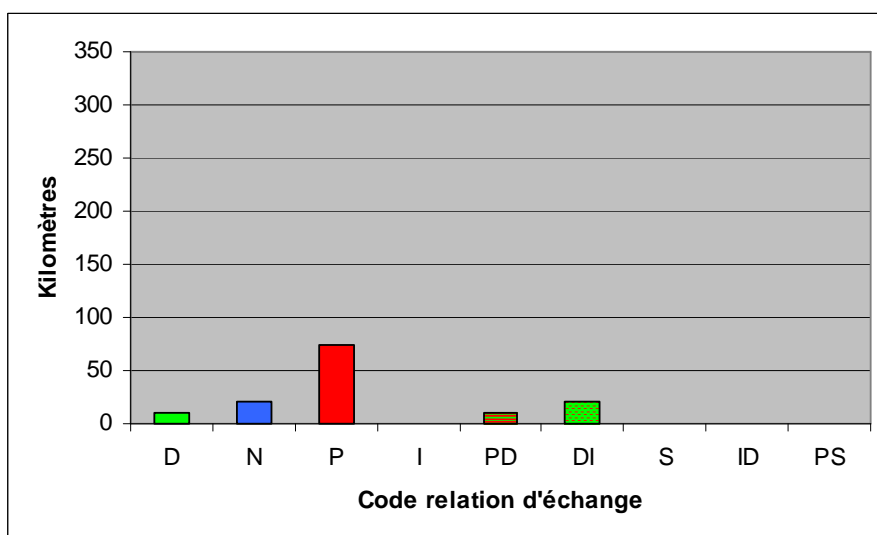


Figure 34. Histogramme des longueurs kilométriques cumulées de cours d'eau pour chaque type de relations d'échanges nappe/Rhône sur les dérivations du fleuve (la légende est explicitée dans le paragraphe ci-dessous)

Sur la base de ces calculs, on constate que les relations d'échanges ne sont pas de mêmes proportions sur le cours principal du fleuve et sur les dérivations. Si le fleuve draine majoritairement la nappe dans son cours principal, c'est l'inverse qui est observé dans le Rhône dérivé.

II.3.2. Comparaison avec les sectorisations initiales

Si l'on compare ce travail avec la sectorisation initiale (Annexe 10.), complétée par celle proposée par la DCE eau (Annexe 11.) (notamment pour les masses d'eau souterraine), on constate que le travail de Schindler (2006) est plus détaillé, notamment sur la lithologie du secteur, qu'il découpe en sous-tronçon la première sectorisation et qu'il distingue de manière systématique les relations d'échange sur le Vieux-Rhône et les dérivations.

Il est dès lors possible de recouper ces trois sectorisations (Chauve, Schindler, DCE eau) et d'y intégrer les repères qui permettent de faciliter la localisation des secteurs.

- **Tronçon Rhône-Amont** (Figure 35.)

- Secteur 1 initial divisé en 4 tronçons (n°1, 2, 3, 4)

Repères : Frontière Suisse, Lac Léman, Montagne de Vuache, Bellegarde-sur-Valsérine, Seyssel (barrage), Génissiat (barrage), Confluence du Fier (nappe alluviale).

Masses d'eaux souterraines encaissantes : 6517 (Domaine sédimentaire du Genevois, molasses et formations quaternaires, imperméable localement aquifère, libre et captif associés majoritairement libre); 6231 (Formations fluvio-glaciaires du pays de Gex, dominante sédimentaire, libre et captif associés majoritairement libre); 6614 (Calcaires et marnes jurassiques chaîne du Jura et Bugey, dominante sédimentaire, libre seul); 6511 (Formations variées de l'avant-pays savoyard, imperméable localement aquifère, libre et captif associés majoritairement libre).

Ce secteur est caractérisé par des relations d'échange inexistantes à faibles (les nappes alimentent peu le Rhône). Il est ici nécessaire de considérer le rôle de drain potentiel de la faille de Vuache, et les apports via le cône de déjection du Fier drainés par le Rhône.

- Secteur 2 initial divisé en 2 tronçons (n°5, 6)

Repères : Seuil de la Balme, Canal de Savières, Confluence avec le Séran, Montagne du Foug, Grand Colombier, Marais de Lavours, Marais de Chautagne, Dérivation de Chautagne, Chanaz, Yenne.

Masses d'eaux souterraines encaissantes : 6511, 6114.

Masses d'eaux souterraines alluviales du Rhône et des gros affluents : 6330 (Alluvions marais de Chautagne et Lavours, alluvial, libre et captif majoritairement libre).

Ce secteur est caractérisé par la nappe de Chautagne (alimentée par le Vieux-Rhône et qui alimente le Canal de Savières) et la nappe de Lavours (alimentée surtout par le Séran et un peu par le massif du Grand Colombier et le fleuve Rhône, et drainée par le Séran à l'aval). Au niveau de la dérivation de Chautagne, le Rhône alimente la nappe.

- Secteur 3 initial divisé en 5 tronçons (n°7, 8, 9, 10, 11)

Repères : Deux bras du Rhône au niveau de Belley, Défilé de la Balme, Yenne, Mont Tournier, Dérivation de Belley, Leschaux.

Masses d'eaux souterraines encaissantes : 6511, 6114, 6219 (Molasses miocènes du Bas-Dauphiné entre les vallées de l'Ozon et de la Drôme, complexes morainiques glaciaires et pliocène, dominante sédimentaire, libre et captif associés majoritairement captif); 6105 (calcaires jurassiques et moraines de l'Île Crémieu, dominante sédimentaire, libre seul).

Masses d'eaux souterraines alluviales du Rhône et des gros affluents : 6326 (Alluvions du Rhône entre le confluent du Guiers et de la Bourbre, alluvial, libre seul).

Sur ce secteur, le fleuve draine la nappe sur le bras de Yenne jusqu'à Leschaux. On note des apports du fleuve à la nappe en rive gauche au niveau du défilé de la Balme et du Mont Tournier. Sur la dérivation de Belley, il n'y a pas d'échange particulier.

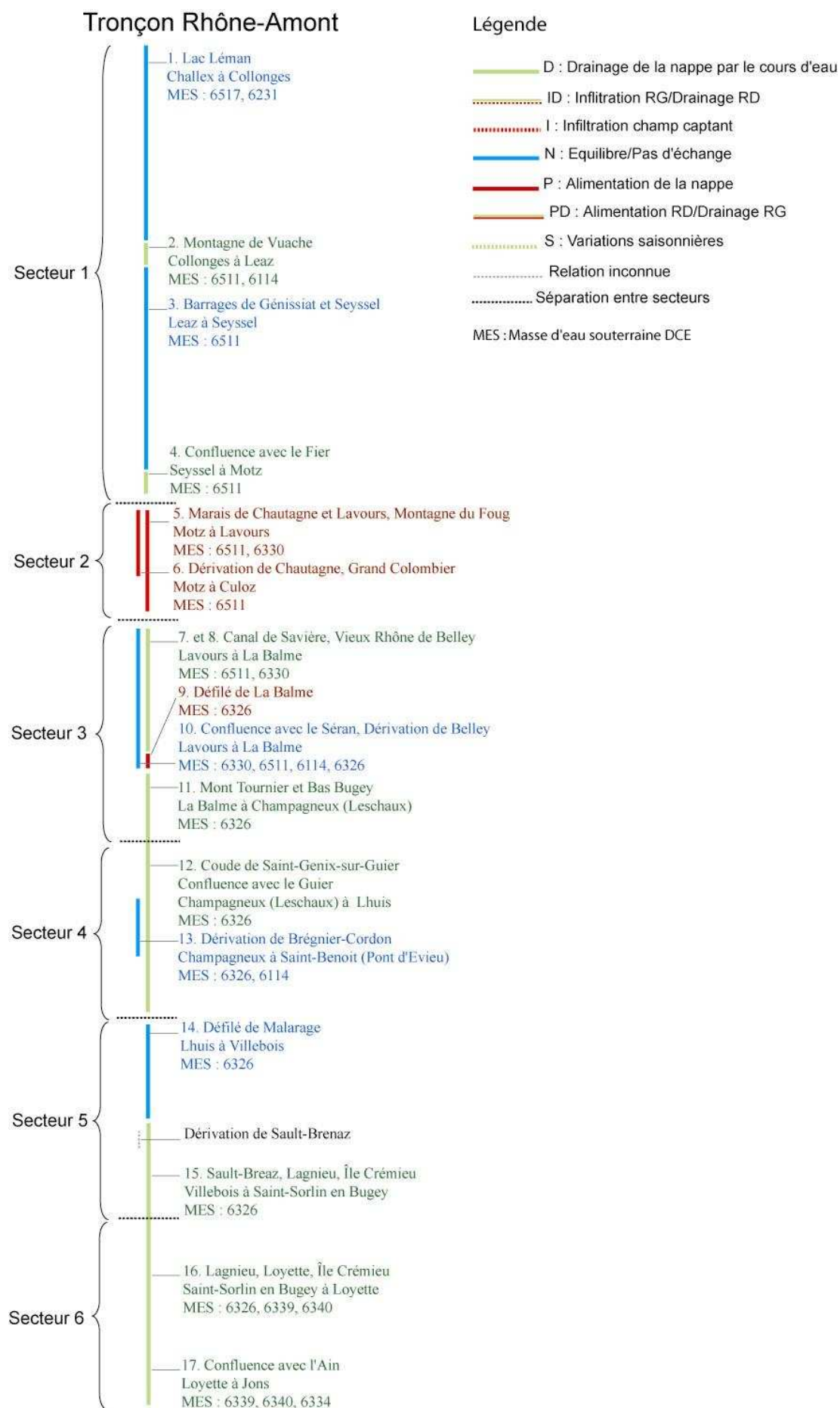


Figure 35. Schéma de linéarisation des relations d'échange nappe/Rhône-Amont

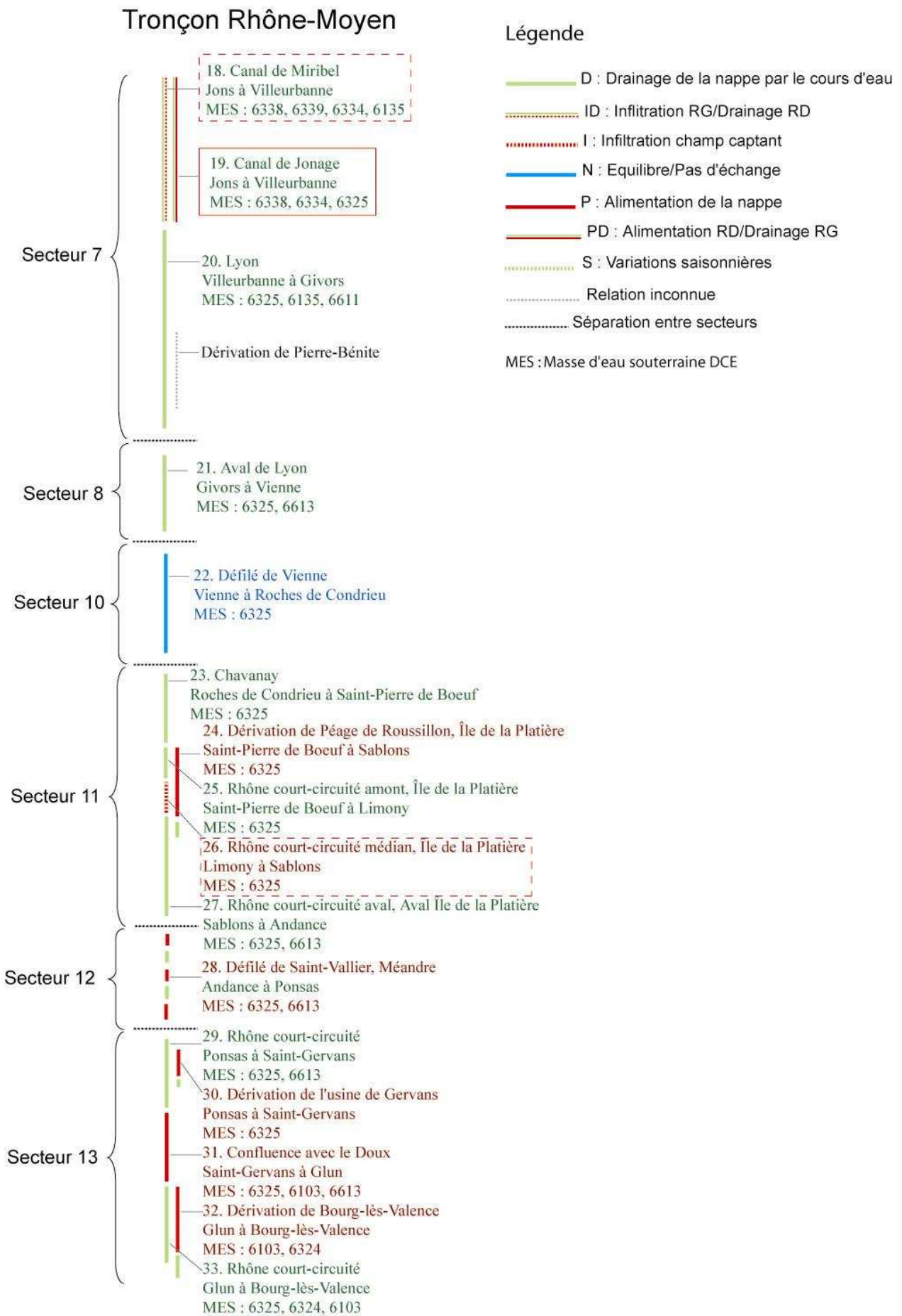


Figure 36. Schéma de linéarisation des relations d'échange nappe/Rhône-Moyen

- Secteur 4 initial divisé en 2 tronçons (n°12, 13)

Repères : Coude de Saint-Genix-sur-Guiers, Confluence du Guiers, Plaine du Guiers, dérivation de Brégnier-Cordon.

Masses d'eaux souterraines encaissantes : 6219, 6114.

Masses d'eaux souterraines alluviales du Rhône et des gros affluents : 6326.

Ici, le Rhône constitue le niveau de base de la nappe (Rhône drainant). On n'observe pas d'échange au niveau de la dérivation de Brégnier-Cordon.

- Secteur 5 initial divisé en 2 tronçons (n°14, 15)

Repères : Île Crémieu, Faisceau du Bugey, Maleville, Montalieu-Vercieu, Porcieu-Amblagnieu, Pont d'Evieu, Défilé de Saint-Alban Malarage, Sault-Brénaz.

Masses d'eaux souterraines encaissantes : 6105, 6114.

Masses d'eaux souterraines alluviales du Rhône et des gros affluents : 6326.

Ce secteur est caractérisé par une nappe alluviale restreinte qui alimente le Rhône sur la partie amont, et qui est équilibré sur la partie aval, pour redevenir ensuite drainant.

- Secteur 6 initial divisé en 3 tronçons (n°48, 16, 17)

Repères : Plaine de l'Ain, Confluence avec l'Ain, Île Crémieu, Confluence avec la Bourbre, Lagnieu, Loyette, Jons.

Masses d'eaux souterraines encaissantes : 6105, 6135 (Formations plioquaternaires Dombes, dominante sédimentaire, libre et captifs associés majoritairement libre) ; 6334 (Couloir de l'Est-Lyonnais, dominante sédimentaire, libre seul).

Masses d'eaux souterraines alluviales du Rhône et des gros affluents : 6326, 6339 (Alluvions de la Plaine de l'Ain, alluvial, libre seul) ; 6340 (Alluvions de la Bourbre, alluvial, libre seul).

Ce secteur est caractérisé par des nappes alluviales du Rhône restreintes. Le massif de l'Île Crémieu alimente la nappe alluviale drainée par le fleuve, et la nappe de l'Ain alimente le Rhône.

• **Tronçon Rhône-Moyen** (Figure 36.)

- Secteur 7 initial divisé en 3 tronçons (n°18, 19, 20)

Repères : Amont de Lyon, Dombes, Est-Lyonnais, Meyzieu, Décines-Charpieu, Heyrieux, Crépieux-Charmy.

Masses d'eaux souterraines encaissantes : 6135, 6334.

Masses d'eaux souterraines alluviales du Rhône et des gros affluents : 6338 (Alluvions du Rhône, Île de Miribel-Jonage, alluvial, libre seul).

Ce secteur est caractérisé par une situation complexe due à de fortes influences anthropiques : des canaux et de gros pompages au niveau de Crépieux-Charmy. Le Rhône semble drainé par la nappe située au sud de Lyon. Le canal de Jonage alimente l'aquifère en rive droite et draine en rive gauche. Le canal de Miribel quant à lui draine en rive droite et alimente en rive gauche. Sur le secteur de Jons, le Rhône draine également la nappe en rive droite (nappe de la Valbonne).

- Secteur 8 initial divisé en 2 tronçons (n°21, n°63)

Repères : Aval de Lyon, Est-Lyonnais, Heyrieux, Saint-Symphorien-d'ozon, Chasse-sur-Rhône, Vienne, Confluence avec la Saône, Dérivation de Pierre-Bénite.

Masses d'eaux souterraines encaissantes : 6135, 6334, 6611 (Socle Monts du Lyonnais, Beaujolais, Maconnais et Chalonnais, socle, libre seul).

Masses d'eaux souterraines alluviales du Rhône : 6325 (Alluvions du Rhône entre le confluent de la Saône et de l'Isère et alluvions du Garon, alluvial, libre seul).

Ici, le Rhône draine la nappe.

- Secteur 9 (n°21, 22, 23, 25, 26, 27, 27, 29, 30, 31, 32, 35)

Repères : Givors, Le Doux, l'Eyrieux, Parc du Pilat, Chavanay, La Voulte-sur-Rhône, Gervans, Confluence du Doux, Bourg-lès-Valence,

Masses d'eaux souterraines encaissantes : 6611, 6613 (Socle Monts du Lyonnais Sud, Pilat et Monts du Vivarais, Gier, Cance, Doux, socle, libre seul) ; 6612 (Socle Monts du Vivarais, Eyrieux et volcanisme du Mézenc, socle, libre seul).

Masses d'eaux souterraines alluviales du Rhône : 6325.

Ce secteur caractérise uniquement la rive droite du Rhône sur un long tronçon. Il est surtout identifié par Chauve. On observe ici de nombreuses influences anthropiques.

- Secteur 10 (n°22)

Repères : Vienne, Saint-Clair-sur-Rhône, Condrieu, Défilé de Vienne.

Masses d'eaux souterraines encaissantes : 6611, 6613, 6219, 6334.

Masses d'eaux souterraines alluviales du Rhône : 6325.

Ce secteur est caractérisé par des apports faibles des massifs et des nappes soutenues par le fleuve Rhône. Il y a peu d'échanges, la nappe est réduite.

- Secteur 11 (n°23, 24, 25, 26, 27)

Repères : Plaine de Péage-de-Roussillon (Bièvre/Valloire, Faramans, Pajay, Manthes), Condrieu, Saint-Pierre de Bœuf, Dérivation de Péage-de-Roussillon, Île de la Platière, Rhône court-circuité (amont, médian, aval), Andance.

Masses d'eaux souterraines encaissantes : 6613, 6219.

Masses d'eaux souterraines alluviales du Rhône : 6325, 6303 (Alluvions de la Plaine de Bièvre/Valloire, alluvial, libre seul).

Ce secteur est caractérisé par une situation d'équilibre en amont, puis le Rhône draine la nappe. La situation se complexifie au niveau de La Platière : on observe que le Vieux-Rhône draine la nappe sauf sur les secteurs perturbés par des pompages où il y a infiltration. Sur la dérivation le Rhône alimente la nappe. Il faut aussi tenir compte du fait que la nappe de Bièvre/Valloire alimente le Rhône.

- Secteur 12 (n°28)

Repères : Défilé de Saint-Vallier,

Masses d'eaux souterraines encaissantes : 6613, 6219.

Masses d'eaux souterraines alluviales du Rhône : 6325.

Ici, la nappe du méandre est tantôt alimentée par le Rhône et tantôt drainée.

- Secteur 13 (n°29, 30, 31, 32, 33, n°114)

Repères : Tain-l'Hermitage, Dérivation de Gervans, Confluence du Doux, Tournon-sur-Rhône, Confluence de l'Isère, Plaine de l'Isère.

Masses d'eaux souterraines encaissantes : 6613, 6612, 6219, 6103 (Alluvions anciennes de la Plaine de Valence et terrasses de l'Isère, dominante sédimentaire, libre seul).

Masses d'eaux souterraines alluviales du Rhône : 6325.

Ici, la nappe est drainée vers l'Isère et le Rhône. Elle l'est aussi sur le Vieux-Rhône, alors qu'elle est alimentée sur les dérivations.

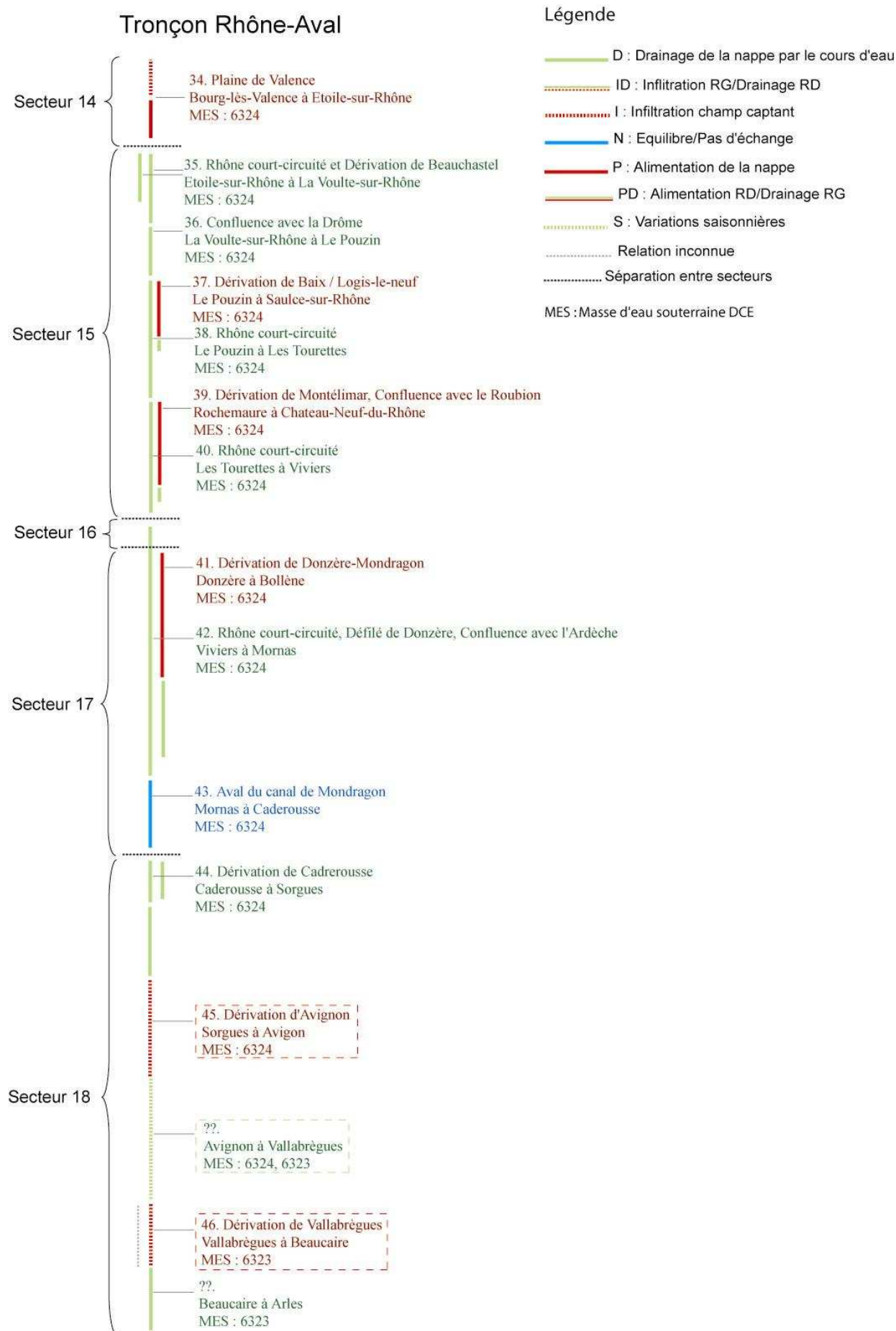


Figure 37. Schéma de linéarisation des relations d'échange nappe/Rhône-Aval

• **Tronçon Rhône-aval** (Figure 37.)

- Secteur 14 (n°34)

Repères : Confluence avec l'Isère, Portes-lès-Valence, Plaine de Valence, Dérivation de Bourg-lès-Valence.

Masses d'eaux souterraines encaissantes : 6613, 6612, 6219, 6103

Masses d'eaux souterraines alluviales du Rhône : 6325, 6324 (Alluvions du Rhône du confluent de l'Isère à la Durance, alluvions nasse vallée de l'Ardèche et de la Cèze, alluvial, libre seul).

A l'aval de la confluence, le Rhône alimente la nappe sur la dérivation (sauf à l'aval de celle-ci) et inversement sur le Vieux-Rhône. Sur ce secteur, la nappe est alimentée par la plaine de Valence, puis la nappe est alimentée par le fleuve en raison d'une réalimentation induite par de gros prélèvements.

- Secteur 15 (n°35, 36, 37, 38, 39, 40)

Repères : Portes-lès-Valence, Viviers, Drôme, Roubion, Jabron, Dérivation de Beauchastel, Dérivation de Baix/Logis-le-Neuf, Dérivation de Montélimar.

Masses d'eaux souterraines encaissantes : 6613, 6612, 6219, 6507 (Formations liasiques et triasiques de la bordure cévenole et alluvions de la Cèze, imperméable localement aquifère, libre et captif associés majoritairement libre) ; 6508 (Formations marno-calcaires et gréseuses Drôme, Roubion, Eygues, Ouvèze, imperméable localement aquifère, libre et captif associés majoritairement libre).

Masses d'eaux souterraines alluviales du Rhône : 6103, 6324, 6637 (Alluvions de la Drôme à l'aval de Crest, alluvial, libre seul) ; 6327 (Alluvions du Roubion et Jabron, Plaine de Valdaine, alluvial, libre seul).

Sur ce secteur, le Rhône alimente la nappe au niveau de Portes-lès-Valence, de la dérivation de Baix/Logis-le-Neuf et de Montélimar. Sur les autres secteurs, le Rhône est drainant. Il faut tenir compte ici des apports des vallées alluviales de la Drôme, du Roubion et du Jabron.

- Secteur 16 (?)

Repères : Défilé de Donzère

Masses d'eaux souterraines encaissantes : 6507, 6508, 6129 (Calcaires urgoniens des garrigues du Gard et du Bas-Vivarais, dominante sédimentaire, libre seul).

Masses d'eaux souterraines alluviales du Rhône : 6324.

La nappe alluviale est réduite, et sans doute alimentée par les massifs en rive gauche et le Rhône.

- Secteur 17 (n°41, 42, 43)

Repères : Plaine du Tricastin, Plateau des Gras, Fontaine de Tourne, Confluence de l'Ardèche, Dérivation de Donzère.

Masses d'eaux souterraines encaissantes : 6507, 6508, 6129, 6518 (Formations tertiaires Côtes du Rhône, imperméable localement aquifère, libre et captif associés majoritairement libre).

Masses d'eaux souterraines alluviales du Rhône : 6324.

Ici, la nappe alluviale est étendue et puissante. Le Vieux-Rhône est drainant sur tout le secteur, alors que la dérivation est alimentée par la nappe à l'amont et drainante à l'aval. Il faut ici tenir compte des apports des alluvions de l'Ardèche.

- Secteur 18 (n°42, 43, 44, 45, 46)

Repères : Aigues, Ouvèze, Durance, Cèze, Gardon, Roquemaure, Villeneuve-lès-Avignon, Isle-sur-Sorgues, Sorgue, Arles, Dérivation de Caderousse, Dérivation d'Avignon, Dérivation de Vallabrègues.

Masses d'eaux souterraines encaissantes : 6508, 6129, 6518, 6301 (Alluvions des plaines de Comtat et des Sorgues, alluvial, libre seul), 6218 (Molasses miocènes du Comtat, dominante sédimentaire, libre et captif associés majoritairement captif) ; 6204 (Calcaires et marnes des Alpilles, intensément plissée, libre et captif associés majoritairement libre) ; 6117 (Calcaires du crétacé supérieur des garrigues et extension sous couverture, dominante sédimentaire, libre et captif associés majoritairement libre) ;

Masses d'eaux souterraines alluviales du Rhône : 6324, 6323 (Alluvions du Rhône du confluent de la Durance jusqu'à Arles et Beaucaire et alluvions du Bas-Gardon, alluvial, libre seul)..

Sur ce secteur, le Rhône est d'abord en équilibre avec la nappe, puis il devient drainant avant d'alimenter la nappe par infiltration induite dans le secteur d'Avignon. On retrouve cette tendance dans le secteur de Tarascon/Beaucaire où il y a de forts pompages AEP. Entre les deux, les relations d'échanges sont sujettes à des variations saisonnières.

- **Tronçon Rhône-maritime** (Figure 38.)

- Secteur 19 (n°47)

Repères : Delta, Crau, Grand-Rhône, Petit-Rhône.

Masses d'eaux souterraines encaissantes : 6101 (Alluvions anciennes de la Vistrenque et des Costières, dominante sédimentaire, libre et captif, majoritairement libre) ; 6104 (Cailloutis de la Crau, dominante sédimentaire, libre et captif associés majoritairement libre).

Masses d'eaux souterraines alluviales du Rhône : 6323, 6504 (Domaine limons et alluvions quaternaires du Bas-Rhône et Camargue, imperméables localement aquifère, libre et captif majoritairement libre).

Avant Arles le Rhône draine l'aquifère pour finir en situation d'équilibre dans le delta bien que les relations semblent plus complexes qu'il n'y paraît.

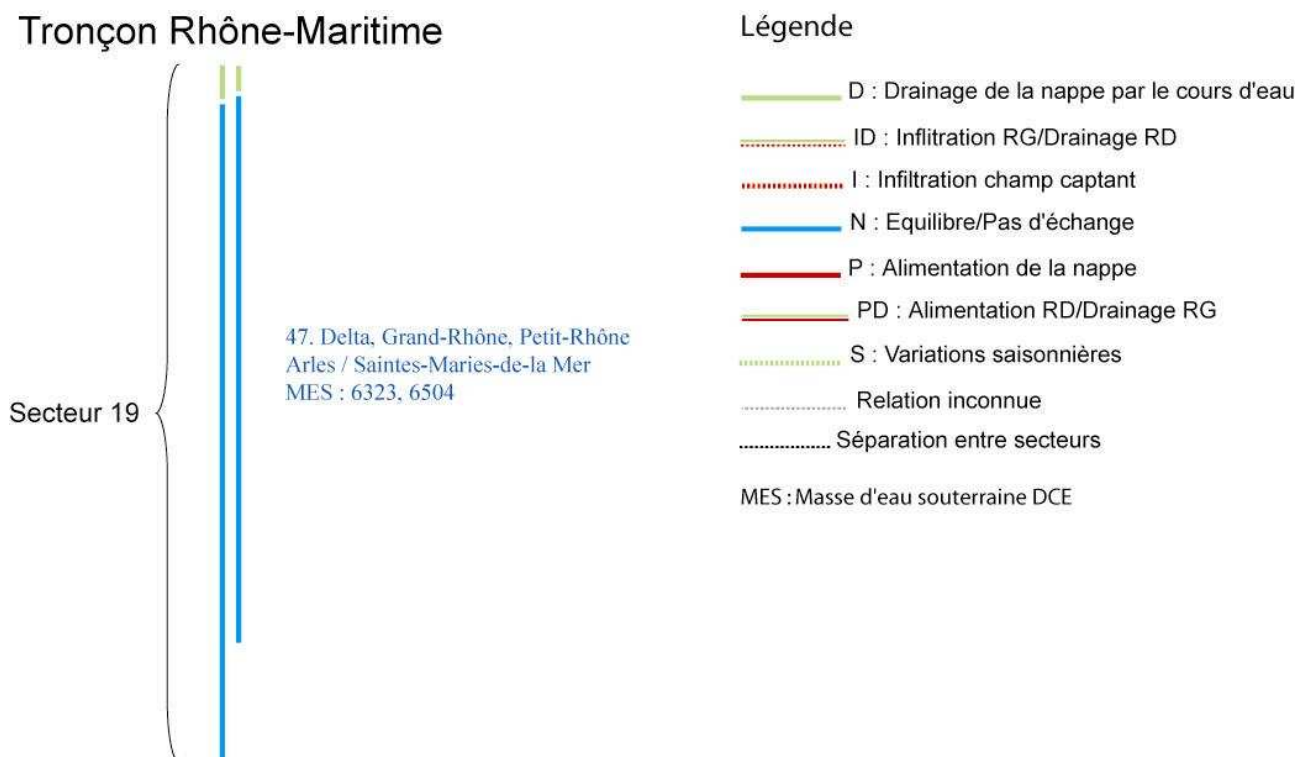


Figure 38. Schéma de linéarisation des relations d'échange nappe/Rhône-Maritime

La prise en compte des différentes sectorisations présentées dans ce chapitre (ou en annexe) est d'importance pour cette étude. En effet, même si de tels découpages ne se recoupent pas forcément, ne visent pas les mêmes finalités et ne se basent pas sur les mêmes critères, procéder au recouplement de ces différentes sectorisations permet néanmoins de mieux appréhender chaque site d'étude, et de prendre en compte ses relations amont-aval (longitudinales) et transversale dans une étude plus détaillée des mécanismes d'échange nappe/rivière.

Toutefois, ces premières sectorisations ont été effectuées à grande échelle et sans préciser les variations saisonnières des échanges. L'étude plus détaillée à l'échelle de la chute CNR est indispensable pour déterminer la méthode d'évaluation adéquate pour quantifier les échanges (Partie III. Application sur un site test : la chute CNR de Brégner-Cordon).

Ce travail a permis dans un premier temps d'appréhender la dimension spatiale du cours du Rhône. Il s'agira par la suite : 1) de préciser l'influence du substratum pliocène entre Givors et la Méditerranée ; 2) de mieux cerner les relations d'échange au niveau des molasses aquifères sur le Rhône-Amont ; 3) de préciser la contribution des différents karts dans l'alimentation du fleuve ; et 4) de discriminer de façon précise les secteurs sur lesquels les relations d'échanges sont avérées et ceux où elles sont à valider.

Partie III – Application sur un site test : la chute CNR de Brégnier-Cordon (Ain, France)

III.1. Présentation du zoom-test sélectionné : la chute de Brégnier-Cordon

Ce site a été sélectionné à partir de 3 critères de choix principaux :

- il est a priori relativement peu anthropisé même si les ouvrages CNR y sont présents. La compréhension des mécanismes d'échange doit prendre en compte dans la mesure du possible l'influence des ouvrages, des captages ou de tout autre élément qui viendrait perturber les écoulements naturels du fleuve ou de la nappe et les milieux dans lesquels ils se font :

- il existe des données disponibles sur les plans hydrauliques (données CNR) et biologiques (invertébrés souterrains et végétation aquatique) ;

- il s'agit d'un secteur où des hypothèses sur les échanges nappe/Rhône ont été pré-identifiées à grande échelle.

La sélection de ce secteur test est principalement destinée à la compréhension des phénomènes pour établir une meilleure corrélation entre méthodes d'évaluation biologique et hydraulique. Cependant les résultats obtenus en terme de corrélations biologiques et hydrauliques ne seront pas automatiquement transférables ou transposables directement sur d'autres secteurs du fleuve. Des tests complémentaires devront être effectués dans des secteurs où les conditions naturelles sont différentes (climat, géologie, régime hydrologique,...) mais où les critères précédents sont respectés, comme par exemple, des secteurs plus au sud du Rhône telle la confluence avec la Drôme. Ceci devant permettre de tester la validité des mécanismes de raisonnement mis en œuvre dans les secteurs amont. Une fois les mécanismes d'échange établis, il sera alors envisageable de les appliquer sur des sites plus fortement anthropisés qui feront intervenir des prélèvements (AEP, irrigation, industriel), des rejets ou des ouvrages et sur lesquels on observe des conflits d'usage (ex : Île de La Platière).

Pour le secteur de la plaine du Guiers (Brégnier-Cordon), les informations données reprennent de manière synthétique les caractéristiques géomorphologiques et hydrogéologiques des aquifères présentées avec précision par Creuzé des Châtelliers (1991), et qui permettent de situer les conditions générales d'écoulement des eaux souterraines.

Le secteur de Brégnier-Cordon se situe à une centaine de kilomètres en amont de la ville de Lyon. Le Rhône coule selon une direction Sud-Est/Nord-Ouest entre la chaîne plissée du Jura et son avant pays tabulaire, l'Île Crémieu. Sur sa rive droite, le Rhône côtoie les calcaires secondaires karstifiés du Jura. Dans la plaine, la puissance des dépôts quaternaires est comprise entre 40 et 60 mètres. Le secteur de Brégnier-Cordon est géologiquement caractérisé par des terrains secondaires à dominante calcaire et marno-calcaire (réservoirs aquifères karstiques), et par des alluvions quaternaires de faible superficie dans les vallées avec des apports significatifs des massifs et des plaines alluviales. Si celles du Rhône qui sont limitées, on note que celle du Furans est plus étendue (Chauve, 2006). On observe aussi des molasses, dépôts d'origine marine : « série à dominante sableuse qui se sont déposées dans le Bas-Dauphiné, la Dombes et la Bresse durant le Miocène (Burdigalien, Tortonien) ». La molasse repose généralement sur des formations argileuses ou marneuses de l'Oligocène. Le coude de Brégnier-Cordon composé de sables moyens à grossiers est peu connu car il y a peu de forages. Dans ce type de formation, les perméabilités sont de l'ordre de 10^{-3} à 10^{-5} m/s selon la granulométrie des sables. Les transmissivités au nord de l'Isère sont de l'ordre de 5.10^{-3} m²/s (Bouillin & al., 2006).

Dans ce secteur, le Rhône coule dans une vallée glaciaire remblayée par du matériel limoneux et caillouto-sableux. Sa plus grande largeur est d'environ une dizaine de kilomètres (Morestel-Saint-Benoît), et peut se réduire à moins de deux kilomètres (Champagneux). La pente du

lit, proche de 0,5 pour mille entre Chautagne et Guiers, se raidit à 1 pour mille dans la plaine de Brégnier. Cette condition de forte pente, l'une des plus vigoureuses du Haut-Rhône, associé à une abondante charge grossière apportée par les affluents préalpins, a favorisé le développement d'un style géomorphologique de tressage, où se rencontrent des chenaux instables et peu profonds.

Le Rhône à Brégnier-Cordon bénéficie d'un régime pluvio-nival sous le contrôle des affluents alpins (Arve) et sub-alpins (Usses, Fier et Guiers). Ce régime climatique est aussi qualifié de nivo-glaciaire (Dufour, 2005).

Au contact du Rhône, l'aquifère alluvial est constitué de dépôts fluviatiles sablo-graveleux sur une dizaine de mètres d'épaisseur. Au contact du Rhône, la nappe alluviale est alimentée en période de hautes eaux par le fleuve. Lors des étiages, elle est au contraire drainée. La plus forte zone de contact entre les eaux du fleuve et les eaux souterraines s'établit au niveau de la confluence avec le Guiers, et elle est renforcée par la mise en place d'un seuil artificiel en palplanches qui surélève la ligne d'eau de l'affluent par rapport au Rhône.

La fiche Natura 2000¹² précise quelques éléments pour la ZPS située en rive gauche entre le Pont d'Evieu et la confluence avec le Guiers sur les communes de Brégnier-Cordon (01), Saint-Benoît (01), Les Avenières (38) et Brangues (38). Les boisements sont bien liés au fleuve grâce à la nappe superficielle. Sur le plan historique, l'évolution du secteur est singulière. Le bassin de Brégnier-Cordon est dû à un creusement glaciaire remblayé ensuite par un lac. De l'époque Gallo-Romaine jusqu'au Moyen-Age, le fleuve a une physionomie tressée, les premières digues sont construites pour protéger les terres agricoles, puis au 19^e de gros travaux sont engagés pour faciliter la navigation (augmentation de la profondeur). Les secteurs des Îles de Champagneux et de Brégnier-Cordon ont alors été rectifiés (endiguement et épis) respectivement en 1879-1881 et 1885-1886 avec la construction de digues d'enrochement submersibles. On observe un comblement minéral des lônes à partir de 1885 (Dufour, 2005)

Pour finir, l'aménagement CNR actuel a été mis en service en 1984 (Coulet & al., 1997). Celui-ci est organisé comme tous les ouvrages au fil de l'eau (Figure 39.) et il est prévu pour turbiner au maximum 780m³/s. Sa mise en route s'est accompagnée de débits réservés sur le Vieux-Rhône représentant 1/6^e du module depuis 2004, avec un débit plancher de 65m³/s. Ces débits réservés doivent permettre de limiter les facteurs d'altération, tel l'arrêt du transport solide, sur le Rhône court-circuité qui provoquent entre autres une accentuation de l'érosion des berges, un abaissement des nappes phréatiques, un ralentissement des écoulements souterrains et superficiels, des problèmes d'eutrophisation et de concentration en fer/manganèse.

L'aménagement de Brégnier-Cordon concerne 28km de Rhône entre La Balme (Savoie) et Evieu (Ain) avec une retenue de 12km, un canal d'amenée de 5km (dans la dépression de l'ancien lac de Pluvis), un canal de fuite de 3km débouchant à Evieu, une hauteur de chute maximale de 14,3m et une production annuelle de 360 millions de kW/h (Rampoux, 1992).

Le Vieux-Rhône de l'aménagement de Brégnier-Cordon ne semble pas sujet au phénomène d'incision du lit du fait du seuil des Avenières qui soutient l'alimentation des bras morts. De surcroît, les apports sédimentaires du Guiers, dont le bassin versant s'étend environ sur 600km², permettent le maintien d'un bilan sédimentaire positif. Toutefois, la conjonction dérivation et incision se traduit par une légère baisse du niveau d'eau (de moins d'1m) en période de végétation (Dufour, 2005).

¹² En ligne : <http://natura2000.ecologie.gouv.fr/sites/FR8210058.html>

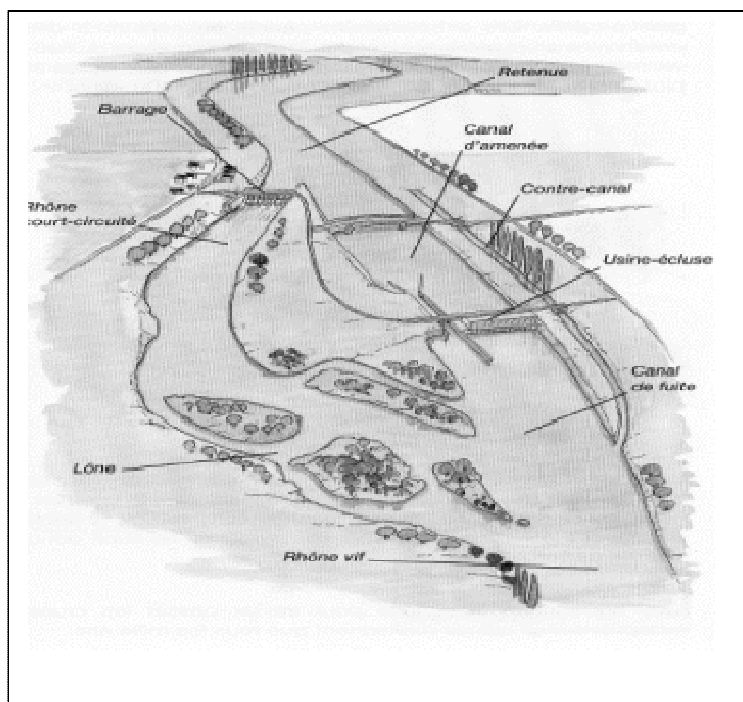


Figure 39. Organisation d'un aménagement CNR dit « au fil de l'eau »¹³

III.2. Bilan sur les échanges entre le Rhône et ses nappes d'accompagnement – application à la zone test de Brégnier-Cordon

L'analyse des échanges entre les nappes et le Rhône repose sur une analyse croisée des connaissances existantes (Partie I. Etat actuel des méthodes et des connaissances pour l'évaluation des relations d'échange entre le fleuve Rhône et ses nappes d'accompagnement), avec celles issues des mécanismes d'évaluation hydraulique de ces échanges (Paragraphe I.1.1. Hydrophysique : bilans, formules, modèles et statistiques), et celles des mécanismes biologiques associés (Paragraphe I.1.2. Hydrobiologie : invertébrés souterrains et I.1.3. Hydrobiologie : macrophytes).

L'examen des sectorisations décrites au paragraphe II.3. (Hypothèses de travail sur les relations d'échange nappe/fleuve Rhône et bilan) a montré que le Rhône est principalement drainant vis-à-vis des nappes sur l'ensemble de son cours. Il a cependant la potentialité d'alimenter les nappes d'accompagnement dans certains secteurs particuliers (ex : Marais de Chautagne/Lavours), ou de présenter des variations saisonnières (alimentation des nappes en hiver ou en période de hautes-eaux et drainage à l'étiage, comme par exemple dans le secteur d'Avignon à Beaucaire). Il peut enfin montrer des différences de comportement, entre sa rive gauche et sa rive droite, pour des raisons géomorphologiques, hydrogéologiques ou anthropiques.

III.2.1. Du point de vue de l'hydraulique : essai de représentation et de quantification des échanges nappes-rivière

Les sectorisations déjà établies montrent que sur le secteur de Brégnier-Cordon la nappe alluviale alimente les cours d'eau au niveau du Rhône et du Guiers, qu'il n'y a pas d'échange au niveau de la dérivation de Brégnier-Cordon.

¹³ Source : Réhabilitation du Haut-Rhône, Modification des débits réservés et plan de réhabilitation des lônes, Aménagement de Chautagne, Belley et Brégnier-Cordon (départements de la Savoie, de l'Ain et de l'Isère)
En ligne : <http://www.eaurmc.fr/lyon-fleuves-2001/atelier%203%20html/TA309%20FORET.htm>

III.2.1.1. Estimation des débits de nappe et de fuite des digues à partir d'une loi de filtration en milieu perméable (formule de Darcy) : approche par les gradients hydrauliques

• Détermination des perméabilités et des transmissivités

Les perméabilités et transmissivités sont tirées de la littérature (Figure 40.). D'une part Michal (1988) les a déterminées suite à des essais de pompage dans des puits, à l'aide de différentes méthodes de calcul :

- Méthode de la courbe de descente de Theis-Jacob [1],
- Méthode de la remontée de Theis-Jacob [2],
- Rabattement spécifique / débit : méthode de Logan [3],
- Rabattement / logarithmes des distances d'influence : méthode de Thiem [4]

Il obtient ainsi différents résultats numériques qui nous conduisent à travailler sur des fourchettes de perméabilité ou de transmissivité, avec une valeur minimale et une valeur maximale.

D'autre part, il existe des tableaux de valeurs générales pour les zones alluvionnaires (Figure 40.) (de Marsily, 1981) [5] :

- la perméabilité en zone alluvionnaire varie de 1.10^{-5} à 1.10^{-2} ,
- la transmissivité varie quant à elle de 1.10^{-4} à 1.10^{-1} .

Dans l'ensemble, ces valeurs sont relativement cohérentes avec celles issues de la littérature et celles indiquées en partie II. (Le Rhône du Léman à la Camargue : hypothèses de sectorisation).

LOCALISATION		Perméabilité en $m.s^{-1}$	Transmissivité en $m^2.s^{-1}$
Secteur de la Charrière PK 116 à 112 rive gauche [3]		$1,3.10^{-3}$	1.10^{-2}
Secteur de Bovinel PK 112 à 109 rive droite [3]	Maximum	1.10^{-5}	1.10^{-4}
	Minimum	1.10^{-2}	1.10^{-1}
Secteur des Rubattiers PK 110,8 à 106 rive gauche [5]	Maximum	1.10^{-5}	1.10^{-4}
	Minimum	1.10^{-2}	1.10^{-1}
Secteur de Saint-Genix-sur-Guiers	Aval PK 106 à 102 rive gauche [2] et [4]	Maximum	$5,9.10^{-5}$
		Minimum	$7,2.10^{-4}$
	Amont PK 102 à 98,5 rive gauche [1] et [3]	Maximum	$6,1.10^{-3}$
		Minimum	$1,1.10^{-2}$

Figure 40. Fourchettes de perméabilité et de transmissivité utilisées sur le secteur de Brégnier-Cordon

Les chiffres entre crochets renvoient à l'origine des valeurs plus haut dans le texte

Les calculs de débits ont été effectués pour les nappes sur lesquelles nous disposons de cartes piézométriques basses-eaux (débit du Rhône : $150m^3/s$) avant aménagement (source : convention CNR/EMSE – carte du 22 novembre 1978) et après aménagement (source : CNR in Rampnoux, 1992 – carte du 7 février 1990). Nous avons ainsi pu effectuer les calculs sur l'amont de la chute de Brégnier-Cordon, c'est-à-dire en rive droite sur le secteur de Bovinel et en rive gauche sur les secteurs de La Charrière¹⁴, des Rubattiers et de Saint-Genix-sur-Guiers. Pour les zones situées à l'aval, nous ne disposons pas de cartes piézométriques après aménagement.

¹⁴ Pour La Charrière nous avons dû utiliser la carte piézométrique moyennes-eaux (débit du Rhône : $400m^3/s$) du 26 avril 1979 (source : convention CNR/EMSE) pour le calcul des débits de nappe avant aménagement. En effet, sur la carte basses-eaux les isopièzes ne sont pas indiquées pour cette zone.

Pour chaque zone, les calculs de débit ont été réalisés selon l'approche de Darcy à partir de la perméabilité (K) et de la transmissivité (T) faisant intervenir la section d'écoulement en faisant l'hypothèse que l'épaisseur de nappe contribuant à l'alimentation du Rhône est de 4m environ (Profondeur). La largeur quant à elle correspond à la longueur de berge sur laquelle porte le calcul, estimée à l'aide du SIG entre les PK considérés. Largeur et profondeur permettent de calculer la section d'écoulement (A). Des comparaisons peuvent ainsi être établies entre les deux périodes : avant et après aménagement. Pour rendre les résultats comparables, le débit de nappe calculé est ramené au kilomètre de berge.

En plus des débits de nappes, cette partie présente, d'une part les principales venues d'eaux naturelles dans le fleuve, notamment celles des sources karstiques et du Guiers (le débit des affluents n'est pas connu), d'autre part les prélèvements et rejets d'origine anthropique dans le fleuve ou dans les nappes.

- **Calcul des débits de nappe selon la formule de Darcy**

- *Secteur de La Charrière : rive gauche PK 116 à PK 112 (Figure 55.)*

RIVE GAUCHE DU RHONE - SECTEUR DE LA CHARRIERE		
	AVANT AMENAGEMENT 26-avr-1979	APRES AMENAGEMENT 7-fév-1990
Position	PK 116 à PK 112	PK 116 à PK 112
dH (m)	1,84	0,84
dL (m)	1070	1425
Gradient (i en %)	0,17	0,06
Largeur (m)	2300	2500
Profondeur (m)	4	4
A (m ²)	9200	10000
K (m.s ⁻¹)	1,3.10 ⁻³	1,3.10 ⁻³
Q (m ³ .s ⁻¹)	0,021	0,008
Q par km (m³.s⁻¹.km⁻¹)	0,005	0,002

Figure 41. Débits de nappe fondés sur les perméabilités pour le secteur de La Charrière

Au niveau de cette zone, les débits calculés avant aménagement sont des débits mesurés pour les lignes piézométriques lors de moyennes-eaux et non de basses-eaux. Il ne faut donc pas négliger qu'il est possible de revoir ces chiffres à la baisse. De plus, nous ne disposons que d'une donnée de perméabilité calculée et d'une donnée de transmissivité. Le résultat n'est donc pas exprimé sous forme de débit moyen (moyenne du débit maximum et du débit minimum) calculé avec la fourchette de valeurs de perméabilités et de transmissivités comme pour les autres secteurs.

Que ce soit avec les perméabilités (Figure 41.) ou avec les transmissivités (Figure 42.), les débits de nappe obtenus sont faibles et diminuent après aménagement. Les gradients hydrauliques ont eux aussi tendance à diminuer après aménagement. Les valeurs de débit calculées avec la transmissivité sont plus importantes. Ceci peut être dû à la sous-estimation de la section d'écoulement (profondeur de l'interface nappe /Rhône estimée à 4m).

Ce secteur est limité d'un côté par le Rhône et de l'autre par des formations de type molassique, puis karstique avec la présence d'un dénivelé élevé, d'où un ruissellement potentiellement important. Il faut aussi noter que nous nous situons dans un méandre du Rhône. Il est donc fort probable qu'il y ait des transferts d'eau du Rhône vers l'aquifère compte-tenu de l'orientation des isopièzes basses-eaux.

RIVE GAUCHE DU RHONE - SECTEUR DE LA CHARRIERE		
	AVANT AMENAGEMENT 26-avr-1979	APRES AMENAGEMENT 7-fév-1990
Position	PK 116 à PK 112	PK 116 à PK 112
Gradient (i en %)	0,17	0,06
Largeur (m)	2500	2500
T (m ² .s ⁻¹)	1.10 ⁻²	1.10 ⁻²
Q (m ³ .s ⁻¹)	0,043	0,015
Q par km (m³.s⁻¹.km⁻¹)	0,017	0,006

Figure 42. Débits de nappe fondés sur les transmissivités pour le secteur de La Charrière

Il existe une station de pompage captant 20 000m³ d'eau par an (soit environ 0,63 l.s⁻¹) pour l'adduction en eau potable de la communauté de communes de Yenne. Le pompage, appelé « Puits du Bichalet », se situe sur la commune de La Balme. Il est possible que la diminution de débit de la nappe après aménagement soit en partie due à ce pompage. Cependant, nous n'avons pas de données en ce qui concerne la date de mise en place de ce captage.

Il existe une source au nord-est de cette zone. Il s'agit de la source Lavoir (Figure 43.) qui émerge des éboulis adossés à la falaise du Mont Tournier [éboulis avec blocs calcaires volumineux et éventuellement moraine de fond wurmienne (argile à galets et blocs potentiellement mêlés d'alluvions). Malgré une pente important (50%), ils sont recouverts par une végétation arbustive. Il semble d'après différentes mesures que l'aquifère alimentant cette source soit de dimension limité, superficiel et sensible aux précipitations. A l'étiage, la source montre un quasi-tarissement (Michal, 1988).

SOURCE LAVOIR	
Débit minimum	0,013 l/s
Débit maximum	0,35 l/s
Débit moyen	0,14 l/s
Altitude	223m
Coordonnée X	863,40
Coordonnée Y	83,85

Figure 43. Caractéristique de la source lavoir (Michal, 1988)

Au sud du secteur de La Charrière débouche le tunnel des eaux usées creusé en 1978 pour résoudre les problèmes de pollution du lac du Bourget. Ce tunnel mesure 12 270m de long et présente un dénivelé de 10m (passage d'une cote 228 à 218m). Son débit d'exhaure total est compris entre 20 et 25 l/s quand il traverse les terrains calcaires de l'Oxfordien supérieur et l'Hauterivien. Les venues d'eau sont localisées et n'excèdent pas 0,5 l/s. On observe aussi des venues d'eau du flanc ouest du synclinal de Yenne-Novalaise (3 l/s) et de faibles apports météoriques (Michal, 1988). Lors d'une sortie de terrain (19 décembre 2006) nous avons estimé visuellement le débit de sortie de la galerie d'assainissement à 600 l/s.

- Secteur de Bovinel : rive droite PK 113 à 109 (Figure 56.)

Cette zone est une plaine alluviale de largeur assez grande pour le secteur. On observe que les gradients et les débits augmentent très légèrement après aménagement à l'amont du secteur et diminuent légèrement à l'aval. Cette fois encore, les débits calculés avec les transmissivités (Figure 45.) sont plus importants que ceux calculés avec les perméabilités (Figure 44.). Il faut

signaler que faute de données à cet endroit, les hauteurs piézométriques entre PK113 et PK111 (216,18m) sont déduites des coupes transversales de digues.

RIVE DROITE DU RHONE – SECTEUR DE BOVINEL				
	AVANT AMENAGEMENT 22-nov-1978		APRES AMENAGEMENT 7-fév-1990	
	PK 112 à PK 110	PK 110 à PK 109	PK 112 à PK 110 *	PK 110 à PK 109
Position				
dH (m)	1	2	-	2
dL (m)	970	971	-	1260
Gradient (i en %)	0,10	0,21	0,11	0,16
Largeur (m)	2000	1000	2000	1000
Profondeur (m)	4	4	4	4
A (m ²)	8000	4000	8000	4000
K min (m.s ⁻¹)	1.10 ⁻⁵	1.10 ⁻⁵	1.10 ⁻⁵	1.10 ⁻⁵
K max (m.s ⁻¹)	1.10 ⁻²	1.10 ⁻²	1.10 ⁻²	1.10 ⁻²
Q min (m ³ .s ⁻¹)	0,00001	0,0001	-	0,0001
Q max (m ³ .s ⁻¹)	0,082	0,082	-	0,063
Q moyen (m ³ .s ⁻¹)	0,041	0,041	-	0,032
Q moyen par km (m³.s⁻¹.km⁻¹)	0,021	0,041	0,022	0,032

Figure 44. Débits de nappe fondés sur les perméabilités pour le secteur de Bovinel

* : Les cartes piézométriques avant et après aménagement ne sont pas identiques et ne couvrent pas l'espace de la même façon. Ainsi, les valeurs de gradient et de débit proposées (PK 112 à PK 110) correspondent à la moyenne des valeurs calculées entre les PK112-111 et PK111-110. Cette moyenne a été effectuée dans le but de présenter un tableau de valeurs sur des distances comparables avant et après aménagement. Les valeurs initiales de débit de nappe et de gradient sont les suivantes : 1) PK112-111 $i=0,2$ et $Q_{moy}/km=0,005$; 2) PK111-110 $i=1,16$ et $Q_{moy}/km=0,040$. De plus, pour PK113-112 après aménagement on a : $i=0,2$ et $Q_{moy}/km=0,004$.

RIVE DROITE DU RHONE – SECTEUR DE BOVINEL				
	AVANT AMENAGEMENT 22-nov-1978		APRES AMENAGEMENT 7-fév-1990	
	PK 112 à PK 110	PK 110 à PK 109	PK 112 à PK 110*	PK 110 à PK 109
Zone d'étude				
Gradient (i en %)	0,10	0,21	0,11	0,16
Largeur (m)	2000	1000	2000	1000
T min (m ² .s ⁻¹)	1.10 ⁻⁴	1.10 ⁻⁴	1.10 ⁻⁴	1.10 ⁻⁴
T max (m ² .s ⁻¹)	1.10 ⁻¹	1.10 ⁻¹	1.10 ⁻¹	1.10 ⁻¹
Q min (m ³ .s ⁻¹)	0,0002	0,0002	-	0,0002
Q max (m ³ .s ⁻¹)	0,206	0,206	-	0,159
Q moyen (m ³ .s ⁻¹)	0,103	0,103	-	0,079
Q moyen par km (m³.s⁻¹.km⁻¹)	0,052	0,103	0,056	0,079

Figure 45. Débits de nappe fondés sur les transmissivités pour le secteur de Bovinel

* : Comme dans le tableau précédent, pour le PK112-110, il s'agit de valeurs de débit et de gradient moyennes. Les valeurs initiales de débit de nappe et de gradient sont les suivantes : 1) PK112-111 $i=0,2$ et $Q_{moy}/km=0,011$; 2) PK111-110 $i=1,16$ et $Q_{moy}/km=0,100$. De plus, pour PK113-112 après aménagement on a : $i=0,2$ et $Q_{moy}/km=0,009$.

Le jaugeage qui se trouve à la fin de cette zone donne un débit de contre-canal d'environ $0,45\text{m}^3.\text{s}^{-1}$. Lors de notre sortie de terrain de décembre 2006 nous avons estimé visuellement le débit de la station de relevage du contre-canal à 500 l/s. L'eau pompée dans le contre-canal est rejetée dans le Rhône. Cette eau provient pour une part des apports de la nappe, des débits de fuite de la digue, de petits affluents (notamment un situé près de la station de pompage), et du ruissellement.

Connaître qualitativement la part des apports d'eau superficielle, y compris la fuite des digues apportant de l'eau du Rhône, permettrait de mieux estimer les apports souterrains.

Il existe plusieurs pompages sur cette zone (Figure 46.) :

NOM DES PUIITS	PRELEVEMENTS	UTILISATION
Les Iles	7 000m ³ par an - eaux souterraines	Irrigation par aspersion (16ha)
Puits	1 000m ³ par an - eaux souterraines	Irrigation par aspersion (1ha)
Puits de Reybre	? - eaux souterraines	Irrigation par aspersion (1,6 ha)
Puits de Grandes Bringues	? - eaux souterraines	Irrigation par aspersion (2,2ha)
Puits en Chouenne	48 000m ³ par an - eaux souterraines	Irrigation par aspersion (33ha)
Puits Bovinel	11 000m ³ par an - eaux souterraines	Irrigation par aspersion (5 ha)
Puits Bovinel	11 000m ³ par an - eaux souterraines	Irrigation par aspersion (5 ha)

Figure 46. Volumes prélevés dans la nappe de Bovinel (SIERM, 2005a)

Les lignes piézométriques ne semblent pas perturbées par les pompages. Il semblerait que les modifications observées, avant et après aménagement, soient plutôt dues à la création du contre-canal sur cette rive. Cependant, il serait intéressant de réaliser d'autres mesures piézométriques afin d'avoir des données plus précises qui permettraient de conclure sur la cause de ces variations.

- Secteur des Rubattiers : rive gauche PK 110 à 106 (Figure 57.)

RIVE GAUCHE DU RHONE - SECTEUR DES RUBATTIERS		
	AVANT AMENAGEMENT 22-nov-1978	APRES AMENAGEMENT 7-fév-1990
Zone d'étude	PK 110,08 à PK 106	PK 110,08 à PK 106
dH (m)	2	2
dL (m)	2470	3450
Gradient i (%)	0,08	0,06
Largeur (m)	4080	4080
Profondeur (m)	4	4
A (m ²)	16320	16320
K min (m.s ⁻¹)	1.10 ⁻⁵	1.10 ⁻⁵
K max (m.s ⁻¹)	1.10 ⁻²	1.10 ⁻²
Q min (m ³ .s ⁻¹)	0,0001	0,0001
Q max (m ³ .s ⁻¹)	0,132	0,095
Q moyen (m ³ .s ⁻¹)	0,066	0,047
Q moyen par km (m³.s⁻¹.km⁻¹)	0,016	0,012

Figure 47. Débits de nappe fondés sur les perméabilités pour le secteur des Rubattiers

Ici, la zone alluviale est située entre le Rhône et des zones molassiques. Très vite, on observe un rétrécissement de la zone alluviale, et le Rhône se retrouve dans un encaissement au relief très marqué. Au niveau du resserrement la plaine alluviale se situe à une altitude de 215m. Elle est dominée par le Mont Tournier, qui se situe à une distance d'un peu plus d'un kilomètre à vol d'oiseau, et qui culmine à 877m.

Depuis la mise en place du contre-canal dans cette zone, on observe une légère diminution de débit de nappe. On remarque que le gradient hydraulique est moins important depuis les aménagements. Ceci est sans doute dû à la création des contre-canaux mais aussi à leur colmatage progressif. Comme précédemment, les débits de nappes calculés sont supérieurs avec les transmissivités (Figure 48.), qu'avec les perméabilités (Figure 47.).

Il n'y a dans cette zone aucun prélèvement qui puisse perturber l'écoulement de la nappe.

RIVE GAUCHE DU RHONE - SECTEUR DES RUBATTIERS		
	AVANT AMENAGEMENT 22-nov-1978	APRES AMENAGEMENT 7-fév-1990
Zone d'étude	PK 110,08 à PK 106	PK 110,08 à PK 106
Gradient i (%)	0,08	0,06
Largeur (m)	4080	4080
T min (m ² .s ⁻¹)	1.10 ⁻⁴	1.10 ⁻⁴
T max (m ² .s ⁻¹)	1.10 ⁻¹	1.10 ⁻¹
Q min (m ³ .s ⁻¹)	0,0003	0,0002
Q max (m ³ .s ⁻¹)	0,330	0,237
Q moyen (m ³ .s ⁻¹)	0,165	0,118
Q moyen par km (m³.s⁻¹.km⁻¹)	0,041	0,029

Figure 48. Débits de nappe fondés sur transmissivités pour le secteur des Rubattiers

Par ailleurs, on observe une source sur cette zone. La Fontaine de Lion (Figure 49.), au sud du secteur des Rubattiers, dont nous n'avons pu lors de notre visite du 16 mars 2007 localiser précisément l'exutoire. Cependant, à l'ouest de cette dernière, on retrouve une sortie d'eau sous un arbre (débit estimé à 10 l/s). Une autre sortie d'eau a été identifiée, les autres étant plus diffuses. D'après les données dont nous disposons, la Fontaine de Lion sort au contact de la plaine du Rhône, à la base des éboulis et écroulements du quaternaire qui tapissent ce versant (Michal, 1988). Il s'agit là d'un aquifère karstique.

SOURCE DE LA FONTAINE DE LION	
Débit minimum	12 l/s
Débit maximum	360 l/s
Débit moyen	97 l/s
Altitude	230m
Coordonnée X	861,55
Coordonnée Y	76,85

Figure 49. Caractéristique de la Fontaine de Lion (Michal, 1988)

On remarque une très forte différence de débit entre les valeurs de crue et d'étiage (rapport de 1 à 30). Ces variations de débit sont moyennement rapides car l'émergence de la source se situe dans des éboulis qui amortissent les variations. Les relations pluie-débit montrent que les

pluviométries d'été n'influencent que peu les débits. En effet, de juillet à octobre, il semblerait que l'évapotranspiration et la recharge des réserves hydriques du sol utilisent la presque totalité des précipitations. Cependant, l'étude de la courbe de tarissement montre bien qu'il y a des zones de très bonnes perméabilités et donc une arrivée rapide de fortes quantités d'eau à l'exutoire lors des périodes de décrues (Michal, 1988).

- Secteur de Saint-Genix-sur-Guiers (Figure 58.)

RIVE GAUCHE DU RHONE – SECTEUR DE SAINT-GENIX-SUR-GUIERS								
Zone d'étude	AVANT AMENAGEMENT 22-nov-1978				APRES AMENAGEMENT 7-fév-1990			
	PK 106 à PK 102	PK 102 à PK 100,5	PK 100,5 à PK 99	PK 99 à PK 98,5	PK 106 à PK 102	PK 102 à PK 100,5	PK 100,5 à PK 99	PK 99 à PK 98,5
dH (m)	1,5	2,5	2	3,5	1	3	2	3,5
dL (m)	1800	1330	880	1600	1370	925	940	1030
Gradient i (%)	0,08	0,19	0,23	0,22	0,07	0,32	0,21	0,34
Largeur (m)	4000	1500	1500	500	4000	1500	1000	500
Profondeur (m)	4	4	4	4	4	4	4	4
A (m ²)	16000	6000	6000	2000	16000	6000	4000	2000
K min (m.s ⁻¹)	5,9.10 ⁻⁵	6,1.10 ⁻³	6,1.10 ⁻³	6,1.10 ⁻³	5,9.10 ⁻⁵	6,1.10 ⁻³	6,1.10 ⁻³	6,1.10 ⁻³
K max (m.s ⁻¹)	7,2.10 ⁻⁴	1,1.10 ⁻²	1,1.10 ⁻²	1,1.10 ⁻²	7,2.10 ⁻⁴	1,1.10 ⁻²	1,1.10 ⁻²	1,1.10 ⁻²
Q min (m ³ .s ⁻¹)	0,001	0,069	0,083	0,027	0,001	0,119	0,052	0,041
Q max (m ³ .s ⁻¹)	0,096	0,124	0,150	0,048	0,084	0,214	0,094	0,075
Q moyen (m ³ .s ⁻¹)	0,048	0,096	0,117	0,037	0,042	0,166	0,073	0,058
Q moyen par km (m³.s⁻¹.km⁻¹)	0,012	0,064	0,078	0,075	0,011	0,111	0,073	0,116

Figure 50. Débits de nappe fondés sur les perméabilités pour le secteur de Saint-Genix-sur-Guiers

RIVE GAUCHE DU RHONE – SECTEUR DE SAINT-GENIX-SUR-GUIERS								
Zone d'étude	AVANT AMENAGEMENT 22-nov-1978				APRES AMENAGEMENT 7-fév-1990			
	PK 106 à PK 102	PK 102 à PK 100,5	PK 100,5 à PK 99	PK 99 à PK 98,5	PK 106 à PK 102	PK 102 à PK 100,5	PK 100,5 à PK 99	PK 99 à PK 98,5
Gradient i (%)	0,08	0,19	0,23	0,22	0,07	0,32	0,21	0,34
Largeur (m)	4000	1500	1500	500	4000	1500	1000	500
T min (m ² .s ⁻¹)	5,5.10 ⁻²	8,2.10 ⁻⁴	8,2.10 ⁻⁴	8,2.10 ⁻⁴	5,5.10 ⁻²	8,2.10 ⁻⁴	8,2.10 ⁻⁴	8,2.10 ⁻⁴
T max (m ² .s ⁻¹)	1.10 ⁻¹	1.10 ⁻²	1.10 ⁻²	1.10 ⁻²	1.10 ⁻¹	1.10 ⁻²	1.10 ⁻²	1.10 ⁻²
Q min (m ³ .s ⁻¹)	0,183	0,002	0,003	0,001	0,161	0,004	0,002	0,001
Q max (m ³ .s ⁻¹)	0,333	0,028	0,034	0,011	0,292	0,049	0,021	0,017
Q moyen (m ³ .s ⁻¹)	0,258	0,015	0,018	0,006	0,226	0,026	0,012	0,009
Q moyen par km (m³.s⁻¹.km⁻¹)	0,065	0,010	0,012	0,012	0,057	0,018	0,012	0,018

Figure 51. Débits de nappe fondés sur transmissivités pour le secteur de Saint-Genix-sur-Guiers

Contrairement aux autres secteurs, les débits de nappes et les gradients après aménagement augmentent et diminuent alternativement de l'amont à l'aval. De plus, les débits de nappes calculés sont parfois supérieurs avec la perméabilité (Figure 50.), qu'avec la transmissivité (Figure 51.) sauf pour PK106 à 102.

On retrouve sur cette zone deux pompages importants et en particulier celui d'AEP pour la commune de Saint-Genix-sur-Guiers (Puits de la Forêt). On remarque une modification des lignes d'eau. Des mesures complémentaires pourraient mettre en évidence le cône de rabattement

(influence du pompage sur la nappe). On note un débit de pompage moyen d'environ $6,38 \text{ l.s}^{-1}$ mais qui peut être beaucoup plus important selon la saison. On a par exemple en moyenne un prélèvement de $15\,000 \text{ m}^3$ par mois en 2006, le mois d'août a nécessité un prélèvement de $42\,000 \text{ m}^3$ (communication orale, service technique de la mairie de Saint-Genix-sur-Guiers, 2007).

Il y a aussi dans cette zone des pompages d'eau réalisés pour l'utilisation industrielle (SIERM, 2005a), ainsi que des rejets (SIERM, 2005b). Les informations concernant les rejets (industries, STEP) ne sont pas encore chiffrées (Figure 52.).

NOM	PRELEVEMENTS OU REJETS	UTILISATION
Forage (présent av aménagement)	121000 m^3 par an - eaux souterraines	Utilisation industrielle
Puits de la Forêt	201210 m^3 par an - eaux souterraines	Adduction en eau potable
Rejet	? - Rhône ?	Blanchiment, teinture, impression
Rejet	? - Rhône ?	Eaux de traitement de surface
Rejet	? - Rhône ?	Eaux de traitement de surface

Figure 52. Volumes prélevés dans la nappe de Saint-Genix-sur-Guiers (SIERM, 2005a) et rejets dans le Rhône (SIERM, 2005b)

Par ailleurs, il existe deux sources. La source Gourgux (Figure 53.) est l'une d'entre elles, et se situe sur un massif calcaire d'environ 500m terminé par un éboulis volumineux au niveau du captage. Ce dernier est constitué d'un drain implanté dans la formation molassique. Il y a au sein de l'aquifère une circulation rapide des eaux aussi bien en période de hautes-eaux qu'à l'étiage. Les venues du karst ou des éboulis situés en amont engendrent une augmentation des débits lors des périodes hivernales (Michal, 1988).

SOURCE GOURGUX	
Débit minimum	0,14 l/s
Débit maximum	0,34 l/s
Débit moyen	0,26 l/s
Altitude	220m
Coordonnée X	860,55
Coordonnée Y	75,40

Figure 53. Caractéristique de la source Gourgux (Michal, 1988)

La seconde source, la source « RN » (Figure 54.), émerge des sables siliceux, Helvétiques de Pont Beauvoisin (molasse gréseuse et conglomératique miocène). Cet aquifère molassique a une capacité de filtration des eaux importante grâce à une circulation lente et profonde, qui permet un lessivage des polluants (zone d'activité agricole en amont sur bassin versant) (Michal, 1988).

SOURCE RN	
Débit minimum	0,53 l/s
Débit maximum	60 l/s
Débit moyen	0,64 l/s
Altitude	220m
Coordonnée X	857,60
Coordonnée Y	72,35

Figure 54. Caractéristique de la source « RN » (Michal, 1988)



Figure 55. Débits de nappe évalués avec la formule de Darcy au niveau du secteur de La Charrière
 Les débits de nappes sont exprimés en m³/s/km

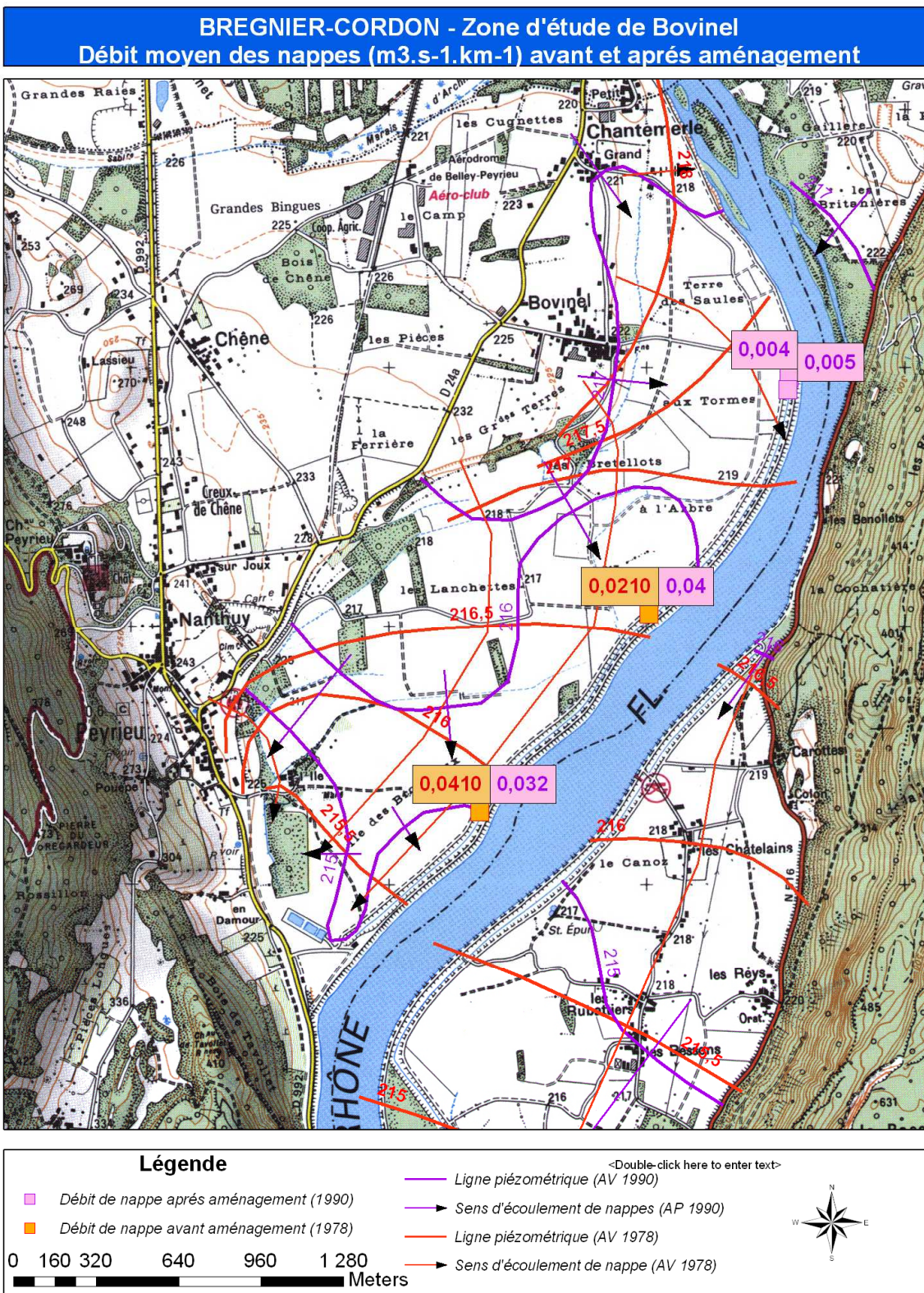


Figure 56. Débits de nappe évalués avec la formule de Darcy au niveau du secteur de Bovinel
 Les débits de nappes sont exprimés en m³/s/km

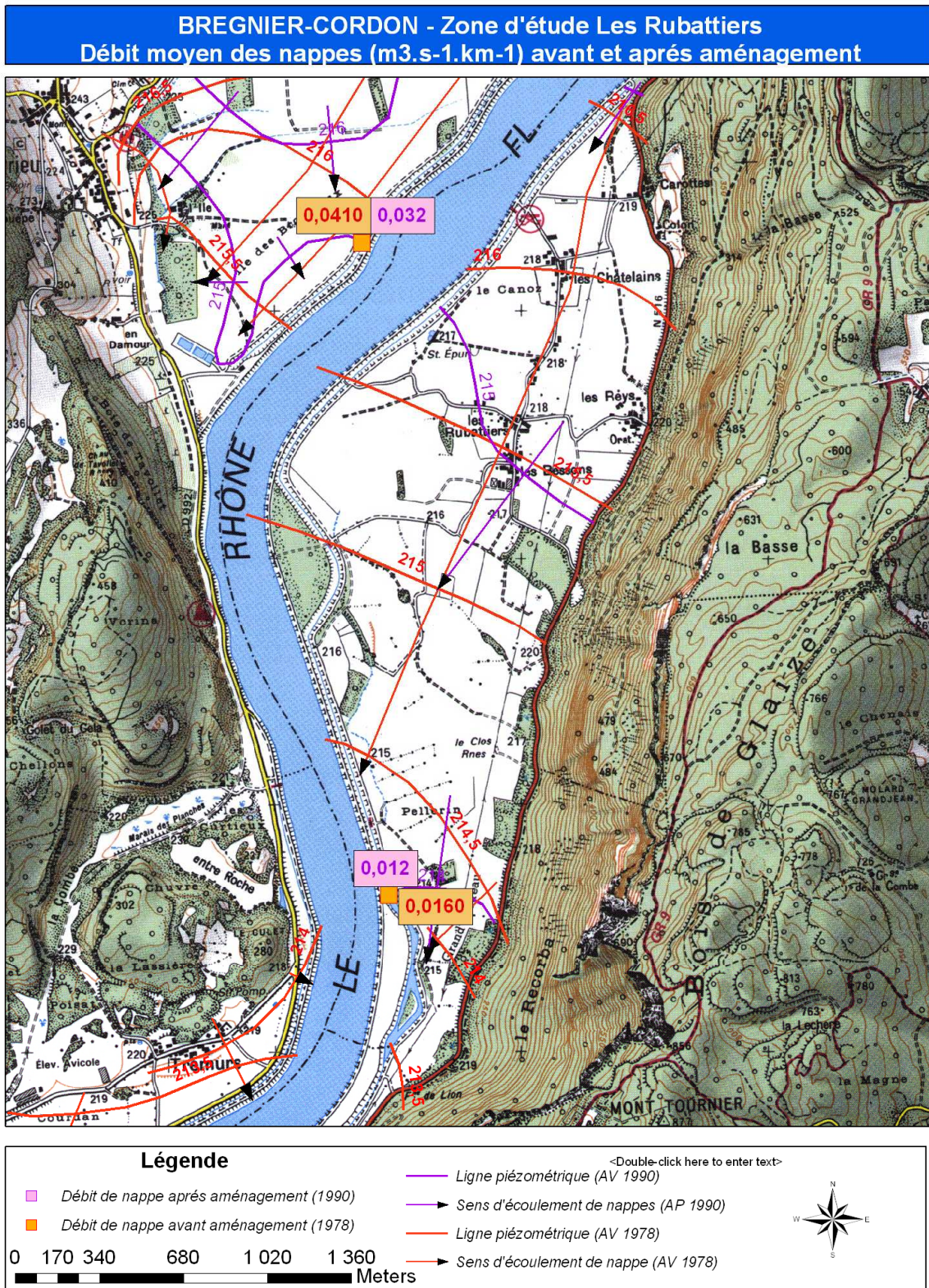


Figure 57. Débits de nappe évalués avec la formule de Darcy dans le secteur des Rubattiers
 Les débits de nappes sont exprimés en m³/s/km

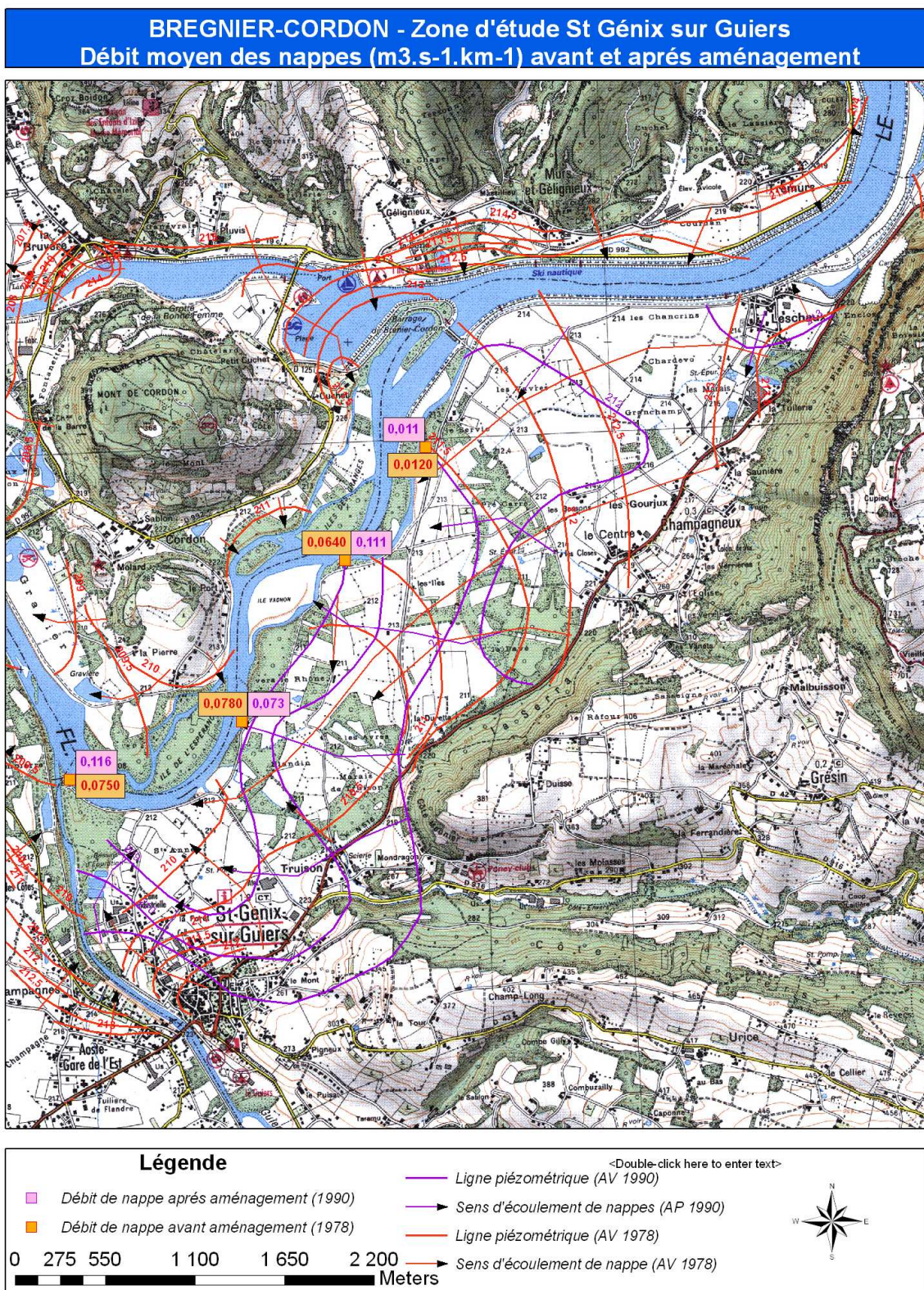


Figure 58. Débits de nappe évalués avec la formule de Darcy dans le secteur de Saint-Genix-sur-Guiers
 Les débits de nappes sont exprimés en m³/s/km

• **Bilan** (Figures 59. et 60.)

Débits de nappe calculés avec les perméabilités							
Rive	Secteur	Position PK	Avant aménagement		Après aménagement		Tendance
			Gradient i (%)	Q (m ³ .s ⁻¹ .km)	Gradient i (%)	Q (m ³ .s ⁻¹ .km)	
GAUCHE	La Charrière	116 à 112	0,17	0,005	0,06	0,002	≡ (↘)
	Les Rubattiers	110,8 à 106	0,08	0,016	0,06	0,012	≡ (↘)
	Saint-Genix-sur-Guiers	106 à 98,5	0,18	0,057	0,24	0,078	↗
DROITE	Bovinel	112 à 109	0,16	0,031	0,14	0,027	≡ (↘)

Figure 59. Tendances d'évolution des débits de nappe fondées sur la perméabilité de la situation avant aménagement et après aménagement

Les valeurs calculées dans les secteurs de Bovinel et de Saint-Genix-sur-Guiers sont des moyennes des valeurs de débit et de gradient données dans les tableaux précédents.

Tendance : évolution du débit de nappe après aménagement

≡ (↘) : stabilité (légère diminution du débit de nappe)

≡ (↗) : stabilité (légère augmentation du débit de nappe)

↗ : augmentation du débit de nappe

Débits de nappe calculés avec les Transmissivités							
Rive	Secteur	Position PK	Avant aménagement		Après aménagement		Tendance
			Gradient i (%)	Q (m ³ .s ⁻¹ .km)	Gradient i (%)	Q (m ³ .s ⁻¹ .km)	
GAUCHE	La Charrière	116 à 112	0,17	0,017	0,06	0,006	↘
	Les Rubattiers	110,8 à 106	0,08	0,041	0,06	0,029	↘
	Saint-Genix-sur-Guiers	106 à 98,5	0,18	0,025	0,24	0,026	≡ (↗)
DROITE	Bovinel	112 à 109	0,16	0,078	0,14	0,068	↘

Figure 60. Tendances d'évolution des débits de nappe fondées sur la transmissivité de la situation avant aménagement et après aménagement

Les valeurs des secteurs de Bovinel et de Saint-Genix-sur-Guiers sont des moyennes des valeurs de débit et de gradient données dans les tableaux précédents.

Tendance : évolution du débit de nappe après aménagement

≡ (↘) : stabilité (légère diminution du débit de nappe)

≡ (↗) : stabilité (légère augmentation du débit de nappe)

↘ : diminution du débit de nappe

Que l'on travaille avec les perméabilités ou les transmissivités, les débits de nappe et les gradients ont tendance à diminuer sur les secteurs de La Charrière, des Rubattiers et de Bovinel. Cette diminution est plus marquée pour les valeurs calculées avec la perméabilité. Pour le secteur de Saint-Genix-sur-Guiers au contraire les débits de nappe et les gradients augmentent, notamment lorsqu'ils sont obtenus avec les transmissivités.

Pour chacun des secteurs précédents, on observe que la nappe est drainée par le fleuve ou par les contre-canaux. L'apport moyen des nappes après aménagement est de l'ordre de 0,034 [Calcul avec les transmissivités - Ecart type : 0,026 ; Min : 0,006 ; Max : 0,079] à 0,047m³/s/km [Calcul avec les perméabilités – Ecart type : 0,046 ; Min : 0,002 ; Max : 0,116]. Les gradients (%) quant à eux valent en moyenne 0,17 [Ecart type : 0,11 ; Min : 0,06 ; Max : 0,34].

Les apports des sources sont très faibles en regard des débits du Rhône et du Guiers son principal affluent. Les prélèvements quant à eux sont essentiellement effectués dans les nappes de Brégnier-Cordon pour l'irrigation (80 000m³ en 2005 soit 20%), pour l'industrie (121 000m³ en 2005 soit 30%) et pour l'AEP (202 000m³ en 2005 soit 50%). Cette répartition ne reflète par celle observée sur le Haut-Rhône¹⁵ où l'AEP représente plus de 96% des prélèvements contre 0,5% pour

¹⁵ Source : Atlas du bassin RMC, Eaux souterraines octobre 1995.

l'irrigation et 3,5% pour l'industrie. Les volumes concernant les rejets industriels et de STEP ne nous ont pas encore été communiqués.

- **Essai de calcul des débits de fuite des digues**

Les débits de fuite des digues ont été calculés avec la formule de Darcy sur la base des coupes transversales et des relevés piézométriques effectués au niveau des digues par la CNR. Pour le calcul nous avons fait l'hypothèse que la perméabilité valait 5.10^{-3} et que l'épaisseur utile d'alimentation était de 2m (Figures 61. et 70.).

Les débits de fuite des digues sont en moyenne bien supérieurs aux débits de nappe moyens ($Q_{moyen}=0,154m^3/s/km$; Ecart type=0,142 ; Min = 0,033 ; Max=0,426).

Ainsi, il apparaît d'une manière générale que les fuites des digues apportent plus d'eau au contre-canal que les nappes. Sur le secteur des Rubattiers le débit de fuite est compris entre 0,174 et $0,051m^3/s/km$, alors que le débit de nappe moyen est compris entre 0,012 et $0,029m^3/s/km$.

ETUDE DES DIGUES								
Rive	Secteur	Position	dh (m)	dl (m)	Gradient i (%)	A (m ²)	K (m ³ .s ⁻¹)	Q (m ³ .s ⁻¹ .km ⁻¹)
GAUCHE	Les Rubattiers	PK 109,975	0,4	23	1,74	2000	5.10^{-3}	0,174
	Les Rubattiers	PK 108,020	0,9	235	0,38	2000	5.10^{-3}	0,038
	Les Rubattiers	PK 106,190	0,5	99	0,51	2000	5.10^{-3}	0,051
	St-Genix/Guiers	PK 104,620	0,3	33	0,91	2000	5.10^{-3}	0,091
	St-Genix/Guiers	PK 102,670	2,5	33	7,58	2000	5.10^{-3}	0,758
	Tressage	PK 99,990	2	47	4,26	2000	5.10^{-3}	0,426
DROITE	La Bruyère	PK 98,300	0,8	70	1,14	2000	5.10^{-3}	0,114
	Murs-Géligneux	PK 103,200	1	33	3,03	2000	5.10^{-3}	0,303
	Murs-Géligneux	PK 106,620	0,1	30	0,33	2000	5.10^{-3}	0,033

Figure 61. Débit de fuite des digues dans les contre-canaux

III.2.1.2. Estimation des débits de nappe fondée sur les débits des contre-canaux (Figure 67.)

- **Objectifs : représentation et quantification des échanges nappes/rivière**

A partir des données géographiques et hydrauliques existantes sur l'aménagement hydraulique de Brégnier-Cordon, il s'agit de mettre au point une méthode qui permette de représenter et de quantifier les échanges nappe/Rhône, et qui soit a priori extensible à tous les tronçons du Rhône présentant une structure semblable. On privilégiera donc les données qui ont une forte probabilité d'exister sur « tout », ou au moins une part importante, du cours du Rhône (données IGN, CNR ou/et EDF, BRGM), par rapport aux études spécifiques souvent très intéressantes, toujours locales, mais contenant des données souvent non-homogènes et donc délicates à intégrer à une base de données SIG.

Les aménagements hydrauliques de la CNR et d'EDF ont modifié le cours du Rhône, et en particulier les relations entre le cours d'eau et les nappes associées (Source : données CNR avant et après aménagement selon convention CNR/EMSE 2006). Il est donc fondamental de prendre en compte ces aménagements quel que soit le bilan que l'on souhaite effectuer, local ou global. Par ailleurs, ces aménagements ont conduit à faire plusieurs études préparatoires, des contrôles, des suivis, qui constituent un fond documentaire très complet qui n'existerait pas si ces équipements n'avaient pas été réalisés.

Ce travail de démonstration a aussi été réalisé en pensant à sa généralisation ; la saisie de données a été effectuée de manière très détaillée sur Brégnier-Cordon pour illustrer la méthode, mais cela ne sera pas nécessaire partout.

- **Données utilisées :**

IGN : à la base se trouvent les données issues du Scan25 de l'IGN ; outre le tracé de détail du réseau hydrographique, dans l'optique qui nous intéresse les thèmes suivant aident à comprendre les relations nappe/rivière, même si les nappes ne sont pas des objets géographiques définis en tant que données IGN et donc non représentés sur ces cartes :

- 1) la présence ou l'absence de digues et de contre-canaux, et sur ceux-ci de points de relevage, de siphons, d'aqueducs, ou déversoirs... (ces objets ponctuels ou souterrains ne figurent pas tous sur le Scan25) ;

- 2) les données topographiques, points cotés et courbes de niveau, à la base de tout fonctionnement gravitaire ;

- 3) les ouvrages hydrauliques, tels que les barrages, les seuils, les usines hydroélectriques, les écluses dans la zone navigable, les pompes et les sources (karstiques) les plus importants.

Il y a là un ensemble de renseignements déjà très riche, et surtout disponible de manière homogène sur tout le territoire français. Il manque pour l'instant une donnée importante, celle de la cote de la surface de l'eau du Rhône pour un débit moyen. C'est un manque important pour bien comprendre le fonctionnement hydraulique sur la base de la seule carte IGN, mais cela est en partie comblé par les données CNR très précises sur certains tronçons. Les intersections des courbes topographiques avec le cours d'eau permettent d'obtenir une valeur approchée, mais ces intersections sont dans beaucoup de cas impossibles à repérer avec précision, le thème est au plus bas niveau de dessin des thèmes cartographiés.

D'autres données d'origine IGN sont les photographies aériennes. Sur Brégnier-Cordon ont été utilisées les missions 2005_FD01 et IFN_1981, la première donne l'état actuel ou presque, la seconde l'état en 1981, alors que la construction de l'aménagement était en cours (mise en service en 1984). Utilisées en couples stéréoscopiques, les photos aériennes permettent de préciser certains points importants qui ne figurent pas sur le Scan25, en évitant des contrôles sur le terrain. Par exemple, les entrées rive droite et sorties rive gauche du siphon qui draine le contre-canal rive droite près du barrage de Brégnier-Cordon - Champagneux sont parfaitement visibles sur les photos de 2005, et ne figurent pas sur le Scan25.

CNR : les données fournies par la CNR (Figure 63.) sont essentiellement des données hydrauliques sur l'aménagement et son voisinage. La plupart sont antérieures à l'aménagement et ont été utilisées pour sa réalisation, d'autres sont postérieures pour suivre la mise en eau et assurer la maintenance des équipements. Dans certains cas, le but était de compléter ou réparer des défauts constatés de l'aménagement. D'autres données fournissent une vision dynamique avant-pendant-après des modifications du fonctionnement hydraulique du système.

Les données utilisées sont :

- 1) les relevés piézométriques des nappes (basses, moyennes et hautes eaux) avant aménagement en 1978-79.

- 2) Les relevés piézométriques (basses eaux) après aménagement 1991-92 (seulement la zone en amont de la confluence du Guiers, plaine de Champagneux) [ces données CNR sont contenues dans le rapport de Rampoux (1992)]. Ces relevés montrent entre autres l'inversion du mode de fonctionnement de la nappe en rive gauche au nord de Champagneux. Avant l'aménagement, elle

alimentait le Rhône, aujourd'hui elle est alimentée par le contre-canal, ce que confirment les données de jaugeage.

3) Les mesures moyennes de jaugeage des exutoires des contre-canaux. Il s'agit d'une donnée précieuse pour tenter d'évaluer le débit actuel d'apport de la nappe à la rivière, ou l'inverse. Ces jaugeages permettent aussi de subodorer la présence d'apports karstiques en certains endroits (*à vérifier sur le terrain*) : en extrémité amont d'un contre-canal, le jaugeage indique un débit moyen annuel de $0,5\text{m}^3/\text{s}$.

4) La localisation des pK. Le positionnement des ouvrages CNR et des équipements annexes, en particulier les limnigraphes (avec les mesures et chroniques de débits associés) se réfèrent à ces pK. On a ainsi les débits moyens d'entrée à Brens, c'est-à-dire à la confluence en aval de La Balme, le débit moyen du Guiers et le débit moyen en sortie au pont d'Evieu. Le débit du Gland manque. Comme les jaugeages, ces débits sont appréciés avec une précision de $\pm 20\%$.

5) Le profil en long de la ligne de basses eaux dans le secteur de Brégnier-Cordon. Ce profil est très détaillé. Le schéma ci-dessous (Figure 62.) représente d'une manière simplifiée l'ensemble de l'aménagement avec les cotes de basses eaux. En respectant la terminologie CNR l'aménagement comprend quatre secteurs : (1) en amont à partir de Brens (confluence Vieux-Rhône de Belley, canal de Belley et rivière le Furans) **le Rhône vif**, (2) puis le **Rhône endigué** qui commence 2,5km en aval et, après le barrage de Champagneux, d'une part (3) **le canal de dérivation, ou d'amené**, qui conduit l'eau à l'usine hydroélectrique de Brégnier-Cordon, et d'autre part, en parallèle, (4) **le Vieux-Rhône** tronçon court-circuité correspondant à l'ancien cours du Rhône. Canal de dérivation et Vieux-Rhône se rejoignent en aval de l'usine hydroélectrique environ 400m avant le pont d'Evieu.

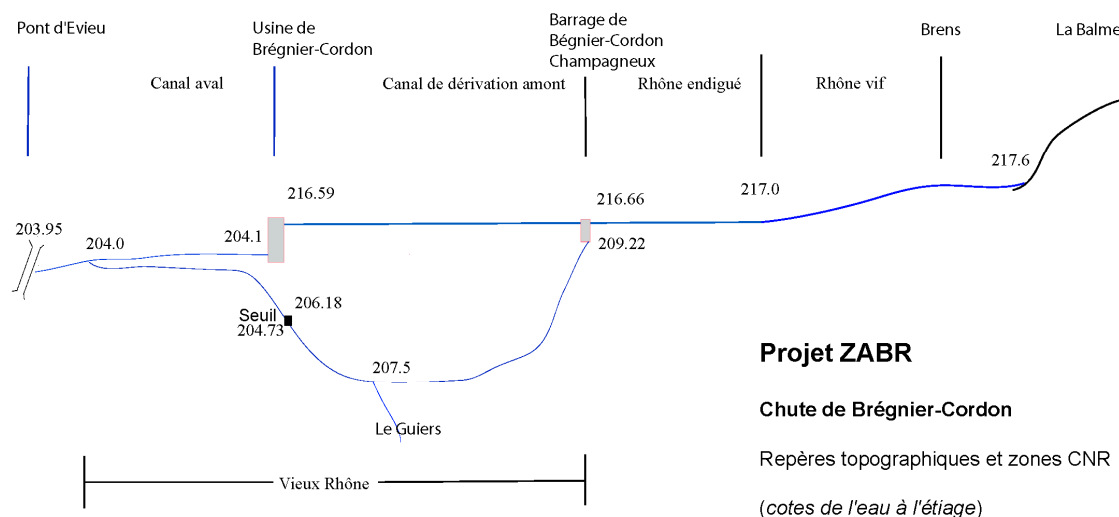


Figure 62. Présentation schématique de la topographie de l'aménagement de Brégnier-Cordon.

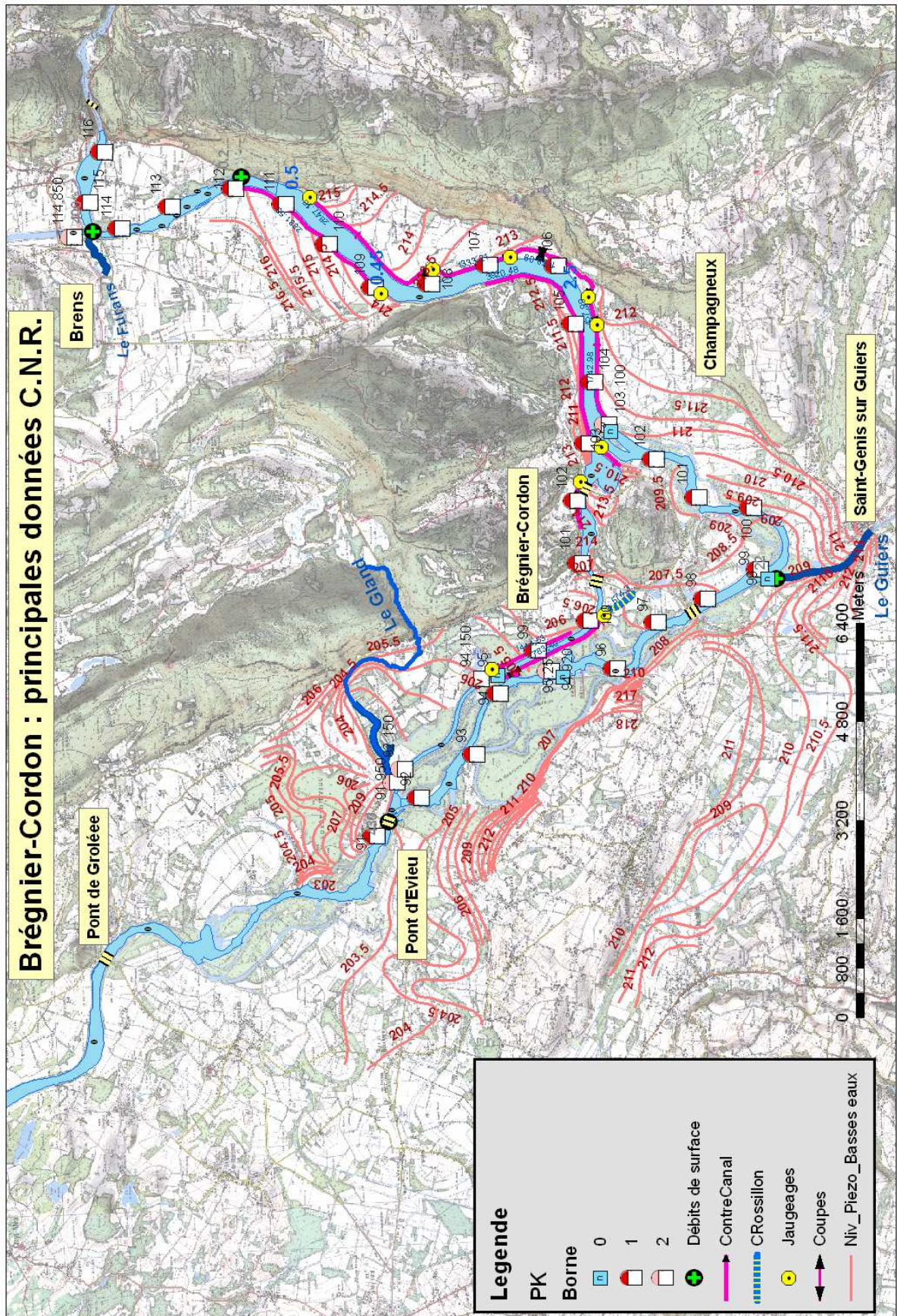


Figure 63. Principales données CNR sur la chute de Brégnier-Cordon

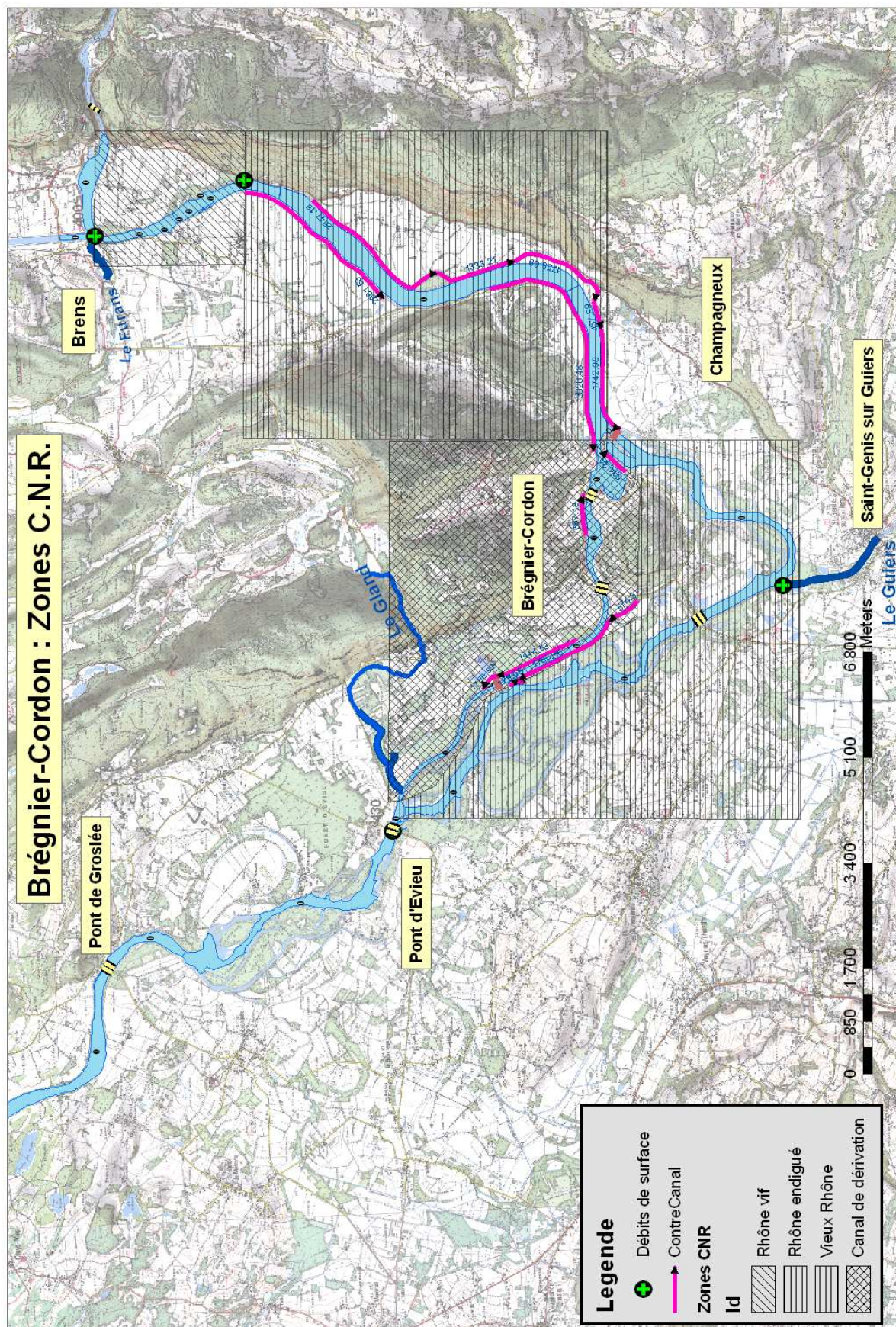


Figure 64. Découpage de la chute CNR de Brégnier-Cordon

• **Evaluation des échanges nappe-rivière en fonction des aménagements**

Cette évaluation dépend du secteur CNR considéré (Figure 64.) avec, éventuellement, la prise en compte de situations locales particulières ; du secteur le mieux renseigné sur ce plan à celui qui l'est le moins :

1) Les secteurs endigués (Rhône endigué, canal de dérivation amont). La digue a pour but de maintenir le niveau de l'eau du fleuve au-dessus de sa position d'origine de manière à « créer » une hauteur de chute exploitable (13m à Brégnier-Cordon). Il y a donc une digue sur les deux rives, sauf lorsque la topographie place les terrains au-dessus du niveau de l'eau, c'est le cas par exemple en rive droite et en rive gauche à la Bruyère au sud du village de Brégnier-Cordon (Maison des Isles). Les coupes piézométriques montrent que la digue est plus ou moins étanche par construction et/ou par colmatage sur sa surface coté eau vive. Le long de la digue, un contre-canal a pour fonction de drainer d'une part les eaux d'infiltration et de fuite de la digue, et d'autre part les eaux de la nappe et des ruisseaux, qui ne peuvent plus s'écouler dans la rivière. L'exutoire du contre-canal se fait si possible de manière gravitaire (4 exutoires de ce type sur Brégnier-Cordon) en aval d'un ouvrage de retenue, éventuellement avec un passage en siphon sous le canal de dérivation (1 siphon sur Brégnier-Cordon), sinon par une station de relevage (1 station sur Brégnier-Cordon).

A l'étiage, le débit dans le contre-canal correspond au débit de fuite de la digue et au débit de la nappe, augmenté éventuellement de celui des petits ruisseaux et des sources. Les débits moyens annuels (estimés à 20 % près) sont fournis par la CNR sur tous les contre-canaux de l'aménagement en divers points de jaugeage. La longueur des contre-canaux est très précisément issue de la carte IGN.

Là où existent des contre-canaux (sur environ 20km sur les 90km de berges de l'aménagement) les échanges sont donc bien établis et quantifiés ; on peut calculer un débit moyen par kilomètre de contre-canal ; il est de l'ordre de 0,14 à 0,30m³/s/km pour chacun des tronçons jaugés. Les échanges contre-canal vers nappe sont connus avec moins de précision, en rive gauche au nord de Champagneux (aqueduc souterrain de Leschaux et contre-canal jusqu'au barrage ; perte mesurée de 0,30m³/s dans l'aqueduc, et estimée de l'ordre de 0,60m³/s dans le canal). Sur le canal aval de l'usine hydroélectrique où le niveau de l'eau est « normal » (c'est un canal artificiel), une digue existe en rive gauche, mais elle n'est pas doublée d'un contre-canal. On suppose que la nappe se raccorde normalement au cours d'eau et s'équilibre avec lui.

Cependant, il apparaît après une visite sur le terrain qu'une forte proportion du drainage des contre-canaux provient du débit de fuite des digues, tandis qu'une partie mineure provient des nappes.

2) Sur le Rhône vif, les relations nappes-rivière n'ont en principe pas été fondamentalement modifiées ; à la sortie du défilé de la Balme (1650m en amont de Brens) le Vieux-Rhône (de La Balme) alimente la nappe en rive gauche, et après la confluence de Brens (Vieux-Rhône de La Balme, canal de dérivation de Belley et Furans), c'est l'inverse. A priori le bilan devrait être légèrement positif en raison de probables arrivées karstiques dans les alluvions le long de la RN516 (au sud se trouve le déversoir artificiel des eaux d'épuration de la ville du Bourget du Lac : 0,20m³/s).

3) Le dernier secteur est celui du Vieux-Rhône, où les modifications hydrauliques liées à l'aménagement CNR devraient être faibles. La modification essentielle concerne le débit du fleuve ; une forte proportion étant dérivée, le Vieux-Rhône est souvent au débit réservé (25m³/s, puis 65m³/s), et seules les crues y donnent des débits importants (au-dessus de 800m³/s - semble-t-il - l'usine est stoppée, et tout passe dans le Vieux-Rhône). Actuellement nous disposons seulement de données post-aménagement concernant la nappe de la plaine de Champagneux – Saint-Genix-sur-Guiers en rive gauche du Rhône. La piézométrie de cette nappe est affectée au nord par l'inversion des échanges signalée précédemment, et au sud par un important pompage d'AEP situé au nord de

Saint-Genix-sur-Guiers qui crée un rabattement de la nappe d'au moins 1,0m à 1,5m, et probablement plus dans le centre du cône de rabattement.

- **Essai méthodologique :**

Sur le secteur de Brégnier-Cordon, les contre-canaux jaugés représentent environ 20km d'allongement sur les 90km de rives de l'aménagement, donc une longueur significative des zones d'échange. Les échanges nappe/Rhône mesurés varient de 0,14 à 0,30m³/km/s. Un segment monte à 0,625 m³/km/s mais il comprend au moins une source karstique connue, au débit mal évalué.

Le problème est que ces valeurs englobent les eaux venues des nappes, et celles venues des digues dont on rappellera que le matériau ayant servi à leur construction est constitué pour l'essentiel par les alluvions issues du creusement du canal de dérivation, avec en plus un important colmatage sur le parement coté eau vive (les enrochements de protection des parements des canaux ont une autre origine ; carrières probablement, mais leur comportement hydraulique influe sûrement très peu).

Il s'agit de déterminer les débits issus des nappes et ceux issus des digues dans l'alimentation de contre-canaux en choisissant des zones où les apports superficiels peuvent être négligés en basses-eaux. Sur cette thématique, l'utilisation de bioindicateurs pourra être précieuse.

Observations complémentaires (Figure 65.et 66.)

Au sud du pont de Brégnier-Cordon, en rive gauche du canal de dérivation, un canal de drainage (au lieu-dit « Rossillon ») de 530m de long environ a été creusé au pied de la haute terrasse d'alluvions du Würm (cote 226-227m). La nappe dans le Würm doit être alimentée au nord par le canal de dérivation (cote de l'eau : 217m). Des écoulements sont très nettement visibles en de nombreux endroits sur la berge droite du canal de « Rossillon », c'est à dire en provenance de la nappe de la terrasse wurmienne, et un tube de décharge montre une remontée artésienne d'environ 30-35cm de même origine. Ce canal à son extrémité (cote 208m environ) se trouve à environ 500m du canal de dérivation (cote 21 m, précise), il reçoit là un faible apport d'eau par un tuyau qui draine vraisemblablement l'ancienne tranchée du chemin de fer aujourd'hui en partie comblée qui passe à environ 30m sur la terrasse. A son exutoire ouest, ce canal se jette dans le contre-canal (la coupe P99_990 située à proximité donne la cote précise 206m dans le contre-canal, ceci à environ 90m du canal de dérivation). Un jaugeage CNR donne un débit annuel moyen de 0,40 m³/s en ce point, mais sans que l'on puisse assurer qu'il s'agit du seul débit du canal de « Rossillon » ; une lône du Vieux-Rhône aboutit également en cet endroit, mais sa contribution au débit doit rester extrêmement faible en basses eaux.

Si l'on fait un calcul de Darcy approximatif de drainage de la nappe du Würm (fluvio-glaciaire grossier), en se positionnant dans la zone médiane du canal, on a un dH de 10m (217 – 207m) sur 320m environ, soit une pente hydraulique de 0,033. On obtient pour une section mouillée de 2500m² (perméabilité 8.10⁻³) un débit de 0,66m³/s/km (soit 0,35m³/s pour les 530m du canal). A l'extrémité est du canal la pente hydraulique est plus faible ; 217 – 208m sur 530m, et à l'extrémité ouest elle est plus forte ; 217 – 206m sur 100m environ.

Cette évaluation est approximative, mais elle est parfaitement cohérente avec les 0,4m³/s du jaugeage CNR à l'entrée du contre-canal, si l'on tient compte du fait que la cote de l'eau est fixe dans la dérivation.

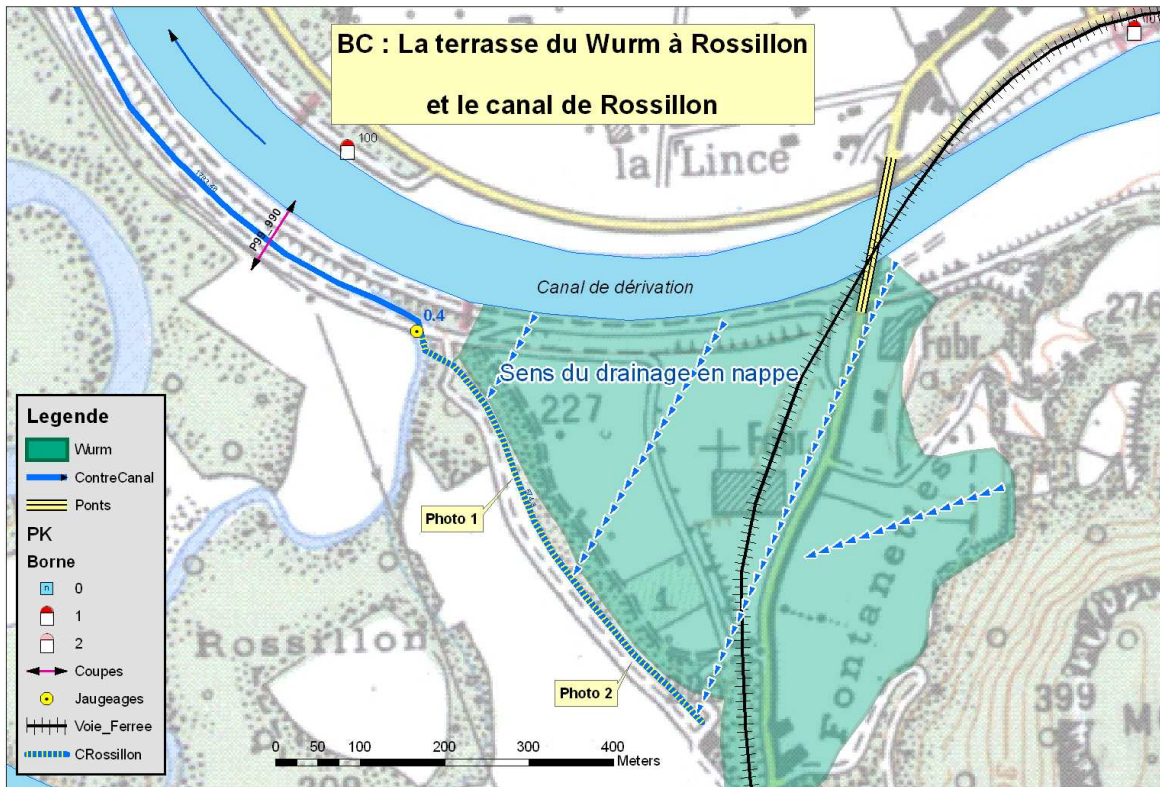


Figure 65. Carte du canal de Rossillon et la haute terrasse du Würm
Les lignes de flèches bleues donnent la direction probable des écoulements souterrains.



Figure 66. Photo 1, à gauche : les écoulements de la terrasse vers le canal, dans celui-ci les galets sans vase soulignent les arrivées d'eau par le fond du canal (sauf si ce canal est régulièrement curé). Photo 2, à droite : Tube de décharge avec eau jaillissante du canal de Rossillon. Les deux photos sont positionnées sur la carte de la figure 65.

Rappelons pour terminer, qu'à l'amont, le canal de dérivation du Rhône est sûrement la source principale de l'eau contenue dans la nappe de la terrasse wurmienne. Toutefois, après plusieurs centaines de mètres de parcours souterrain, dans cette terrasse, on peut considérer que l'échange au droit du canal de Rossillon est du type nappe vers rivière. A cet endroit, il ne s'agit pas du débit de fuite d'une digue, car il n'y pas de digue. De plus, les invertébrés prélevés dans les apports au canal sont caractéristiques des eaux de nappe, d'après D. Ferreira (communication orale 16/03/2007).

C'est le seul endroit à Brégnier-Cordon où l'on puisse corrélérer un jaugeage CNR à la contribution de la nappe.

Les apports possibles au travers des digues : il est possible de les évaluer à partir de 9 coupes transversales de digues fournies par les CNR sur Brégnier-Cordon. Ces coupes comportent les paramètres piézométriques des digues. On aboutit à des valeurs d'échange comprises entre 0,033 et 0,425m³/s/km. Bien que tirées de données très ponctuelles, ces valeurs apparaissent en bonne cohérence avec les débits moyens jaugés dans les contre-canaux (0,15 à 0,19m³/s/km),

- **Comparaison des apports des nappes et des débits de fuite des digues dans les contre-canaux**

Ces résultats conduisent à penser que les débits unitaires (par km) issus des nappes sont très faibles à l'étiage, les gradients hydrauliques des nappes étant souvent bien plus faibles que ceux relevés dans les digues (ceci bien sûr sans tenir compte du gradient extrêmement élevé lié au colmatage du côté en-eau des digues). Les gradients mesurés dans les digues sont de l'ordre de 0,33% et 4,25% ; ceux dans les nappes sont plutôt entre 0,06% et 0,32% d'après les relevés piézométriques de Brégnier-Cordon.

En tablant sur l'équivalence des matériaux constituant les digues et les aquifères naturels, ceux-ci devraient avoir des contributions unitaires (au km) de l'ordre de 0,007m³/s/km à 0,034m³/s/km.

A titre d'évaluation (très grossière), sur les 90 – 20 = 70km de rives de l'aménagement de Brégnier-Cordon, ces valeurs conduisent à des débits de l'ordre de 0,5 à 2,4m³/s pour la contribution des nappes au débit du Rhône dans les zones sans endiguement (il faut rajouter ce qui est collecté dans les contre-canaux : 0,14 à 0,68 m³/s). Au total l'évaluation conduit à 0,64 à 3,1m³/s entre Brens et le pont d'Evieu pour un débit moyen du Rhône de l'ordre de 414 et 434m³/s en entrée et sortie du système (Le Giers jaugeant 17m³/s, et le Gland 2 à 5 peut-être).

Il faudra évidemment valider cette approche sur d'autres tronçons du Rhône en la confrontant à des données de débits connues lorsqu'elles existent. De plus, il convient de vérifier la cohérence avec les données de végétation aquatiques et d'invertébrés souterrains.

- **Généralisation :**

Si sur tout le cours du Rhône on dispose des données CNR équivalentes à celle de Brégnier-Cordon, il est alors possible de vérifier de proche en proche les débits d'échange au droit des contre-canaux et des aquifères. En prenant en compte les variations de perméabilité les plus importantes, ceci permettrait d'étendre l'évaluation sur tout le cours du fleuve suivant une méthodologie homogène.

Il sera toutefois nécessaire de disposer localement de données directes sur les débits d'échange afin de recalibrer ce modèle et en vérifier dans une certaine mesure le bien fondé.

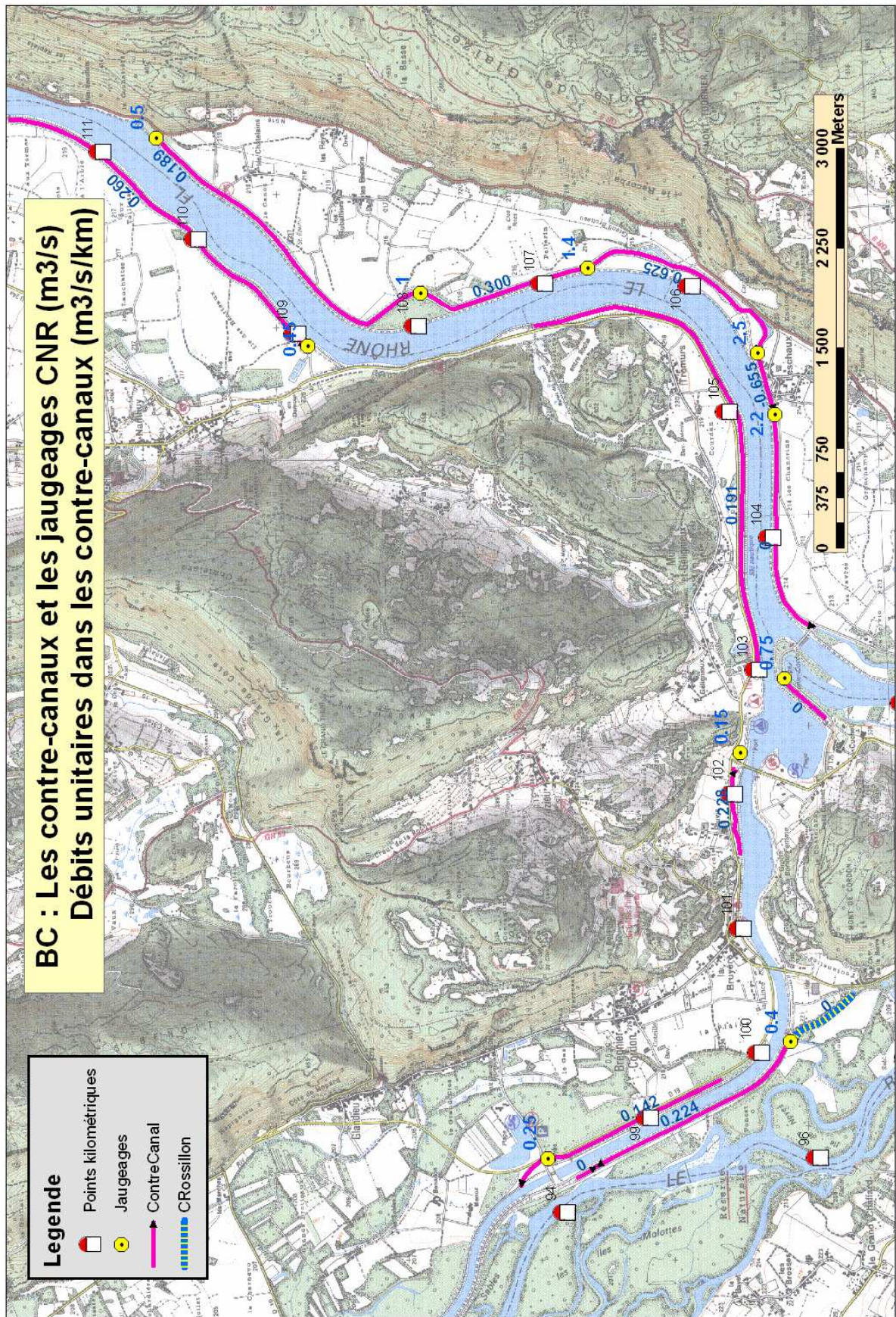


Figure 67. Localisation des débits des contre-canaux.

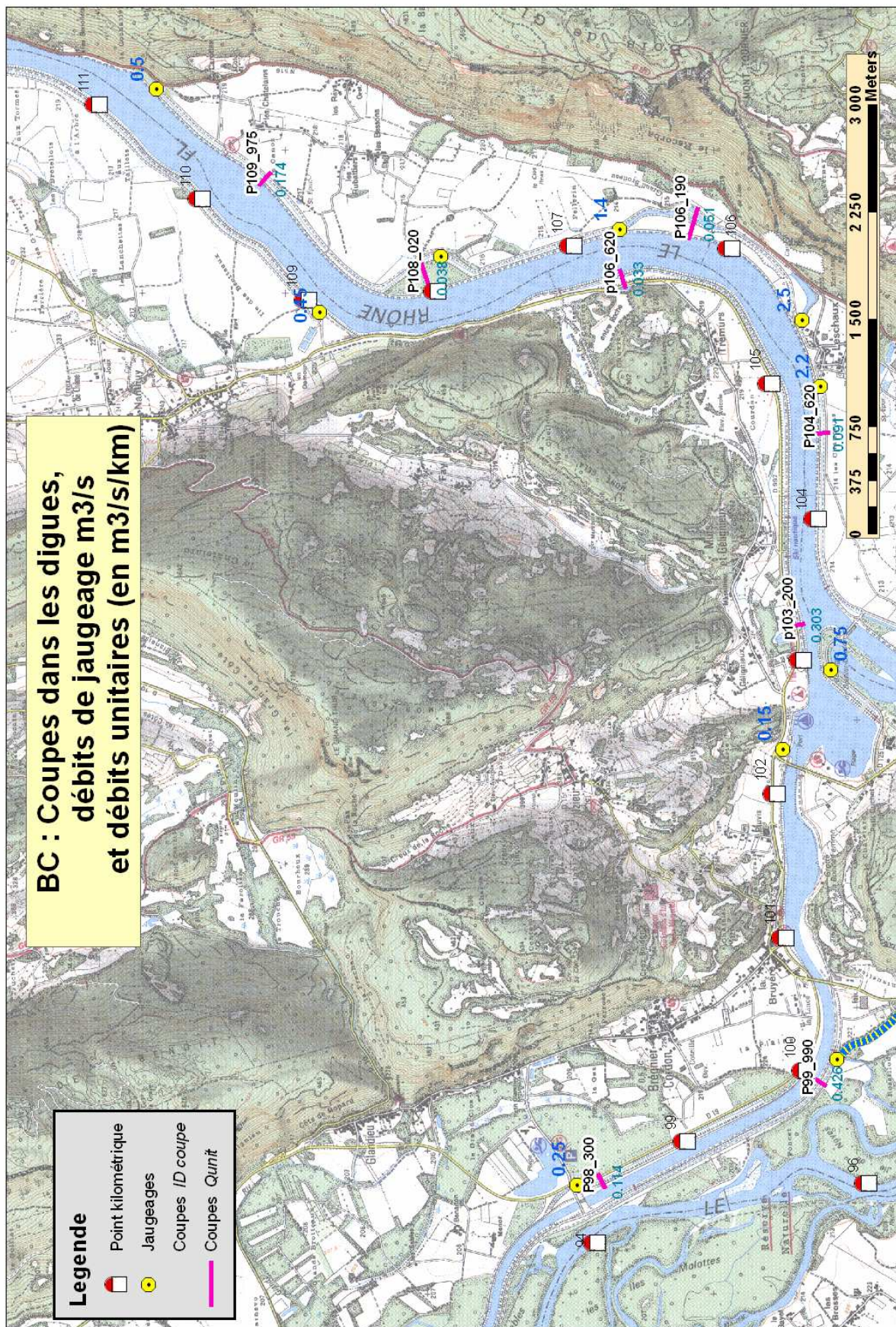


Figure 68. Localisation des débits de fuite des digues du Rhône alimentant les contre-canaux.

La présentation¹⁶ de ces premiers résultats de la dimension physique à la CNR à et l'Agence de l'eau a soulevé quelques questions et remarques dont il conviendra de tenir compte pour la suite de l'étude. Ainsi, il apparaît nécessaire :

- de vérifier que le calcul des débits de fuite des digues a été effectué en prenant comme niveau haut la piézométrie mesurée au pied des digues et non celle de la ligne d'eau du Rhône. Le niveau bas considéré reste celui du contre-canal. D'après la CNR les digues sont aujourd'hui colmatées et les fuites sont ponctuelles ;
- de modifier la légende de certaines cartes afin de mieux différencier les piézométries avant et après aménagement ;
- d'indiquer sur les cartes, quand l'information est disponible, les points qui ont servi à dresser les cartes piézométriques ;
- d'afficher un bilan des échanges hydriques plus lisible.

III.2.1.3. Ce que dit la littérature des relations d'échange nappes/Rhône à Brégnier-Cordon

Selon les hypothèses posées par Schindler (2006) le Rhône draine la nappe de Brens au pont d'Evieu, sauf sur toute la longueur de la dérivation où les échanges sont inexistant. Avec les calculs de débits de nappe nous avons pu vérifier que le Rhône draine la nappe entre Brens (fin de la chute de Belley) et Saint-Genix-sur-Guiers (confluence avec le Guiers). Il apparaît toutefois qu'une partie des eaux du Rhône s'infiltré dans les digues et s'écoule dans les contre-canaux.

Selon Michal (1988), il est établi qu'en rive gauche au niveau des Chatelains et du barrage de Champagneux le contre-canal reçoit les eaux du Rhône qui percolent à travers la digue (de manière plus ou moins intense en fonction du colmatage par les fines) et les eaux des fossés de drainage de la plaine. Une étude fondée sur des mesures de conductivité et température montre que :

- au niveau des Chatelains (secteur des Rubattiers) le contre-canal draine la nappe ;
- au niveau de Leschaux (secteur de Saint-Genix-sur-Guiers) les apports sont plus importants dans le contre-canal car le Rhône alimente la nappe.

Ceci doit être confirmé par les analyses physico-chimiques et l'échantillonnage d'invertébrés souterrains et de macrophytes.

Le débit des nappes a globalement diminué suite aux aménagements sauf sur le secteur de Saint-Genix-sur-Guiers.

De plus, compte-tenu de la faiblesse des débits des sources, les contributions des massifs calcaires semblent vraiment actuellement très limitées. Les rejets et les prélèvements effectués sur le secteur ne semblent pas beaucoup modifier le fonctionnement des nappes outre le pompage AEP de Saint-Genix-sur-Guiers.

L'étude de Michal (1988) nous apporte des informations complémentaires sur les relations d'échange nappes/Rhône et sur les modes d'alimentation des nappes, notamment du point de vue des variations saisonnières. L'auteur a divisé la zone en 3 secteurs qui englobent notre propre sectorisation¹⁷ : le secteur amont correspondant à ce que nous avons appelé La Charrière, le secteur médian Les Rubattiers et le secteur Aval Saint-Genix-sur-Guiers. Cette sectorisation supplémentaire qui fait référence à d'autres données piézométriques est donc bien cohérente avec les analyses présentées en début de partie.

- **Secteur amont : boucle de La Balme (La Charrière)**

Sur cette zone le battement saisonnier des eaux du Rhône est évalué à 90cm et celui de la nappe à 1,90m. Nous sommes en présence d'une nappe superficielle dont la profondeur est

¹⁶ Réunion du 4 juillet 2007 à la CNR (Lyon).

¹⁷ Les secteurs définis par Michal (1988) sont indiqués en gras, ceux que nous avons choisis suivent entre parenthèses.

inférieure à 3m et dont le gradient hydraulique est faible car inférieur à 0,01% (Rampnoux, 1992). Les relations d'échanges semblent conditionnées par des variations saisonnières (Michal, 1988) :

- en régime de hautes-eaux (carte piézométrique du 29 mai 1986) le Rhône alimente la nappe essentiellement dans la partie nord selon une orientation est-ouest ;

- en régime de basses-eaux (carte piézométrique du 6 août 1986) la nappe est alimentée à partir du Rhône court-circuité au nord (chute de Belley) et drainée par le Mont Tournier.

Il y a donc une bonne synchronisation des eaux des nappes et du Rhône qui est ici primordial dans le comportement des nappes. La mise en service de l'aménagement de Belley en 1982 provoque une diminution de débit du Rhône court-circuité et une baisse du niveau de la nappe (20 à 80cm en moyenne pour les années 1983 à 1985) notamment en basses-eaux.

- **Secteur médian : boucle des Chatelains (Les Rubattiers)**

Sur cette zone le battement saisonnier du Rhône est évalué à 0,25m et celui de la nappe compris entre 0,51 à 1,14m. La profondeur de cette nappe est de l'ordre de 1m à 1,5m. On constate une baisse du niveau piézométrique à partir de 1985. Sur ce secteur les relations d'échanges sont encore une fois conditionnées par des variations saisonnières :

- en régime de basses-eaux (carte piézométrique du 6 novembre 1985) la nappe est alimentée par le Rhône. Selon la carte piézométrique des 6 et 7 août 1986, on observe que : 1) l'alimentation de la nappe se fait par le Rhône au Nord, 2) le Rhône draine la nappe à l'aval, 3) le drainage par le Rhône a lieu au nord, du fait de la présence du contre-canal ;

- en régime de hautes-eaux (carte piézométrique du 7 mai 1986) on observe 2 alimentations : 1) par le Rhône au Nord et 2) par le massif du mont Tournier lors de fortes pluies. Dans la partie aval, le Rhône draine la nappe.

- **Secteur aval : Leschaux - Saint-Genix-sur-Guiers (Saint-Genix-sur-Guiers)**

Sur ce secteur, la nappe superficielle a une profondeur de 1 à 2m et un battement de 1 à 0,75m. Cette nappe présente une bonne potentialité d'exploitation, même si l'épaisseur des alluvions, couvertes de limons argileux, ne dépassent pas 10m. Les secteurs les plus appropriés à l'exploitation sont ceux où l'on a des alluvions grossières, au contraire du secteur de Champagneux présentant des apports sableux. Toutefois, les risques de pollutions agricoles sont forts (Rampnoux, 1992).

Sur ce secteur, contrairement aux précédents, les relations d'échanges sont moins conditionnées par des variations saisonnières :

- en régime de basses-eaux (carte piézométrique du 6 novembre 1985) on observe 3 alimentations de la nappe : 1) par le Rhône entre Leschaux et le canal de dérivation de Brégnier-Cordon, 2) par les versants entre le lieu-dit Le Centre et Saint-Genix-sur-Guiers, 3) par le Guiers à l'ouest. De plus, on observe un plus fort gradient hydraulique au niveau des versants et du Guiers. Il existe un chenal bien marqué en basses-eaux parallèle au fleuve à Leschaux (ancien tracé du Rhône). L'étude de la carte piézométrique des 6 et 7 août 1986 montre (sur le secteur de Leschaux) que la nappe est plus fortement alimentée par le Rhône que par le Guiers et les versants, et que le Rhône court-circuité la draine légèrement.

- en régime de hautes-eaux (carte piézométrique du 7 mai 1986), la situation est semblable. Il n'y a pas de modification du comportement de cette nappe avant et après aménagement.

La nappe de la basse vallée de Saint-Genix-sur-Guiers est peu connue. Elle se développe depuis le pont de Beauvoisin et alimente le Rhône.

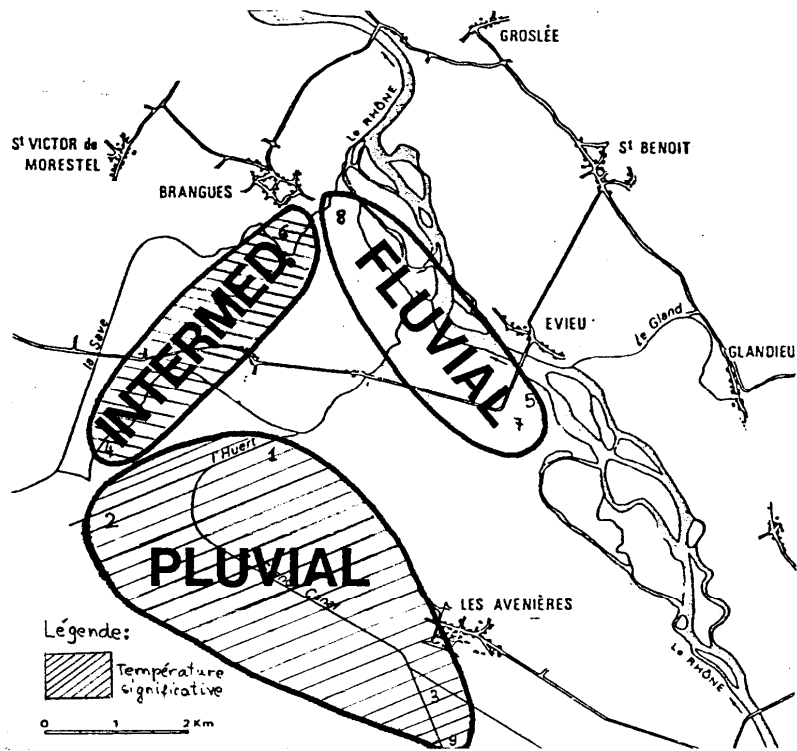


Figure 69. Classification des nappes à l'aval de Brégnier-Cordon (Košmelj, 1982)

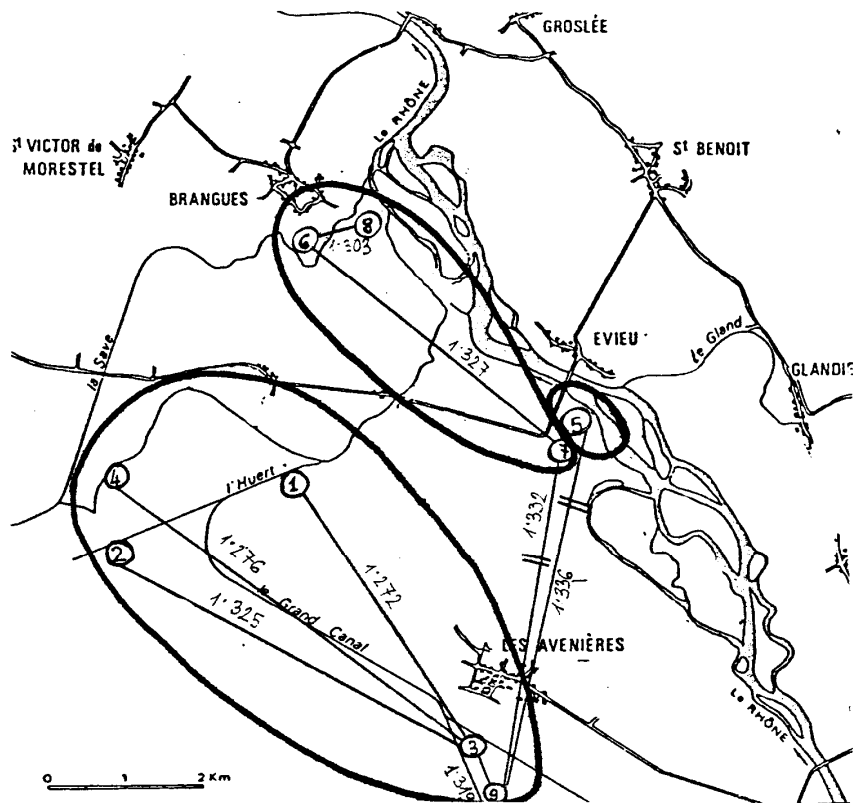


Figure 70. Relations entre nappes à l'aval de Brégnier-Cordon (Košmelj, 1982)

Nous n'avons pas obtenu pour l'instant la carte piézométrique du secteur situé entre la confluence avec le Guiers et le pont d'Evieu, et sur la dérivation. Toutefois, un travail de classification des nappes, fondé sur une méthodologie statistique a été réalisé sur ce secteur et à l'aval en rive gauche. Ainsi, Košmelj (1982) définit 3 types de nappes (Figure 69. contenant le n° des nappes identifiées):

- les nappes dites fluviales dont le niveau est plus fortement corrélé avec le débit du Rhône qu'avec la pluviométrie. Spatialement, il s'agit des nappes numérotées 5, 7, 8 dans la figure suivante. La nappe 5 est particulièrement influencée par le débit du Rhône dont elle suit le niveau. Ces nappes sont situées sur une bande parallèle au Rhône, large d'environ 1,5km selon l'axe « Les Nappes », « Cessenoud » et « Brangues » ;

- les nappes dites pluviales au niveau plus fortement corrélé avec la pluie. Spatialement, il s'agit des nappes numérotées 1, 2, 3 et 9 situées dans une zone traversée par le Canal de l'Huert et circonscrit par Les Avenières, Veyrins-Thuellin, « Buissin » et « Mézière » ;

- les nappes dites intermédiaires dont le niveau présente 2 corrélations du même ordre avec la pluie et le débit du Rhône. Spatialement, il s'agit des nappes numérotées 4 et 6 localisées sur une bande perpendiculaire au Rhône selon l'axe Le Molard, Le Bouchage, Brangues.

De plus pour les nappes pluviales et intermédiaires, les niveaux sont corrélés négativement avec la température de l'air.

Les méthodes statistiques utilisées permettent aussi d'envisager les nappes en fonction de leurs relations. Selon Košmelj (1982) il apparaît que (Figure 70.) :

- la nappe 5 se distingue en tant que système particulier sans relation avec les autres car elle se situerait dans l'ancien lit du Rhône ;

- les nappes 6, 7 et 8 proches du chenal du Rhône sont en liaison souterraine ;

- les nappes 1, 2, 3, 4 et 9 proches du canal de l'Huert sont reliées par des courants d'eau.

Il s'agit d'une représentation très schématique, mais qui corrobore nos évaluations d'échanges à partir d'autres types de données (niveaux piézométriques, débits du Rhône, pluviométrie). Elle introduit par ailleurs un niveau de complexité (relations entre les nappes) et de détail qui peut s'avérer utile pour expliquer ultérieurement la variation des échanges en fonction de l'hétérogénéité des nappes et en fonction de la saison.

III.2.2. Du point de vue de la physico-chimie - conductivité

Sur la base des données acquises sur la géomorphologie, l'hydrogéologie et la physico-chimie des eaux superficielles et interstitielles, Creuzé des Châtelliers (1991) a pu différencier trois zones particulières (Figure 71.) :

- **Zone A (alimentation de la nappe par le fleuve)** correspondant à la zone en aval immédiat du barrage (stations 1, 2 et 3) où la mise en débit réservé du chenal court-circuité induit l'abaissement durable de la ligne d'eau et le drainage de la nappe. Les écoulements souterrains sont directement influencés par la présence du barrage, qui maintient les eaux de la retenue à une cote élevée, et induit donc des infiltrations d'eaux superficielles au niveau des berges à travers les alluvions. Ces eaux ressortent plus en aval dans les alluvions du fleuve. Ces échanges se traduisent par des eaux interstitielles fortement bicarbonatées et siliceuses, plus fraîches en été et plus chaudes en hiver que les eaux de surface.

- **Zone B (le fleuve draine la nappe)** correspondant à la zone de confluence avec le Guiers (station 7) jusqu'au pont de Cordon (station 9) où le sous-écoulement du Rhône rentre en contact avec le sous-écoulement du Guiers et des eaux phréatiques descendant de la plaine d'Aoste. Directement influencées par les eaux de nappe, les eaux interstitielles se caractérisent dans cette

zone par leurs températures et leurs conductivités plus élevées que celles des eaux superficielles, ainsi que par des taux d'oxygénation parmi les plus importants relevés sur l'ensemble des stations.

- **Zone C (échanges limités)** correspondant à la zone allant du pont de Cordon (station 9) jusqu'à la restitution des eaux du canal d'amenée (station 16) où la dynamique fluviale est moins active en relation avec l'élargissement de la bande d'écoulement et les plus faibles ruptures de pentes (réduction des vitesses d'écoulement), limitant donc les échanges entre les nappes phréatiques et le sous-écoulement du Rhône. Les faibles taux d'oxygénation des eaux interstitielles ainsi que leurs fluctuations thermiques proches de celles des eaux superficielles traduisent de faibles vitesses de circulation des eaux dans le sous-écoulement du Rhône.

Ce découpage correspond au secteur hydrophysique de Saint-Genix-sur-Guiers jusqu'au Pont d'Evieu. Dans la zone A, les apports de nappes sont compris entre 11 l/s/km et 111 l/s/km ce qui est a priori contradictoire avec l'approche physico-chimique. Dans la zone B où les apports sont compris entre 73 et 116 l/s/km la tendance est identique. Pour la zone C la comparaison n'est pas possible actuellement faute de données hydrauliques.

Pour la zone A, il devient donc intéressant de connaître la tendance du point vue biologique. Pour la zone C, on dispose d'une première indication sur les échanges qui restent à confirmer du point vue biologique et hydraulique.

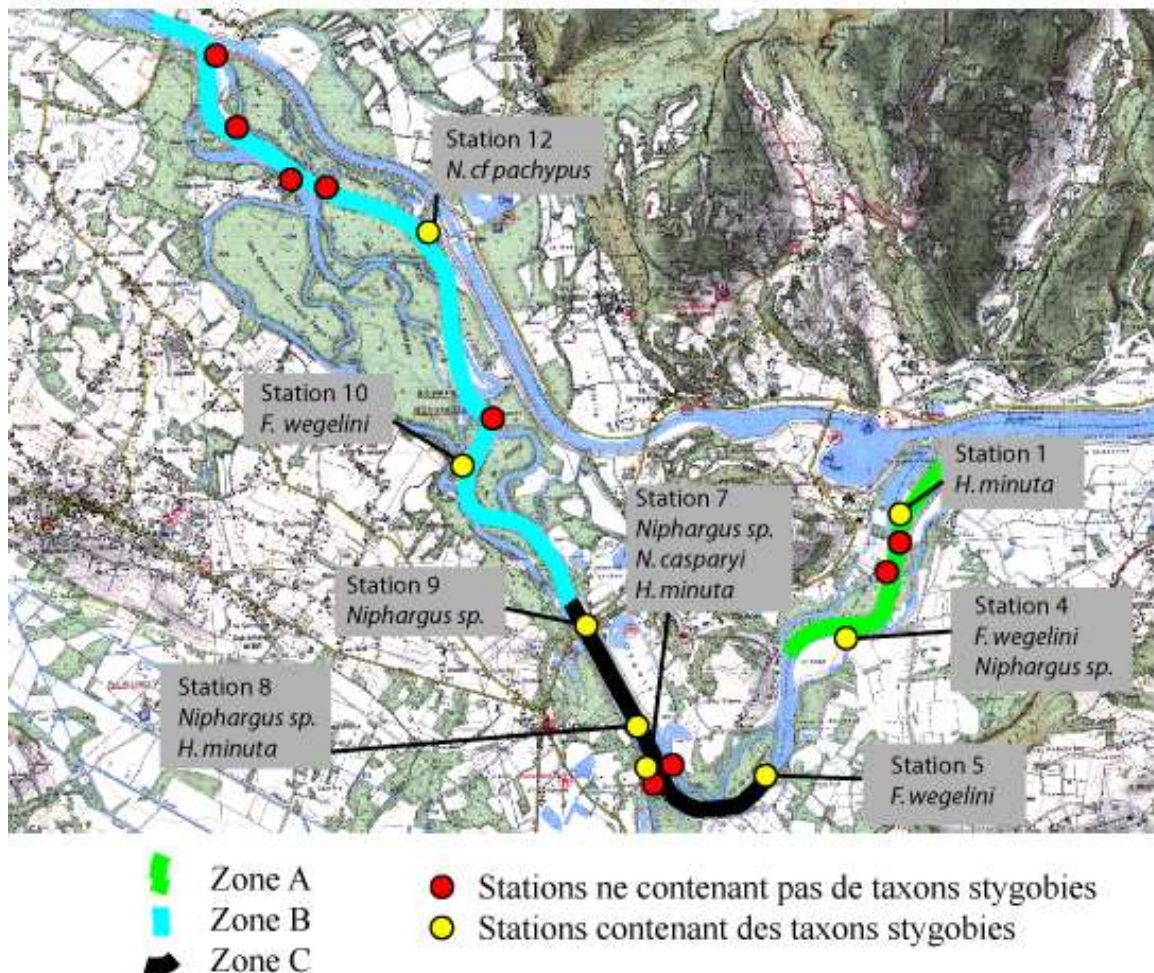


Figure 71. Différentes zones identifiées d'après les caractéristiques hydrogéomorphologiques et physico-chimiques des eaux, localisation des 16 stations échantillonnées et liste des espèces stygobies par station (d'après Creuzé des Châtelliers 1991).

III.2.3. Du point de vue des invertébrés souterrains - Rappel sur les données faunistiques disponibles sur le secteur de Brégner-Cordon.

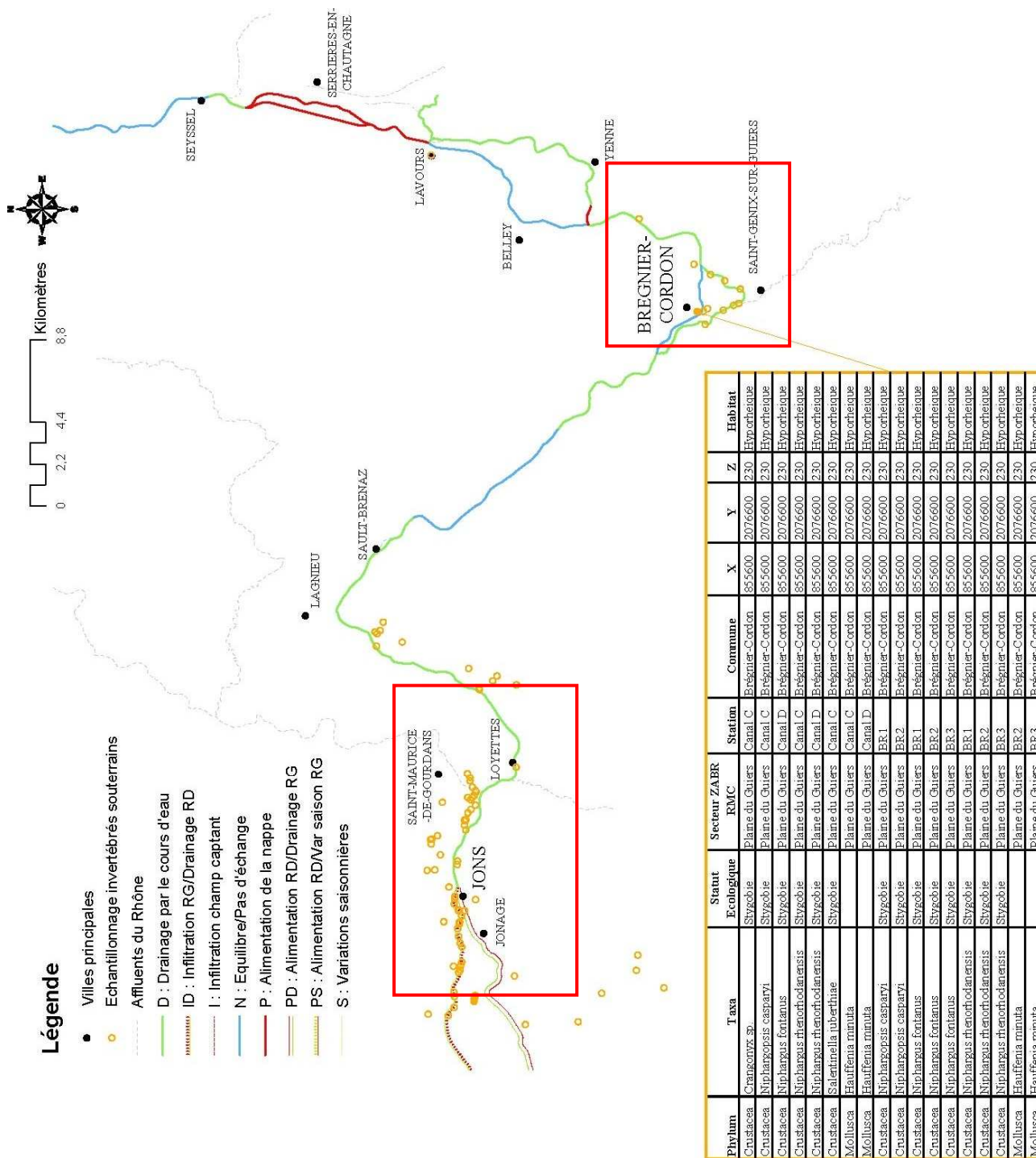


Figure 72. Carte de distribution des données de sectorisation hydraulique (d'après Schindler 2006) et des données d'invertébrés stygobies (Ferreira, données non publiées) sur le secteur du Rhône allant de Brégner-Cordon à Jons

Avec le secteur de Miribel-Jonage, le secteur du Haut-Rhône constitue l'autre secteur qui a été le plus étudié. Dans ce secteur, 55 points d'échantillonnage de la faune interstitielle ont été recensés et qui se distribuent de la manière suivante (Figure 71.) :

- 9 points échantillonnés dont six stations dans un banc d'alluvions grossières sur le Rhône au niveau d'Evieu et trois stations d'étude sur le cours d'eau de Murs-et-Géligneux (Martin 1978),

- 16 points échantillonnés sur le long du chenal court-circuité du Rhône (Creuzé des Châtelliers 1991, voir Figure 71.),
- 12 points échantillonnés dans le chenal sous influence d'une retenue dans le secteur de Brangues entre les ponts d'Evieu et de Groslée (Marmonier et al. 1997),
- 5 points échantillonnés dont trois dans un canal de drainage et un dans la lône de Rossillon dans le secteur de Brégnier-Cordon (Claret et al. 1999),
- 13 points échantillonnés dans quatre canaux de drainage, un dans le secteur de Belley et trois dans le secteur de Brégnier-Cordon (Marmonier et al. 2000).

Une station complémentaire, mais isolée, a été échantillonnée en mars 2007 dans le contre-canal, en zone hyporhéique, en rive gauche proche du lieu-dit Les Carottes, à la pointe nord du secteur Les Rubattiers. Le résultat du tri montre qu'aucun taxon typiquement souterrain n'est identifié et que la faune correspond plutôt à des invertébrés aquatiques de surface. Une interprétation des échanges est difficile sur la base d'un seul prélèvement. La seule interprétation possible sera basée sur les données rassemblées disponibles et présentées ci-dessus.

Deux méthodes peuvent être envisagées afin d'identifier les zones d'échanges entre les eaux superficielles et souterraines :

- l'étude de la structuration spatiale de la faune hyporhéique à l'échelle d'un secteur, l'utilisation des descripteurs stygobies permettant de déterminer la nature et l'origine des eaux circulant dans les sédiments et peut-être également de renseigner sur l'intensité des flux hydriques qui les traversent.

- l'étude simultanée de la structuration spatiale des peuplements d'oligochètes dans les milieux benthiques et interstitiels, et plus particulièrement celle des peuplements des espèces AED permettant non seulement d'identifier les zones d'échanges entre les eaux superficielles et souterraines, mais également de préciser le sens privilégié de ces échanges.

Sur des secteurs tels celui de Brégnier-Cordon et de Jons où la diversité des échanges entre eaux superficielles et souterraines est variée, et où des taxons stygobies sont recensés (Figure 72.), la prise en compte de l'ensemble de la diversité des groupes écologiques (stygophiles et stygoxènes) constituant les peuplements interstitiels, et l'analyse de leur structuration spatiale devraient permettre de dresser une description globale biologique des échanges hydriques sur ce secteur et de la comparer avec celle obtenue d'après l'examen des données hydrauliques.

L'échantillonnage de la faune interstitielle a été effectué par pompage Bou-Rouch (Bou et Rouch 1967, Bou 1974), les échantillons étant généralement prélevés à une profondeur de 50 cm dans les sédiments, par pompage de 10 litres d'eau et de sédiments fins filtrés sur un tamis de 300 µm.

Etant donné l'hétérogénéité de l'effort d'échantillonnage, l'analyse des données faunistiques ne peut se faire qu'à partir des données pour lesquelles la pression d'échantillonnage ne présente pas de disparités trop importantes, par exemple issues d'une même étude sur un secteur donné. Au regard de la qualité des données disponibles (ex. précision des données taxonomiques) sur le secteur de Brégnier-Cordon, une interprétation sur les échanges entre le Rhône et ses nappes d'accompagnement ne peut donc être proposée que sur la base des données faunistiques interstitielles acquises par Creuzé des Châtelliers (1991) sur la section du chenal court-circuité du Rhône (Figure 71.), ainsi que celles acquises par Claret et al. (1999) et Marmonier et al. (2000) sur

un canal de drainage créé artificiellement longeant le pied de la côte qui borde la plaine alluviale, puis le canal d'amenée (Figure 73.).

- **Le long du chenal court-circuité du Rhône**

Sur la base du cumul des données répertoriées à différentes périodes (de 1977 à 2000), la faible richesse en espèces stygobies du secteur de Brégnier-Cordon (10 espèces) s'oppose à celle du secteur de Miribel-Jonage (près de 50 espèces) où la puissance du domaine alluvial entretient d'importants contacts Rhône-nappe et favorise l'installation d'une biocénose typiquement souterraine bien développée. Si la faible diversité de la faune stygobie sur le secteur de Brégnier-Cordon peut être en partie imputée à l'influence destructrice des glaciations du Quaternaire, la répartition spatiale des taxons stygobies le long du chenal court-circuité du Rhône semble répondre aux caractéristiques hydrologiques et géomorphologiques locales à savoir la dynamique sédimentaire et le mode de circulation des eaux dans les alluvions (Figure 71.).

Ainsi, la quasi totalité des taxons stygobies a été collectée dans les stations situées dans la zone de confluence du Guiers (stations 5, 7, 8 et 9) mais également dans deux stations (1 et 4) de la zone en aval du barrage (zones A et B utilisées pour l'interprétation physico-chimie). Leur présence traduit un drainage des nappes phréatiques dans ces deux zones dont les débits moyens calculés sont comparables (respectivement de $0,116 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-1}$ et $0,111 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-1}$). Cependant dans ces deux zones, les taxons stygobies récoltés (*Niphargopsis casparyi*, *Niphargus rhenorhodanensis*, *Fabaeformiscandona wegelini*) correspondent tous sans exception à des espèces qui restent inféodées à la frange superficielle du domaine souterrain où les circulations d'eau interstitielle sont intenses, les sédiments bien oxygénés et enrichis en matière organique par l'infiltration des eaux de surface. Si leur présence traduit en premier lieu l'apport d'eau souterraine, elle témoigne également d'une proximité ou d'une influence des eaux de surface (Gibert et al. 1994). Caractérisée par une faune interstitielle stygobie plus diversifiée (4 espèces) et plus abondante, la zone de la confluence du Guiers apparaît comme la plus dynamique en termes d'échanges entre eaux de surface et eaux souterraines. Dans le contexte particulier de drainage induit au niveau des stations situées en aval immédiat du barrage, la plus faible diversité (1 espèce collectée dans une station sur les trois que comprend cette zone) et la rareté de la faune interstitielle stygobie est certainement liée à la diminution du débit qui, accompagnée d'une perte de compétence des eaux, limite le déplacement des alluvions et favorise le dépôt de sédiments fins. Les échanges entre les eaux de surface et les eaux souterraines sont ainsi diminués et limitent le développement de taxons stygobies potentiellement colonisateurs de la zone hyporhéique.

En revanche dans la zone C, la diversité faunistique stygobie quasi-inexistante peut être justifiée par l'élargissement de la bande d'écoulement qui induit un ralentissement des vitesses d'écoulement en surface et limite ainsi les échanges avec le domaine phréatique et donc la présence d'organismes typiquement souterrains. Dans cette zone, deux taxons stygobies (*Fabaeformiscandona wegelini*, *Niphargus cf. pachypus*) ont été collectés (respectivement dans les stations 10 et 12) témoignant d'échanges locaux et ponctuels entre les eaux de surface et les eaux souterraines mais dont l'origine reste à déterminer (nappes d'accompagnement ou systèmes karstiques latéraux).

L'apport des invertébrés montre l'importance des variations saisonnières sur les zones A et B où les échanges peuvent s'inverser selon la saison. Sur la zone C, la faiblesse des échanges mise en évidence par la physico-chimie semble se conformer d'un point de vue des invertébrés souterrains.



Figure 73. Localisation des 3 stations échantillonnées sur le canal de drainage et liste des espèces stygobies trouvées par station (d'après Claret et al. 1999 et Marmonier et al. 2000).

- **Dans le contre-canal de Rossillon**

Dans ce canal de drainage, les communautés interstitielles sont marquées par une faune stygobie relativement diversifiée semblant présenter une structuration spatiale amont-aval (Figure 73.).

Ainsi dans la partie amont du canal (station CC1), les communautés interstitielles sont caractérisées par des taxons stygobies caractéristiques de la zone hyporhéique (*Niphargopsis casparyi*) et d'autres espèces plus typiquement phréatobies (*Niphargus fontanus*, Parabathynellidae) témoignant d'une alimentation par des nappes d'eau profonde, faiblement influencées par les eaux de surface. La présence de taxons stygobies à plus large tolérance (*Niphargus rhenorhodanensis*) dans la partie aval du canal (station CC3) peut indiquer une influence des eaux de surface qui s'infiltrent à travers la côtière. Cette hypothèse est confirmée par la colonisation en cette station d'une faune typiquement de surface. La présence de *Niphargus fontanus*, une espèce colonisant aussi bien les aquifères karstiques et alluviaux, dans la partie amont du canal suggérerait également une alimentation par une eau d'origine karstique (eau du Mont de Cordon ?). Sur le secteur de Brégnier-Cordon, cette espèce a déjà été trouvée dans la grotte de la cascade de Glandieu située plus en aval en rive droite du canal de dérivation (Reygrobellet et al. 1974). D'un point de vue hydrogéologique, Creuzé des Châtelliers (1991) note en effet que les eaux du Mont de Cordon, situées au pied de Cordon, communiquent avec la nappe alluviale du Rhône et qu'ainsi la lône de la Morte de la Barre serait alimentée par des eaux d'origine karstique. Cependant, des études faunistiques complémentaires, notamment dans les systèmes karstiques latéraux, sont nécessaires pour étayer cette hypothèse ainsi que la possibilité d'utiliser *N. fontanus* comme descripteur biologique des échanges entre le sous-écoulement du Rhône et les aquifères karstiques.

Dans ce cas de figure, les apports identifiés du point de vue hydraulique au paragraphe III.2.1.2. (Estimation des débits de nappe fondée sur les débits des contre-canaux - apports

karstiques du Mont Cordon et du Rhône dans la terrasse wurmienne alimentant le contre-canal de Rossillon) sont confirmés.

III.2.4. Du point de vue de la végétation aquatique

L'analyse des communautés végétales sur un secteur donné peut révéler ou non un apport d'eau souterraine, et son origine dans certains cas (latérale ou fluviale). Les échanges nappe/rivière peuvent correspondre à des profils écologiques particulier vis-à-vis des eaux souterraines.

Lorsque la qualité des eaux de nappe est contrastée, les communautés végétales traduisent ce contraste. De surcroît, le taux de renouvellement des eaux souterraines est corrélé à la variabilité thermique relative des zones humides, qui elle-même régit les communautés végétales. En effet, il est possible de déterminer pour certaines espèces, si leur présence est liée à des apports d'eau souterraine et à leur intensité, grâce à leur répartition selon la variabilité thermique.

La végétation-thermie a permis de caractériser les espèces du Haut-Rhône, et cette connaissance permettra de caractériser les échanges nappes/rivière dans chaque secteur de plaine alluviale du Haut-Rhône. Cependant le pouvoir descripteur des espèces pourra être altéré sur le Bas-Rhône. De surcroît, des espèces vicariantes pourront remplacer les espèces descriptives présentes sur l'amont. Il sera donc nécessaire de recalibrer la méthode pour le bas cours du fleuve.

Une campagne de relevés de température et de conductivité de l'eau, ainsi que de végétaux aquatiques a été effectuée sur le secteur de Brégner-Cordon en mars 2007. Cette investigation a porté au total sur 19 stations. Si l'on effectue le même découpage géographique que pour l'étude hydrophysique, on observe les résultats suivants :

- **Secteur de La Charrière** (Figure 74.)

2 stations situées dans un bras du Rhône au sud près du lieu-dit Les Britanières ont été échantillonnées. Pour ces deux stations aucun macrophyte n'a été trouvé. Soit la saison d'échantillonnage était trop précoce, soit le courant empêche le développement de la végétation. Quoi qu'il en soit, en raison de leur ouverture amont sur le fleuve, ces bras sont principalement alimentés par celui-ci. Si des apports latéraux de nappe existent, ils sont probablement faibles et diffus. Pour la station 1 la température de l'eau est de 8,7°C et la conductivité de 352µS/cm à 20°C, ce qui est proche des valeurs mesurées pour la station 2 située plus au sud (T° : 8,8° ; Conductivité 348µS/cm à 20°C), et similaire au Rhône.

- **Secteur Des Rubattiers** (Figures 75. et 76.)

4 stations situées dans le contre-canal ont été échantillonnées.

Pour les stations 3 et 4 proche du lieu-dit Carottes, des macrophytes ont été identifiés. Pour la station 3 (la plus au nord) T : 10,8°C ; conductivité 416µS/cm à 20°C) et la station 4 (T : 11,4°C ; Conductivité 424µS/cm à 20°C). Les espèces identifiées indiquent des apports phréatiques riches en nutriments, venant potentiellement du Rhône.

Pour les stations 5 (T : 12,7°C ; Conductivité : 407µS/cm à 20°C) et 9 (T : 11°C ; Conductivité : 426µS/cm à 20°C) situées respectivement proches des lieux-dit Les Bessons et Grand Brotteau. Les espèces identifiées indiquent des apports phréatiques oligo-mésotrophes venant potentiellement du Rhône et du versant.

Des prélèvements ont aussi été effectués sur 3 stations situées en bordure du massif karstique au sud du lieu-dit Les Bessons. Pour celles-ci la situation est contrastée :

- station 6 (T : 11,2°C ; Conductivité : 468µS/cm à 20°C), les macrophytes ne permettent pas de discerner des apports phréatiques. La conductivité relativement élevée suggère une alimentation phréatique au moins partielle.

- station 7 (T : 11,7°C ; Conductivité : 626µS/cm à 20°C) s'il y a des apports phréatiques, ils sont mésotrophes et/ou présentent un débit très faible.

- station 8 (T : 11°C ; Conductivité : 506µS/cm à 20°C), aucun indice de végétation. La conductivité très élevée de ces deux stations suggère également une alimentation phréatique, probablement karstique, vu leur situation géographique.

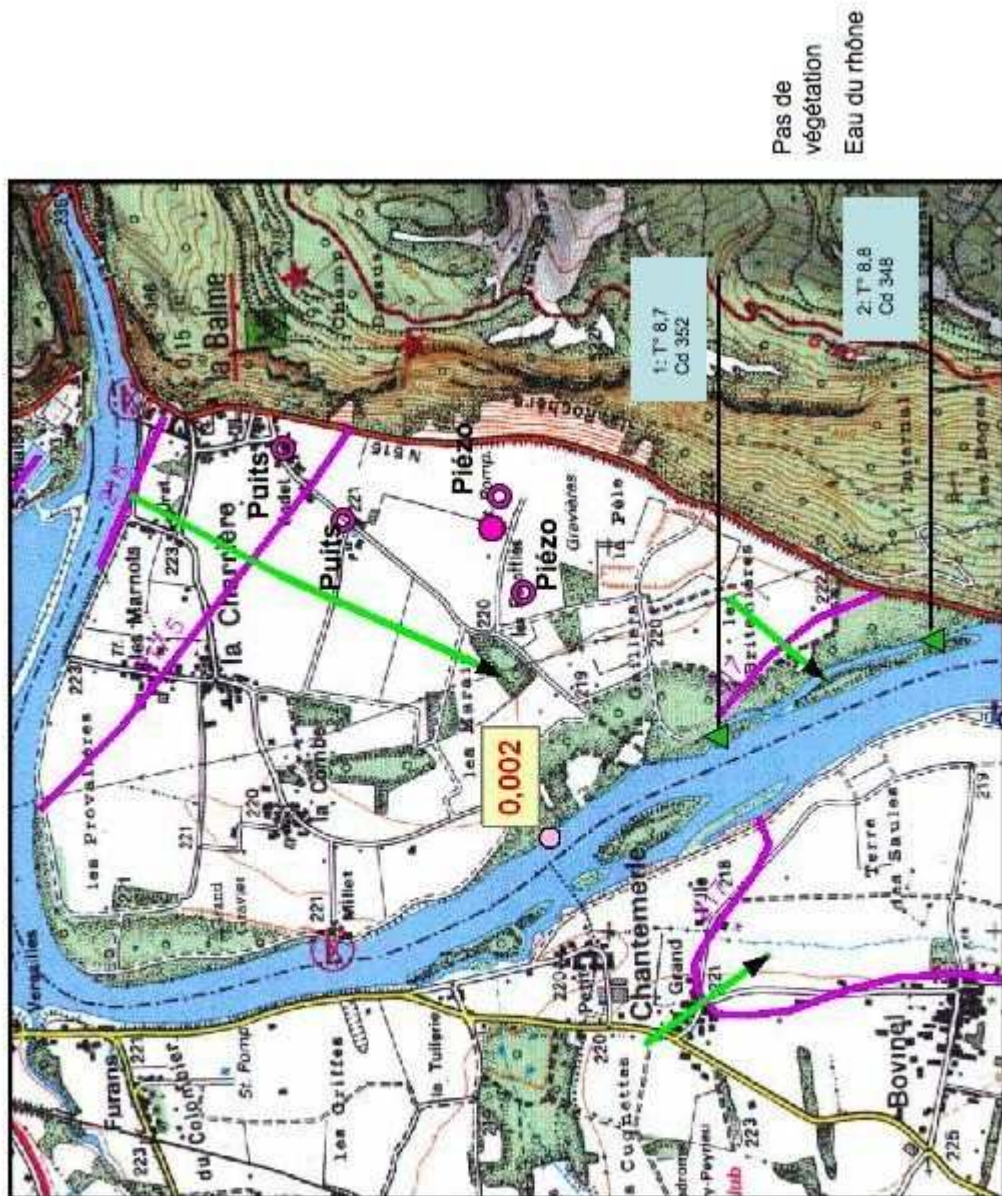


Figure 74. Examen cartographique préliminaire des indicateurs de végétation aquatique – Secteur de La Charrière

Les valeurs en rouge sur fond jaune expriment le débit de nappe exprimé en $m^3/s/km$. Celles-ci diffèrent quelque peu de celles présentés aux figures 55. à 58. car il s'agit de cartes dressées antérieurement. Toutefois, ces chiffres sont du même ordre de grandeur.

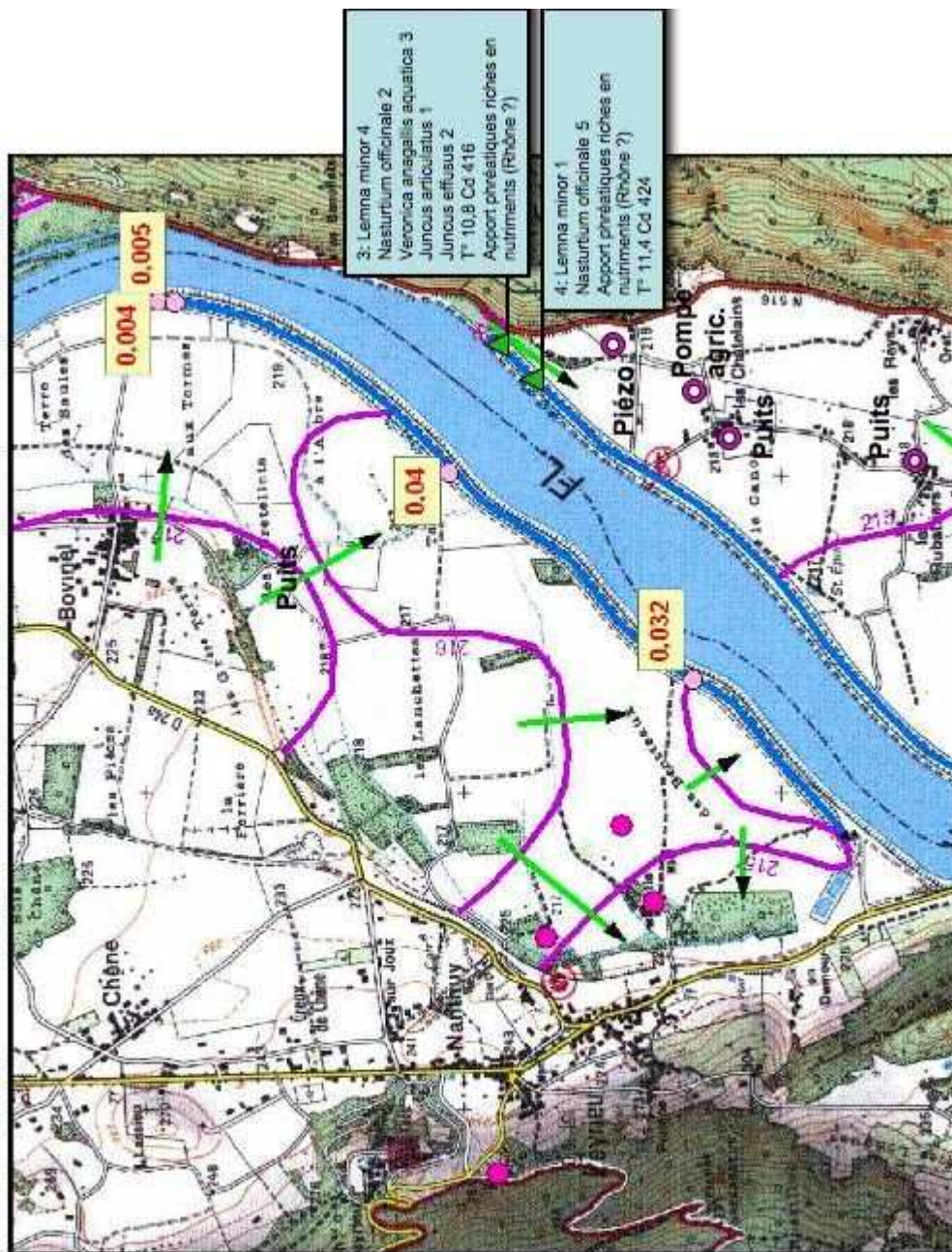


Figure 75. Examen cartographique préliminaire des indicateurs de végétation aquatique – Secteur des Rubattiers (nord)

Les valeurs en rouge sur fond jaune expriment le débit de nappe exprimé en $\text{m}^3/\text{s}/\text{km}$. Celles-ci diffèrent quelque peu de celles présentés aux figures 55. à 58. car il s'agit de cartes dressées antérieurement. Toutefois, ces chiffres sont du même ordre de grandeur.

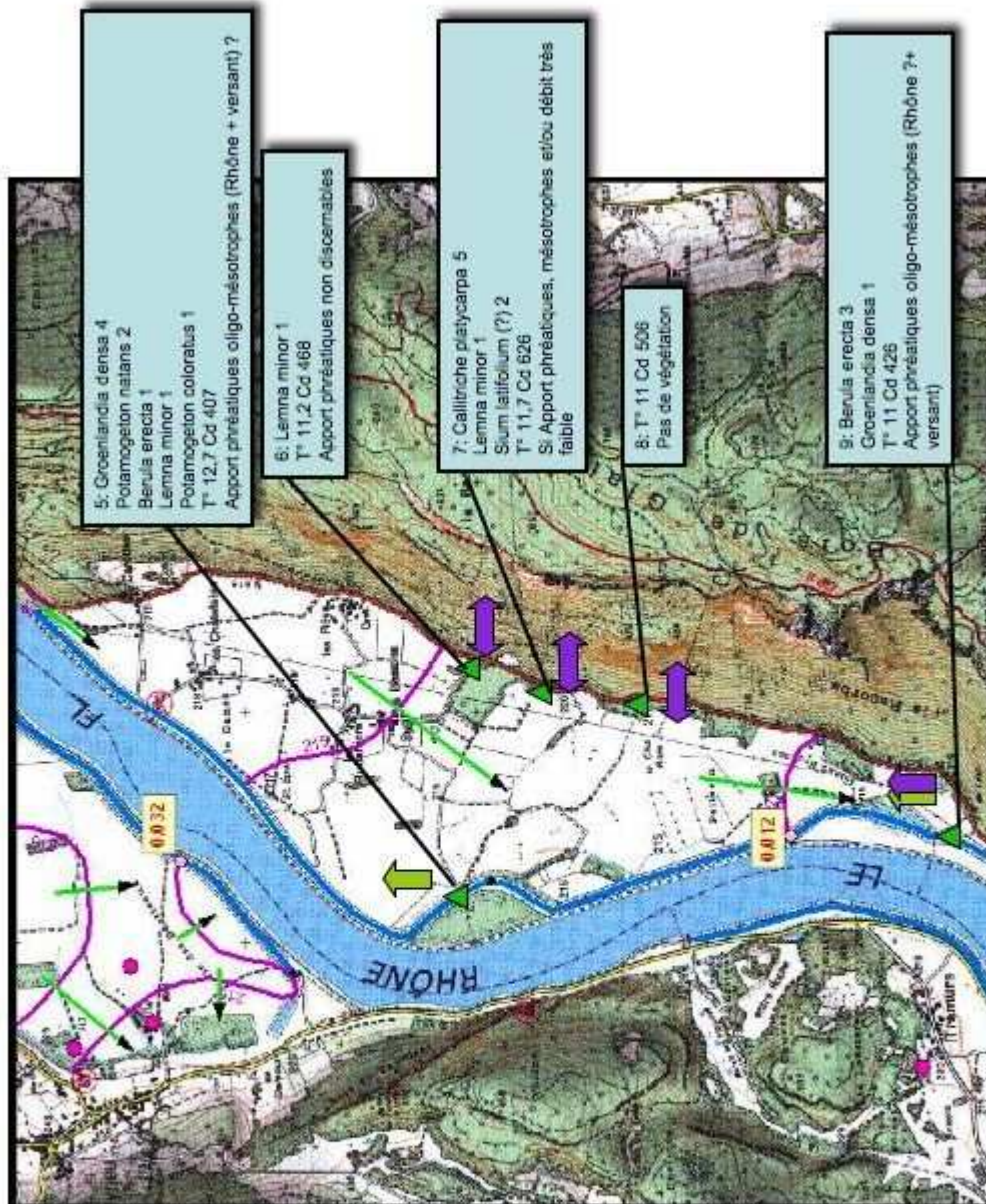


Figure 76. Examen cartographique préliminaire des indicateurs de végétation aquatique – Secteur des Rubattiers (sud)

Les valeurs en rouge sur fond jaune expriment le débit de nappe exprimé en $m^3/s/km$. Celles-ci diffèrent quelque peu de celles présentés aux figures 55. à 58. car il s'agit de cartes dressées antérieurement. Toutefois, ces chiffres sont du même ordre de grandeur.

- Secteur de Saint-Genix-sur-Guiers (Figure 77.)

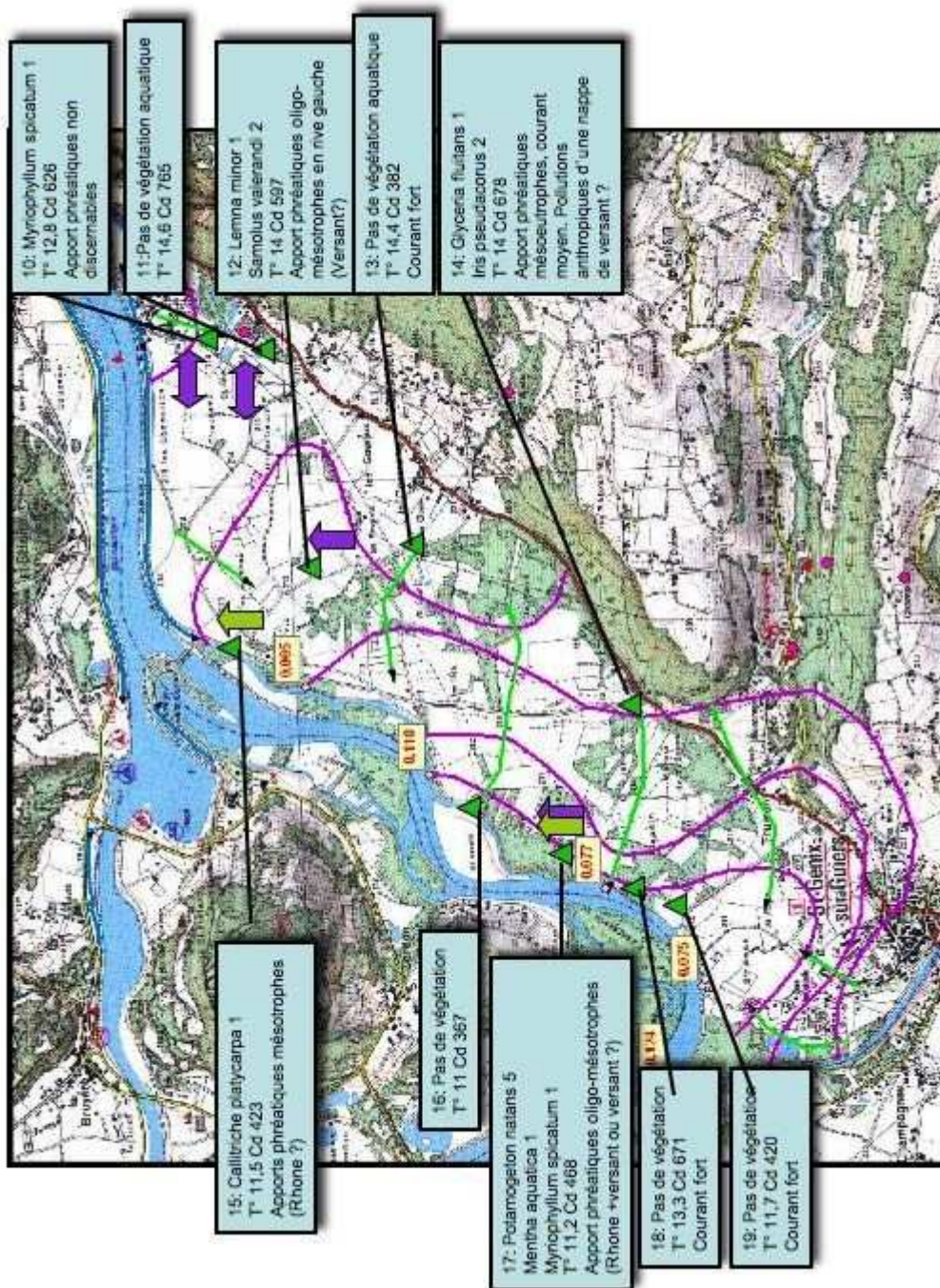


Figure 77. Examen cartographique préliminaire des indicateurs de végétation aquatique – Secteur de Saint-Genix-sur-Guiers

Les valeurs en rouge sur fond jaune expriment le débit de nappe exprimé en $m^3/s/km$. Celles-ci diffèrent quelque peu de celles présentés aux figures 55. à 58. car il s'agit de cartes dressées antérieurement. Toutefois, ces chiffres sont du même ordre de grandeur.

Sur ce secteur, on peut distinguer 2 groupes de stations, celles situées le long du Rhône (stations 15 à 19) et celles situées dans le milieu alluvial (stations 10 à 14).

Pour les stations situées le long du Rhône on distingue de l'amont à l'aval des apports phréatiques mésotrophes, sans doute en provenance du Rhône (station 15 : T : 11,5°C ; Conductivité : 423 μ S/cm à 20°C), et plus en aval des apports phréatiques oligo-mésotrophes provenant probablement du Rhône et du versant, ou du versant seulement (station 17 : T : 11,2°C ;

Conductivité : 468 μ S/cm à 20°C). Les autres stations, dépourvues de végétation (station 16 : T : 11°C ; Conductivité : 367 μ S/cm à 20°C ; station 18 : T : 13,3°C ; Conductivité : 671 μ S/cm à 20°C et station 19 : T 11,7°C ; Conductivité : 420 μ S/cm à 20°C).

En ce qui concerne les stations les plus éloignées du fleuve, on distingue de l'amont vers l'aval des apports phréatiques oligo-mésotrophes en rive gauche provenant potentiellement du versant (station 12 : T : 14°C ; Conductivité : 597 μ S/cm à 20°C), et plus en aval, des apports phréatiques méso-eutrophes complétés éventuellement par des apports d'une nappe de versant polluée (station 14 : T : 14°C ; Conductivité : 678 μ S/cm à 20°C). Pour les autres stations, il y a peu (station 10 : T : 12,8°C ; Conductivité : 626 μ S/cm à 20°C) ou pas d'espèces identifiées (station 11 : T : 14,6°C ; Conductivité : 765 μ S/cm à 20°C et station 13 : T : 14,4°C ; Conductivité : 382 μ S/cm à 20°C).

L'ensemble de ces informations est synthétisé sous forme de cartes sur lesquelles sont reportées les valeurs des débits d'échanges après aménagement, déterminés d'un point de vue hydraulique.

Le secteur analysé du point de la végétation aquatique s'étend en rive gauche de La Charrière à Saint-Genix-sur-Guiers. A l'amont, les données de végétation n'apportent pas d'informations nouvelles. On relève des valeurs de conductivité plus faibles qu'ailleurs correspondant à l'eau du Rhône. Plus à l'aval dans le secteur Des Rubattiers, les données de végétation confirment les quelques apports phréatiques au niveau des contre-canaux en rive gauche (12 l/s/km) qui peuvent être mélangés à des eaux du Rhône (fuite des digues estimée à 51 l/s/km). La végétation ne permet de distinguer des apports typiques du massif karstique. On a déjà déterminé que le débit des sources était très faible. Il n'existe pas actuellement de données d'invertébrés souterrains sur ce secteur. Ces premiers résultats confirment une bonne correspondance entre les indicateurs végétaux et l'hydraulique de La Charrière aux Rubattiers.

Plus à l'aval, en rive gauche sur le secteur de Saint-Genix-sur-Guiers, les données hydrauliques et de végétation (avec la conductivité et la température) tendent à confirmer une influence significative des apports phréatiques, compris entre 11 et 116 l/s/km. Dans ce secteur, correspondant aux zones A et B où ont été prélevés les invertébrés, les données faunistiques ne sont pas en contradiction avec ces informations, même si elles ont montré que les variations saisonnières sont importantes, et que les échanges peuvent s'inverser localement.

A l'aval de Saint-Genix-sur-Guiers, l'absence de données hydrauliques et végétales peut être compensée par les données physico-chimiques et faunistiques (zone C) qui ont mis en évidence la faiblesse des apports latéraux provenant de la nappe alluviale ou du karst.

En ce qui concerne la végétation, ces résultats préliminaires montrent la pertinence de l'outil végétal pour identifier l'origine des eaux souterraines et leur débit, et la bonne concordance entre ces données et les données hydrauliques. Une carte des informations recueillies sur l'ensemble des milieux aquatiques du secteur de Brégnier, complétée des données conductimétriques d'étiage, sera réalisée durant l'été 2007, durant la période de plein développement de la végétation.

Conclusion de cette première phase de travail

1. Premier bilan sur la mise en évidence de correspondances hydrologique et biologique pour l'évaluation des échanges nappes/Rhône

L'intérêt de ce travail, réalisé sur un site de taille réduite comme celui de la chute de Brégnier-Cordon, permet d'initier l'étude des mécanismes d'échanges de façon interdisciplinaire en se confrontant au terrain. On entendra par terrain, non seulement le milieu auquel on s'intéresse, mais aussi l'organisation complexe à laquelle on doit se confronter pour obtenir les données.

Par exemple, l'ensemble des informations hydrauliques, physico-chimiques et biologiques acquises sur le secteur de Saint-Genix-sur-Guiers (pK106 à pK98,5 soit 7,5km) à partir des différentes sources : données bibliographiques, calculs, mesures, prélèvements. On en déduit des apports souterrains, relativement limités, compris entre 11 et 116 l/s par km, vers le Rhône et les contre-canaux, là où ils existent. Ces apports représentent un total d'environ 340 l/s pour 7,5km. Ils ne représentent pas une réserve stratégique en eau souterraine pouvant faire l'objet de captages supplémentaires. Il est cependant nécessaire de la protéger des pollutions de versant ayant été mises en évidence par les indicateurs végétaux et les mesures de conductivité.

L'étude des aménagements, notamment les contre-canaux, a montré que plus à l'aval dans le contre-canal de Rossillon, les apports phréatiques qui rejoindront le Rhône sont plus importants et ont été évalués à 660 l/s/km.

Bien sûr ce type de synthèse est à pondérer en fonction de la densité des données disponibles dans chacun des domaines. A ce stade, on peut souligner l'importance de l'acquisition de connaissances hydrauliques concernant les nappes (piézométrie), le fleuve Rhône et certain de ces affluents (ligne d'eau, débit), et les contre-canaux (ligne d'eau, débit) ; mais aussi l'acquisition de connaissances biologiques afin de tester la cohérence des résultats.

Si pour chaque secteur étudié, les différents points de vue (hydraulique et biologique) sont cohérents, il est possible d'évaluer le sens de l'échange entre la nappe et le fleuve et son intensité. Par la même occasion, s'il s'agit de zones plus anthropisées, des paramètres de qualité (pollution de la nappe vers la rivière ou inversement) seront déduits.

Si les différents points de vue ne convergent pas vers une même évaluation des échanges, un ré-examen des données est nécessaire (évaluation des erreurs de mesure de débit, conditions d'échantillonnage des données biologiques). Des données complémentaires sont à acquérir (ex : hydrochimie). Sur le plan hydraulique, un modèle physique pourra être mobilisé s'il existe pour obtenir une autre source d'information.

Concernant l'étude des mécanismes d'échange sur d'autres secteurs, s'il manque une des trois composantes sur un secteur similaire à celui où les corrélations hydrauliques et biologiques ont mis en évidence la nature de ces échanges, il sera possible d'utiliser un des paramètres disponibles, hydraulique ou biologique, compte-tenu des différences édaphiques et climatiques. Enfin, en matière de cohérence globale, il faudra, dans la mesure du possible, vérifier les bilans hydrologiques par secteur en les confrontant avec les valeurs de débits mesurées à des stations fiables.

En terme de transférabilité à l'échelle du fleuve, cette méthodologie sera mobilisée sur d'autres chutes CNR. A terme, il conviendra de réaliser des bilans et de vérifier la cohérence des résultats sur des tronçons plus longs associant plusieurs chutes.

Dans la prochaine phase de travail, il est également important de tester l'apport de la géochimie qui permet de connaître l'origine des eaux souterraines et leur temps de séjour dans les nappes. Ce sont des paramètres qui doivent être cohérents avec les interactions identifiées à l'aide des méthodes physiques et biologiques. Cependant, l'apport de la méthode géochimique ne pourra être testé dans un premier temps sur le site de Brégnier-Cordon – le géorépertoire montre qu'il existe trop peu de données de ce type sur ce secteur – à moins d'y effectuer une campagne de mesures isotopiques (deutérium , Oxygène 18). Sinon, il faudra donc choisir un secteur qui s'y prête.

Le temps de résidence moyen des eaux du Rhône dans le lac Léman serait de 12 ans. Ceci aurait pour effet d'homogénéiser les eaux du fleuve sur le plan physico-chimique à sa sortie du lac. Les affluents entre le Léman et La Balme doublent le débit moyen du Rhône et conduisent à une augmentation des concentrations en carbonates, calcium et sulfates (Michal, 1988).

2. Proposition pour la structuration d'une base de données SIG des échanges nappes-rivière

2.1. Objectif

Dans les paragraphes précédents, nous avons essayé de représenter et de quantifier les échanges hydrauliques entre les nappes et le Rhône.

Il s'agit maintenant de structurer les données de telle manière que l'on puisse aisément y accéder et en gérer les principales caractéristiques, en particulier la qualité en fonction de leur origine et de la faire évoluer au fur et à mesure de l'acquisition de nouvelles données. S'agissant de données géographiquement distribuées, le SGBD le mieux adapté pour le faire est un SIG.

Le système doit permettre également d'effectuer des calculs à partir des données de base, calculs pouvant être mis à jour en cas de modification des données.

On a retenu une structure de données permettant d'éventuelles modifications et des ajouts importants sans avoir à remettre en cause toute la structure et les requêtes préprogrammées des utilisateurs.

2.2. Structure de base

Une structure simple a été retenue sur le plan cartographique, elle correspond à une topologie de type réseau arborescent orienté simple et non-maillé, l'ossature principale étant le Rhône (le Vieux-Rhône dans les zones avec dérivation). Sur ces tronçons sont définis les PK de la CNR. Le tronçon le plus en amont porte l'ID_Tron n°1 (pour le moment c'est le tronçon du défilé de La Balme qui joue provisoirement ce rôle). Dans les zones de tressage du lit, seul le bras principal est représenté.

Les dérivations sont des arcs « pendants » (au sens Théorie des Graphes un arc pendent est un arc non-relié à l'une de ses extrémités) à l'amont, constitués d'un ou plusieurs segments.

Les rivières et les émissaires artificiels sont également des arcs pendants mais, en principe, en un seul tronçon.

Un tronçon est défini par son homogénéité sur le plan des relations nappe-rivière en rive droite et en rive gauche (sur la base des types définis dans la table Rive_type).

L'ensemble s'inscrit dans un schéma de type SGBD¹⁸ relationnel. Les tables étant liées entre elles à partir de champs d'identification. Ce type de structure permet d'éviter la duplication et la redondance des données.

Soulignons que si cette structure de données est mise en place ici sous ArcGIS, elle pourrait l'être sans problème sous tout système effectuant une gestion rigoureuse de type SGBDR.

- La structure de données est constituée à la base d'un géodataset de type « shapefile » (terminologie ARCGIS) de polygones qui est une structure complexe de plusieurs fichiers contenant des éléments géographiques (points, lignes ou polygones), et les éléments attributaires qui s'y rattachent :

Nom du géodataset : Rhone_hydro

- Avec les tronçons sous forme de polygones orientés amont >> aval en coordonnées Lambert II étendu.

- Table attributaire des tronçons au format .dbf (DBase IV)

Les champs de cette table seront détaillés au prochain paragraphe. Le champ ID_Tron servant de base pour la relation avec les deux tables suivantes.

- Deux tables dbf : Rive_Droite, et Rive_Gauche qui contiennent les caractéristiques des tronçons en rive droite et rive gauche. Relation établie par le champ ID_Tron.
- Trois tables dbf : CNR_Types, Rive_Type, et Data_Type liées aux tables précédentes sur la base de champs nommés Type_CNR, Type_Rive, Type_Data

Le schéma ci-dessous donne la structure relationnelle de la base de données.

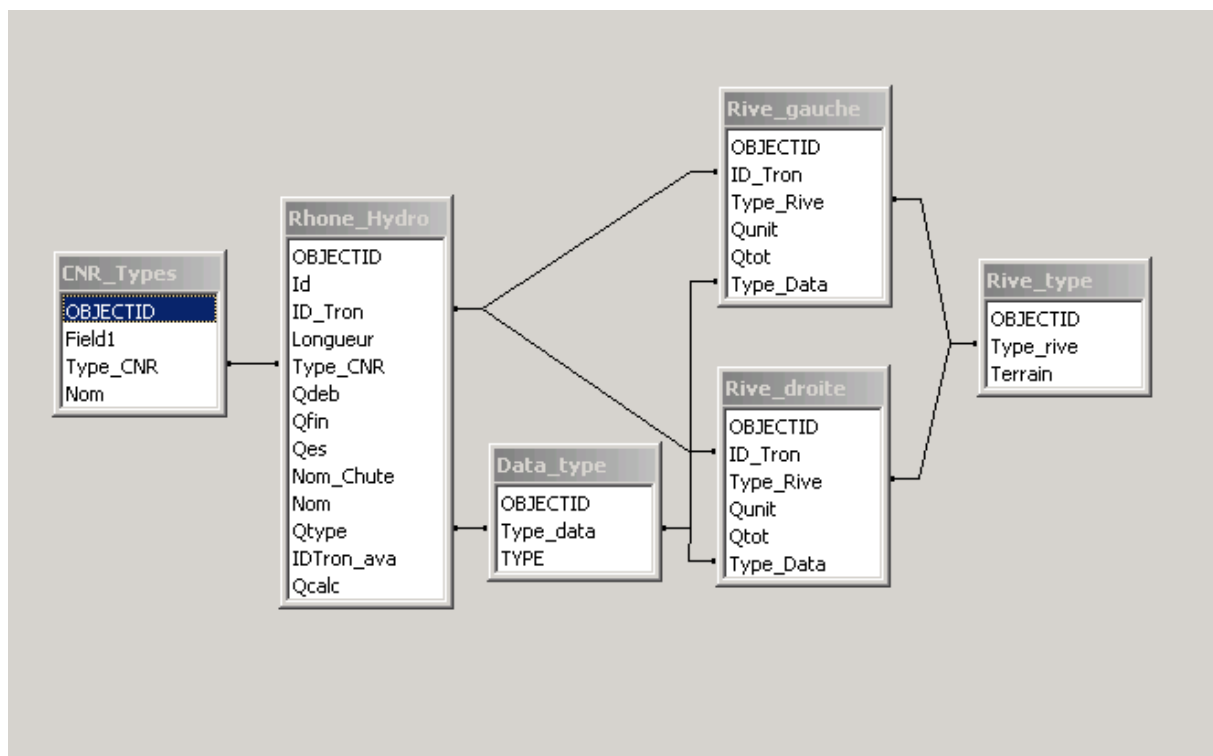


Figure 78. Structure relationnelle de la base de données.

¹⁸ Système de Gestion de Base de Données.

Les liens relationnels représentés ci-dessus (Figure 78.) peuvent être automatisés, sous ArcGIS, avec la procédure « autorelate » (dll que nous avons recompilée avec VB6.0 pour la rendre utilisable sous Windows Xp – originellement elle a été créée sous W2k -). Cette procédure permet une utilisation « en cascade » du lien choisi ce qui facilite et accélère beaucoup certains traitements. Le système actuel n'autorise pas l'automatisation simultanée de plusieurs liens comme cela était possible dans une version antérieure (risque de bouclages sans fin). Les tables peuvent aussi être « jointes » momentanément pour la réalisation de calculs et de mises à jour sur les données.

Cette structure est évidemment évolutive en particulier par ajout de champs dans les tables ou/et de tables de données spécifiques (données biologiques et physico-chimiques par exemple). Il est très vraisemblable qu'il faudra ajouter un géodataset de points sur les pompages, pour intégrer les stations de pompages les plus importantes qu'il suffira alors de lier au tronçon correspondant.

2.3. Structures des tables

Rhone_hydro.dbf (cette table est la table attributaire de la shapefile Rhone_hydro)

Ses champs sont (tous les débits sont en m³/s, *débit entrants positif et sortants négatifs*) :

- ID_TRON : entier long, numéro identifiant (unique) du tronçon,
- Longueur : réel, longueur du tronçon en mètres,
- Type_CNR : entier, numéro du type dans la terminologie CNR étendue,
- Qdeb : réel double précision, débit (m³/s) à l'entrée du tronçon,
- Qfin : réel double précision, débit (m³/s) à la sortie du tronçon,
- Qes : réel double précision, débit accessoires d'entrée-sortie dans le tronçon,
- Nom_Chute : texte 30 caractères, nom de la chute CNR,
- Nom : texte 20 caractères, nom éventuel du tronçon (par ex. Guiers (Le)),
- IDTron_aval : entier long, ID_TRON du tronçon en aval,
- Qcalc : réel double, débit calculé,
- Data_type : entier court, numéro du type de la donnée Qdeb ou Qfin.

CNR_types.dbf

- Type_CNR : cf. ci-dessus,
- Nom : texte 30 caractères, nom du type CNR (par exemple, Rhône vif, vieux Rhône,...).

Data_type.dbf

- Type_Data : entier, numéro du type de donnée,
- Type : texte 11 caractères, type de la donnée (par exemple : mesure, estimation, calcul,...).

Rive_type.dbf

- Type_rive : entier, numéro du type de rive,
- Terrain : texte 20 caractères, nom du type de terrain (par exemple : alluvions, calcaire karstifié, cristallin,...).

Rive_droite.dbf (idem pour Rive_gauche.dbf)

- ID_TRON : cf. ci-dessus,
- Type_Rive : cf. ci-dessus,
- Qunit : réel double, débit d'échange unitaire (m³/s/km),

- Q_{tot} : réel, débit d'échange sur le tronçon ($Q_{unit} * \text{Longueur en km}$),
- `Type_data` : cf.ci-dessus.

2.4. Fonctionnalités

Diverses fonctionnalités sont rattachées à la base de données ; on peut les présenter rapidement par regroupement en divers ensembles.

Le premier ensemble consiste en requêtes spatiales, attributaires ou mixtes, simples ou complexes ; ce sont des fonctionnalités classiques des SIG qui sont évidemment disponibles ici (ex : recherche de débits d'échange sur une rive, positionnement d'ouvrage, recherche de données biologiques, sommation des débits d'échange sur un linéaire, des débits de fuite de digue...). Charge à chaque utilisateur de définir et d'enregistrer (automatiser) celles dont il a effectivement besoin. On mettra dans le même ensemble les fonctions de calcul permises par le système et dont l'utilisateur définira l'enchaînement en fonction des besoins.

Un second ensemble se rapporte à la structure en réseau arborescent ; il sera important d'avoir un module permettant la mise à jour et le contrôle topologique de l'arborescence et de l'indexation après que l'on ait apporté des ajouts et/ou des modifications aux données graphiques.

Le troisième ensemble consiste dans les fonctionnalités « hydrauliques » de la base de données, qui sont sa raison d'être. Grosso modo il y a une sommation des débits (<0 pour les sortants et >0 pour les débits entrants) depuis l'amont vers l'aval. Toute modification au niveau du réseau, comme au niveau des grandeurs hydrauliques nécessitera une remise en conformité de l'ensemble de la base. Certains calculs peuvent être faits sous Excel, les résultats étant ensuite rattachés ou injectés dans la base de données moyennant des précautions rigoureuses pour respecter l'intégrité de la base de données. Pour minimiser ce risque, il serait préférable de mettre au point des modules de calculs avec contrôle de l'intégrité inclus.

Pour le moment, les fonctionnalités des ensembles 2 et 3 ne sont pas opérationnelles. Leur développement impose que la structure de la base soit vérifiée et que son intérêt fonctionnel soit validé. La mise en œuvre de ces fonctions nécessite que le noyau de la structure définitive soit quasiment figé de manière à ne pas avoir à refaire plusieurs fois le travail.

Actuellement des essais sont en cours sur Brégnier-Cordon. Il serait souhaitable d'y ajouter au moins un ou deux autres sites pour s'assurer que l'essentiel des possibilités structurelles a bien été repéré.

De plus, il convient aussi de compléter l'élaboration et la structuration de cette base de données, actuellement essentiellement hydrophysique, avec les données et résultats obtenus pour les dimensions hydrobiologiques et hydrochimiques. A terme, la base de données devrait pouvoir gérer la complémentarité des dimensions pour la représentation des échanges nappe/Rhône.

Partie IV – Phases ultérieures de travail : phase 2

L'avancement du projet est discuté lors de réunions de travail des équipes de recherche, lors de comités techniques ou à l'occasion de sorties de terrain. Les comptes-rendus de ces activités sont disponibles en annexe (Annexes 12.1., 12.2., 12.3., 12.4. et 12.5.).

Cette partie fait le bilan des tâches à effectuer en phase 2 du projet. Il va s'agir : 1) d'acquérir des données complémentaires non seulement pour les dimensions hydrophysiques, et hydrobiologiques (macrophytes et invertébrés souterrains), mais aussi pour la dimension hydrochimique et notamment la chimie isotopique ; 2) de sélectionner un autre secteur d'étude afin de poursuivre la mise au point de notre méthodologie interdisciplinaire sur un secteur climatiquement contrasté ; 3) de valoriser et de diffuser les premiers résultats et les avancées méthodologiques par plusieurs publications.

IV.1. Acquisition de données complémentaires

IV.1.1. Données hydrauliques

Rappelons d'abord que lors de 2 rencontres avec les représentants de la CNR (E. Doutriaux et Y. Taravel), nous avons pu présenter nos objectifs et nos besoins en données dans le cadre de cette action de recherche. Il apparaît tout d'abord que la CNR possède un volume de données très important, et qu'il va s'agir par conséquent de bien cibler nos demandes.

Il est important de garder à l'esprit que la CNR utilise une sectorisation du Rhône spécifique. Elle sectionne le fleuve en « chutes » ou tronçons liés à un aménagement. Une chute s'organise de la façon suivante :

- tronçon Rhône-vif (aspect plus naturel) ;
- tronçon Rhône endigué (digues, contre-canaux) ;
- tronçon canal de dérivation (barrages, contre-canaux, dérivation, seuil) ;
- tronçon Vieux-Rhône ou Rhône court-circuité.

Sur ces chutes, trois types de connaissances nous intéressent plus particulièrement au regard des activités et des données dont dispose la CNR.

Premièrement, les données concernant les contre-canaux et les digues.

Il existe des données concernant la profondeur, les débits et les profils en long sur les contre-canaux. Ces contre-canaux ont été surdimensionnés par rapport au débit actuel car ils devaient répondre aux contraintes de mise en eau peu après la construction des aménagements. Aujourd'hui, les digues se sont colmatées, ce qui a provoqué une diminution du débit d'infiltration (percolation) dans les contre-canaux. Il apparaît par ailleurs que les mesures en contre-canaux et dans les digues résultent des dossiers de mise en œuvre, de surveillance (pendant une dizaine d'années), et à l'occasion de problèmes techniques (fuites, dégradations).

A certains endroits, il existe aussi une série de piézomètres sur les digues qui permettent de surveiller les fuites et de proposer des règles générales de quantification des entrées-sorties dans les digues. Il est aussi important de savoir que les contre-canaux ne sont pas étanches et ne descendent pas jusqu'au substratum imperméable. Ainsi, il existe des échanges latéraux avec le fleuve et la nappe, mais aussi des échanges de fond. Sur demande, certains secteurs ont été rendus étanches (ex : Chavanay) par mesure de protection des ressources en eau potable.

Deuxièmement, les données qui sont en rapport avec les eaux souterraines.

La CNR possède des données concernant le substratum imperméable recueillies lors de la construction des aménagements. Il existe aussi, suite à enquête publique, des cartes de nappes et des relevés piézométriques en hautes, moyennes et basses eaux. De plus, des cartes localisent l'implantation des piézomètres. A l'heure actuelle, nombre de piézomètres ne sont plus relevés car la situation est à l'équilibre, et certains ont même disparus. Il conviendra donc de compléter ces données en mobilisant les informations des banques « sous-sol », ADES et « remontée de nappes » du BRGM.

Troisièmement, les données qui sont en relation avec les eaux superficielles.

La CNR dispose des mesures de débits et des cotes de ligne d'eau du Rhône et de certains de ses gros affluents. Les données de débits sur les plus petits affluents ne sont pas forcément existantes. Concernant les ouvrages dits « au fil de l'eau » il n'y a pas de stockage/déstockage contrairement aux barrages réservoirs moins nombreux sur le cours du Rhône.

La CNR ne dispose pas de données concernant les prélèvements de la ressource en eau. Par ailleurs, certains secteurs du Rhône sont gérés par EDF ou VNF (Miribel-Jonage), mais c'est la CNR qui détient les données les concernant sauf pour la chute de Cusset (données EDF).

La mise à disposition des données se fait à titre gracieux selon une convention entre la CNR et l'Ecole des Mines de Saint-Etienne. Il a été décidé dans un premier temps que la CNR mettrait à notre disposition les données attachées à deux chutes : celle de Brégnier-Cordon et celle de Péage-de-Roussillon (Île de la Platière).

Le travail effectué sur Brégnier-Cordon, grâce aux données de la CNR, nous a permis de faire la liste des données indispensables à la poursuite du travail d'évaluation des échanges nappes/Rhône sur d'autres secteurs. Parmi, celle-ci on distinguera des données sur les ouvrages, sur les nappes et sur le Rhône :

- débit des contre-canaux, éventuellement complétés par des schémas techniques, des profils en long ;
- piézométries des nappes proches du Rhône avant et après aménagement,
- chroniques de mesures de débits sur le Rhône et sur ses affluents à proximité de la confluence avec le fleuve (localisation, nombre de stations) ;
- chroniques de mesures de cotes sur le Rhône et sur ses affluents à proximité de la confluence avec le fleuve (localisation, nombre de stations) ;
- chroniques de mesures de débits, ponctions, stockages et déstockages sur les ouvrages (canaux, contre-canaux, Rhône court-circuité, barrages, stations de pompage...).
- profils en long du Rhône ;
- profils en travers du Rhône au niveau des digues ;
- cartes du substratum des alluvions du Rhône ;
- localisation des ouvrages éventuels de décharge nappe profonde ou de réalimentation de nappe inférieure dans les canaux.

Ce travail nécessite de recueillir un nombre de données important, potentiellement détenues par différents organismes (Universités, CNR, EDF, DIREN, Bureaux d'étude...). Si le recueil de données se fait de manière préférentielle avec la CNR, certaines données sont obtenues par d'autres voies : photographies aériennes et scan25 (IGN), cartes géologiques (BRGM), prélèvements d'eau et rejets (Agence de l'eau, RMC), cartographie des masses d'eau (Agence de l'eau, BRGM), autres données sur l'eau téléchargeables (SIERM), pluviométrie (Météo France)... Le recueil de données

est complété par toutes les informations contenues dans la bibliographie, qu'il s'agisse de d'ouvrages, de thèses, d'articles, de rapports ou d'études.

Il pourrait aussi être utile de solliciter la SNCF, qui dispose sans doute, dans le cadre des travaux du TGV Méditerranée, de données piézométriques et de substratum des nappes, même si celles-ci risquent d'être ponctuelles. Il y a aussi l'EID de Chindrieux qui suit les nappes pour les traitements anti-moustiques, le SEGAPAL pour le secteur de Miribel, afin de compléter les références BURGEAP et ANTEA.

IV.1.2. Données de végétation

La base de données végétales collectées sur le Haut-Rhône ne permettra pas de répondre complètement à la question posée, en particulier car elle ne concerne que les bras morts. Un travail de terrain complémentaire est donc indispensable, et sera réalisé, en ce qui concerne le secteur de Brégnier, durant l'été 2007. Les autres tronçons du Haut-Rhône seraient complétés durant l'été 2008. Les données collectées permettront d'établir une typologie des échanges basées sur l'outil végétation, qui sera alors confrontée à la typologie obtenue à partir des autres outils mis en œuvre dans le projet. Ce travail permettra d'aboutir à une analyse complète des échanges nappes-rivières sur le Haut-Rhône d'ici fin 2008 en ce qui concerne l'outil végétation, mais ne sera pas forcément extrapolable de manière simple sur l'ensemble du bas cours du fleuve. En effet, la qualité des eaux et le climat varient fortement d'amont en aval le long du Rhône, ce qui entraînera des variations significatives des contenus floristiques le long du cours d'eau. Les valeurs indicatives des espèces végétales aquatiques sont bien connues pour les espèces du Haut-Rhône, mais restent à établir sur les espèces du bas-cours. Par conséquent, les données écologiques ne permettront pas, en ce qui concerne le volet végétation de garantir l'applicabilité de la méthode sur le sud du bassin du Rhône. Le secteur de confluence avec la Drôme est un secteur potentiellement intéressant pour recalibrer l'outil végétation. En effet, il présente des contrastes forts au niveau des aquifères et de la qualité des eaux, avec des secteurs très régulés et des secteurs très dynamiques. Il serait alors nécessaire de collecter des données physico-chimiques dans les différentes nappes en présence, dans les eaux superficielles susceptibles d'alimenter les zones humides (Drôme, Rhône) et dans des zones humides potentiellement contrastées en termes d'alimentation phréatique. Les données végétation dans les lînes sont disponibles, bien qu'un peu anciennes, et il faudrait effectuer un recalage des contenus floristiques dans les lînes sélectionnées pour la chimie. Il faudrait également compléter ces données végétation pour les autres habitats aquatiques, comme cela est en cours sur le Haut-Rhône. Les profils écologiques des espèces nouvelles du secteur pourraient ainsi être établis. En ce qui concerne les espèces pour lesquelles ces profils ont été établis sur le Rhône amont, le travail permettrait de les valider et de les amender.

IV.1.3. Données invertébrés

Si les données acquises permettent déjà de donner un début d'analyse des échanges entre eaux de surface et eaux souterraines à l'échelle du secteur de Brégnier-Cordon, l'acquisition de données faunistiques complémentaires est nécessaire pour améliorer la robustesse des interprétations données. La découverte pour la première fois de taxons phréatobies (Claret et al. 1999, Marmonier et al. 2000) sur un secteur où seuls des taxons stygobies plus généralistes avaient jusqu'à présent été trouvés (Creuzé des Châtelliers 1991) suggère fortement que la biodiversité stygobie du Haut-Rhône français est plus élevée que préalablement supposée. Aussi, l'amélioration de la description des échanges entre eaux de surface et eaux souterraines à partir des données faunistiques nécessite une meilleure connaissance des espèces souterraines potentiellement présentes à l'échelle du secteur non seulement dans le milieu interstitiel, mais également dans les milieux phréatiques et karstiques. En effet dans l'ensemble du secteur de Brégnier-Cordon maillant zones karstiques et zones alluviales, seul un examen simultané de la distribution spatiale des communautés souterraines interstitielles, phréatiques et karstiques devrait permettre d'obtenir une cartographie globale de l'origine et du mode de circulation des eaux souterraines dans les

sédiments, mais également de rechercher dans les changements de structure spatio-temporelle de la diversité des communautés d'invertébrés souterrains des descripteurs biologiques potentiels de l'impact des aménagements.

IV.1.3. Données isotopiques

Plusieurs travaux du LHA sur la Plaine irriguée de Cavaillon-Carpentras ont montré l'utilité des isotopes stables de l'eau pour identifier les apports de la Durance, via l'irrigation, aux alluvions du Rhône.

Pour avoir une idée d'ensemble du fonctionnement « isotopique » du Rhône, il serait nécessaire d'identifier 5 ou 6 points clés sur l'ensemble de son cours et d'effectuer plusieurs prélèvements à différentes périodes (le coût d'une analyse Oxygène 18 et Deutérium est de 55 €). L'utilisation du deutérium est nécessaire, en nombre plus réduit, pour contrôler l'influence éventuelle de l'évaporation sur le marqueur isotopique. Cette méthode a été largement utilisée et validée dans la région de Carpentras-Avignon. Dans la région des travaux ont aussi été effectués en Ardèche et dans le Massif Central. L'O18 et le deutérium ont été utilisés sur la Columbia River aux USA pour l'étude des interactions nappe/rivière.

Sur le secteur de Brégnier-Cordon, sur lequel aucune donnée géochimique n'a été recensée, il semble essentiel de récupérer les valeurs du karst environnant pour effectuer un tel travail. Une approche par la chimie classique ne semble pas adaptée, car il existe peu de différence entre eaux souterraines et eaux superficielles sauf sur certaines rivières bien marquées chimiquement (ex : La Saône avec le Cl).

Le tritium peut être utilisé pour estimer les temps de séjour de l'eau dans les eaux souterraines.

Des travaux spécifiques sur le carbone 13 ont été effectués par Anne Marie Aucourt sur le Rhône lui même. D'autres travaux en géochimie et géochimie isotopique existent : De la Vaissière R. "Etude de l'aquifère néogène du Bas-Dauphiné. Apport de la géochimie et des isotopes dans le fonctionnement hydrogéologique du bassin de Valence (Drôme, Sud-Est de la France)."

Avant de choisir un site pour associer les méthodes géochimiques aux méthodes biologiques et hydrauliques, il convient d'abord d'avoir une vision d'ensemble du comportement isotopique d'ensemble du Rhône. Sur un tel site, il pourra ensuite être intéressant de coupler modélisation mathématique et isotopes.

IV.2. Proposition d'un site test « naturel » complémentaire au site de Brégnier-Cordon : la confluence Rhône/Drôme

Le secteur de la confluence du Rhône et de la Drôme pourrait constituer un site complémentaire pour l'étude des échanges entre la nappe et le fleuve. En effet, ce site présente la particularité d'être caractérisé par un Rhône (et une nappe d'accompagnement) eutrophe à hyper-eutrophe, qui reçoit les apports : 1) de la Drôme et de sa nappe d'accompagnement mésotrophes, 2) des apports probables d'une nappe probablement oligotrophe à ultra-oligotrophe provenant des dépôts molassiques en rive gauche, d'une nappe provenant des coteaux ardéchois, potentiellement oligotrophe en rive droite. Cette situation est très similaire à celle rencontrée sur le secteur du Haut-Rhône, car elle se caractérise par des situations trophiques et hydrauliques très contrastées. Les contrastes physico-chimiques entre les différentes masses d'eau permettront une caractérisation certaine de leur origine par les indicateurs biologiques et physico-chimiques. Le secteur permettrait par conséquent de valider les outils et les méthodes mis au point sur le Haut-Rhône. De surcroît, le Rhône se caractérisant par des contrastes climatiques forts du nord au sud, il est nécessaire de prendre en compte ces contrastes dans la définition d'indicateurs pertinents à l'échelle de l'ensemble du bassin. Par conséquent le choix du secteur drômois permettrait de valider et de compléter la grille d'indicateurs biologiques mise en place sur le Haut-Rhône, avec les espèces appartenant au cortège méditerranéen. Cela permettrait de garantir l'applicabilité de la méthode sur tous les secteurs du Rhône, quelle que soit leur localisation géographique. La réserve naturelle des

Ramières du Val de Drôme est localisée dans ce secteur. Des contacts ont été pris avec Mr Faton, gestionnaire de la réserve, qui accepterait de jouer le rôle de relais local pour la réalisation des suivis, et même d'assurer un certain soutien logistique pour la collecte des données.

En somme, le secteur de la confluence Rhône/Drôme correspond à l'aval du secteur des Ramières élargi spatialement le long du Rhône. Il est intéressant pour son gradient climatique, ses données macrophytes et le bilan réalisé par le BRGM. Toutefois, il n'y a pas de données d'invertébrés et géochimiques. Sur ce secteur, il y a aussi la possibilité de travailler sur les contributions de la nappe miocène à l'amont de la cluse ou cluse ? de Livron/Drôme.

IV.3. Proposition d'un site test anthropisé sujet à conflits d'usage sur la ressource en eau (ex : Ile de La Platière)

En plus du secteur compris en Jons et Brégnier-Cordon, il serait pertinent de sélectionner un site où les effets anthropiques sont plus importants. Ce site pourrait être celui de l'Île de la Platière car :

- il est fortement anthropisé ;
- il existe des conflits d'usage concernant la ressource en eau ;
- il existe une structure d'encadrement avec des projets de réhabilitation hydraulique et écologique du Rhône (SMIRCLAID) ;
- il existe une réserve naturelle ;
- les données sont nombreuses.

Suite à une rencontre avec la chargée de mission du SMIRCLAID, Anne Gangloff, qui anime les réunions au sujet de devenir de ce site nous avons récupéré de nombreuses informations. Ce secteur est réparti sur 9 communes dont la commune de Sablons où est localisée la réserve de La Platière et 4 départements (Loire, Ardèche, Isère, Drôme).

Sur le secteur, sont implantées 4 usines qui consomment 170000m³ d'eau par jour dont 80% pour les processus de refroidissement. Cette eau est pompée dans 2 champs captant, un au nord et un au sud du secteur. Les rejets d'eau utilisée se font avec un débit de 2m³/s. Il existe plusieurs syndicats des eaux dont le SIGEARP qui possède une autorisation de pompage de 500m³/heure sur un captage pollué aux nitrates et aux pesticides et qui demande un doublement de l'autorisation ; et le SIAEP (Ardèche) qui possède une autorisation de pompage de 850m³/heure dont 5% vont à l'agriculture par l'intermédiaire d'un syndicat d'irrigation.

Sur le secteur, le débit réservé du Vieux-Rhône est de 10 m³/s en hiver et 20 m³/s octobre. Le débit moyen normal est de 1100 m³/s, le débit d'étiage de 350 m³/s. Pour les débits supérieurs à 1400m³/s il y a déversement dans le Vieux-Rhône. Il existe des seuils pour éviter une trop forte baisse de la nappe phréatique. Les données sur la nappe sont celles de l'auto-surveillance réglementaire des industries (72 piézomètres suivis depuis 15 ans une fois par mois).

Sur le secteur, le projet consiste en une réhabilitation hydraulique et écologique du Vieux-Rhône (lône) pour augmenter le débit réservé. Le SMIRCLAID, par l'intermédiaire d'Anne Gangloff, est animateur et coordinateur du Programme Décennal (Plan Rhône) avec pour partenaire principal l'Agence de l'eau RMC. Le désengagement de l'Etat et les nombreux conflits font que le Plan Décennal risque de ne pas aboutir.

Il y a actuellement 3 enquêtes publiques en cours :

- une pour la mise en place d'un périmètre de protection sur les captages ;
- une pour le PLU ;
- une pour l'augmentation des pompages AEP.

Toutefois, on observe qu'il n'y a eu aucune concertation sur les projets. De plus, le commissaire enquêteur n'est jamais venu et les enquêtes sont caduques. Le dossier AEP est très sensible. Suite à une étude du BURGEAP, des mises en garde concernant l'augmentation des

pompages AEP émanent de la Réserve et des industriels. En effet, ces deux acteurs pourraient être les grands perdants d'une augmentation des pompages :

- les zones humides de la Réserve pourraient être asséchées ;
- l'industrie qui veut une autorisation de pompage de 200000m³/jour a peur qu'on donne la priorité à l'AEP. La mise en œuvre d'une amélioration des procédés par un fonctionnement en circuit fermé n'est pas à l'ordre du jour. Les entreprises menacent de délocalisation et exercent un chantage à l'emploi.

Dans ce contexte anthropisé, les besoins en termes de connaissance des sociosystèmes sont importants. En effet, les diagnostics et les programmes d'action sont soumis à la discussion et à la négociation depuis 2005, et les premiers résultats sont prévus pour 2009. L'organisation de cette négociation pose le problème suivant : comment faire valoir le rôle des eaux souterraines et leur interaction avec le Rhône dans un cadre de gestion multi-usages de la ressource en eau ?

Dans ce contexte, il est nécessaire d'organiser la connaissance afin de la rendre accessible aux usagers à travers des actions pédagogiques destinées à faire comprendre les mécanismes hydrauliques et biologiques mis en jeu. L'élargissement de la concertation autour de la DCE nécessite donc des outils appropriés et des représentations plus adaptées à chaque catégorie d'acteurs (cartographiques, biologiques et hydrauliques ; Paran, 2005).

IV.4. Autres sites potentiels

Lors des différentes réunions de travail, d'autres sites potentiellement intéressants ont été envisagés pour poursuivre le travail d'évaluation des échanges nappe/Rhône :

- la portion de la plaine du Rhône susceptible d'être fortement alimentée par le karst en aval du défilé de Donzère (nombreuses données macrophytes), nappes alluviales et Rhône potentiellement alimentée par système de Tourne en rive droite (Bourg-Saint-Andéol) et apports du karst urgonien rive gauche sud du bassin de Montélimar ;
- Secteur confluence du Lez (problématique d'assèchement de lônes) ;
- Secteur de Donzère Mondragon ;
- Jonction bassin de Valréas-Bassin de Carpentras (rôle des nappes profondes miocène pour le soutien d'étiage du Rhône.

IV.5. Valorisation et mise à disposition des résultats en fonction de l'état d'avancement de l'action de recherche

Il convient de réfléchir à la valorisation et la diffusion plus large de ce travail. Ceci pourrait se faire sous la forme de fiches (ex : fiches OTHU), la mise à disposition des rapports en ligne, l'organisation de séminaires de recherche, de publications (ex : Géocarrefour). L'objectif de cette valorisation/diffusion pourrait être de montrer de quelle manière la connaissance produite est utile et directement utilisable, et comment elle peut changer les pratiques dans le domaine de la gestion des ressources en eau souterraine et superficielle.

Actuellement 2 fiches de valorisation du projet ont été rédigées et transmises à la ZABR (Annexes 13.1. et 13.2.).

De plus, l'activité de publication est la suivante :

- soumission d'un article de vulgarisation de l'intention méthodologique dans la revue professionnelle sur les cours d'eau ;
- contribution à l'ouvrage le Rhône en 100 questions (eaux souterraines) ;
- initiation d'un travail de rédaction en anglais pour une publication méthodologique dans une revue à dimension internationale.

Le géorépertoire ZABR qui est un outil de partage des données et métadonnées accessibles sur Internet représente un autre moyen de diffusion.

Bien que nous n'en soyons pas encore là, rappelons qu'une des finalités de ce travail s'intègre dans les visées à long terme du Plan Rhône notamment à travers la protection des ressources stratégiques pour l'eau potable. Ainsi, les résultats de cette action de recherche pourraient être déclinés sous la forme de conseils méthodologiques visant par exemple, à faciliter la mise en œuvre des Plans raretés de l'eau du Rhône et des arrêtés sécheresse, notamment en ce qui concerne les eaux souterraines dans le cadre des objectifs du réseau des MISE.

Etablissements partenaires

A l'heure actuelle, le réseau de partenaires constitué est le suivant (par ordre alphabétique d'organismes concernés) :

- Agence de l'eau RMC (Cadilhac Laurent, Cottes Laurence, Immediato Frédéric, Lacombe Evelyne, Lascombe Claude, Pelte Thomas) ;
- BRGM Rhône-Alpes (Deverly Fabrice) ;
- CEMAGREF Lyon (Lafont Michel) ;
- CNR (Doutriaux Eric., Taravel Yan) ;
- DDAF Rhône, MISE (Dancette Daniel) ;
- DIREN Languedoc-Roussillon (Chemin Paul) ;
- DIREN Provence Alpes Côte d'Azur (Valencia Guy) ;
- DIREN Rhône-Alpes (Henry de Villeneuve Caroline, Vernay Laurent) ;
- EDF/LNHE (Krimissa Mohamed) ;
- EMSE – Centre SITE (Graillot Didier, Déchomets Roland, Paran Frédéric, Alix Germain) ;
- ENTPE (Winiarski Thierry) ;
- LEHF – écologie souterraine (Gibert Janine, Ferreira David) ;
- LEHF – écologie végétale (Bornette Gudrun, Puijalon Sara) ;
- SEGAPAL, Miribel (Champion Murielle) ;
- SMIRCLAID La Platière (Gangloff Anne) ;
- Université d'Avignon (Banton Olivier, Travi Yves) ;
- Université de Besançon (Chauve Pierre) ;
- Université de Montpellier (Drogue Claude, Jourde Hervé, Pistre Severin) ;
- Université de Savoie (Dzikowski Marc, Josnin Jean-Yves, Nicoud Gérard) ;
- ZABR (Clémens Anne).

Bibliographie

Bibliographie dimension physique

Al-Bitar A. (2007) – Modélisation des écoulements en milieux poreux hétérogènes 2D/3D avec couplages surface/souterrain et densitaires. Mémoire de thèse de doctorat, Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse.

Anus S. (1998) – Liaison hydraulique nappe-rivière. Rapport de DESS « Hydrogéologie et environnement », Université d'Avignon et des pays de Vaucluse, 35p.

Bakalowicz M. (2006) – Aquifères karstiques. In. Aquifères et eaux souterraines. 2 tomes, Collection scientifique et technique BRGM ed, Tome 1, pp.59-73.

Batton-Hubert M. & Mimoun D. (2000) – Modélisation emboîtées et analyse spatiale du comportement hydrodynamique d'un système alluvial – Cas des épisodes de crue de la Loire. Revue Internationale de Géomatique, Vol. 10, n°3-4, pp. 313-333.

Beraud J.F., Clouet d'Orval M. (1975) – Etude du colmatage du lit d'une rivière en relation avec une nappe souterraine. Rapport BURGEAP.

Beraud J.F., Clouet d'Orval M. (1975) – Etude du colmatage du lit d'une rivière en relation avec une nappe souterraine. Bull. BRGM, n°3-4, pp.125-137.

Bouchard J.P. (1985) – Sureté des captages d'eau souterraine à proximité d'une rivière : abaques pour déterminer l'évolution du débit d'alimentation. La houille Blanche, n°1, pp53-71.

Bouillin O., Bellegarde B., Gouisset Y. & Martelat A. (2006) – Couloir rhodanien Provence Languedoc. Molasse du Miocène. In. Aquifères et eaux souterraines. 2 tomes, Collection scientifique et technique BRGM ed, Tome 2, pp.688-693.

Bravard J.P. (1985) – Le Haut-Rhône français : dynamique naturelle et impacts des travaux d'aménagement d'un fleuve et de sa vallée, Thèse, Lyon 3, Université Jean Moulin, Géographie et aménagement.

Carry C. (1971) Etude analytique de l'écoulement dans un milieu localement colmaté. La technique de l'eau, juillet-août, pp.41-42.

Castany G. (1985) – Liaisons hydrauliques entre les aquifères et les cours d'eau. Stygologia, Vol. 1, 125p.

Chauve P. (2006) – Jura. In. Aquifères et eaux souterraines. 2 tomes, Collection scientifique et technique BRGM ed, Tome 2, pp.561-590.

CIR12 (2006) – Circulaire DCE 2005/12 définition du bon état des eaux douces de surface
En ligne : http://www.ecologie.gouv.fr/article.php?id_article=81

Collin J.J. (2006) Les aquifères alluviaux. In. Aquifères et eaux souterraines. 2 tomes, Collection scientifique et technique BRGM ed, Tome 1, pp.74-90.

Coulet M., Vebard B. & Monnet P. (1997) – Impacts des aménagements hydroélectriques sur l'écosystème Rhône. FRAPNA Lyon, 181p.

Danneville L. (1997) – Contribution des eaux souterraines aux débits et à la qualité des eaux de surface : exemple de la Garonne, de ses sources à la confluence du Tarn. Mémoire de thèse de Doctorat, Université Paris XI Orsay (18 juillet 1995), Documents du BRGM 262, Eau-

Aménagement-Environnement, Editions BRGM, Orléans, 436p.

Dauvergne F., Mimoun D. & Graillot D. (2003) – Comparison between finite different methods and AEM for groundwater of a local aquifer in France (Loire). In. Proceeding of the fourth international conference on the analytic element method, novembre 2003, organisé par l'Ecole des Mines de Saint

DCEeau (2006) – Directive 2000/60/CE du parlement européen et du conseil du 23 octobre 2000 établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau.
En ligne : http://europa.eu.int/eur-lex/pri/fr/oj/dat/2000/l_327/l_32720001222fr00010072.pdf

De Marsily G. (1981) – Hydrogéologie quantitative. Collection des sciences de la terre, Masson ed.

Dehotin J., Braud I., Varado N., Desbionne S., Viallet P., Branger F., Saâdi Z. & Haverkamp R. (2005) – L'outil de modélisation hydrologique spatialisée POWER : concepts scientifiques et insertion dans une plate-forme de modélisation intégrée. CEMAGREF, UR Hydrologie-Hydrolique (Lyon), Hydrowide, LTHE, Journée de la modélisation du Cemagref, Clermont-Ferrand, Octobre 2005.

Dubois V. (1988) – Caractérisation d'une nappe en milieu alluvial à partir des chroniques piézométriques mensuelles, application aux relations nappes-rivières (Nappe de l'Hérault). Thèse de doctorat, Université Montpellier 2.

Dufour S. (2005) – Contrôles naturels et anthropiques de la structure de la dynamique des forêts riveraines des cours d'eau du bassin rhodanien (Ain, Arve, Drôme, Rhône). Mémoire de thèse de doctorat, Université Jean Moulin, Lyon 3, 244p.

Durbec A., Ille C. & Leduc C. (1991) – Caractérisation expérimentale de l'interface rivière-nappe sur l'île du Grand Gravier (Rhône). Hydrogéologie continentale, Vol. 6, n°2, pp.109-119.

Esteves M. & Ackerer P. (1988) – Etude et modélisation des échanges entre la rivière III et sa nappe alluviale dans le Ried de Colmar. In : Dahlblom P. (ed.), Lindh G. (ed.) Interaction between groundwater and surface water = Interaction entre eaux souterraines et eaux de surface. 1988, pp. 113-120. Interaction between Groundwater and Surface Water = Interaction entre Eaux Souterraines et Eaux de Surface : Symposium International, Ystad (SWE), 1988/05-06/30-03

Esteves M. (1988) – Modélisation des relations entre un aquifère alluvial et une rivière : application au Ried de Colmar (Alsace, France). Géographie, Congrès National des Sociétés Savantes, 113, Strasbourg, pp. 41-61.

Fourneaux J.C. (1975) – Etude des échanges nappe-rivière. La nappe de la plaine de l'Isère dans l'ombilic de Grenoble. Thèse de doctorat, Université de Grenoble.

Fruget JP (2003) Changements environnementaux, dérives écologiques et perspectives de restauration du Rhône Français : bilan de 200 ans d'influences anthropiques. VertogO La revue en sciences de l'environnements, Vol 4, N° 3, dec 2003, 17p.

Golaz C., Gomez E. & Ledoux E. (1998) Les principes du modèle couplé : illustration sur le bassin du Rhône et état d'avancement sur le bassin de la Seine.
En ligne : <http://www.sisyphe.jussieu.fr/internet/piren/rapports/archives/1998/theme1/th1gol.pdf>

Graillot D. & Paran F. (2003) – Projet ADNT : Aide à la Décision et à la Négociation Territoriale selon les principes de la gouvernance, CPER : Aide à la Décision Publique et Privée, rapport d'activité année 3. Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne, 84p.

Hantush M.S. (1965) – Pompages d'essais dans un puits à proximité d'une rivière colmatée. Bull. BRGM, Section III, n°3-4, pp. 139-149.

- Houdaille A. & de Marsily G. (1989) – Débits soustraits à une rivière par pompage effectué dans une nappe alluviale : Application aux périodes d'été. *Revue de l'eau*.
- Košmelj K. (1982) – Méthodologie pour le traitement des variables hydriques du Haut-Rhône français. Thèse, Grenoble 2, Mathématiques appliquées, Sciences sociales.
- Lachassagne P. & Wyns R. (2006) – Aquifères socles. . In. *Aquifères et eaux souterraines*. 2 tomes, Collection scientifique et technique BRGM ed, Tome 1, pp.43-51.
- Lalbat F. (2006) – Fonctionnement hydrodynamique de l'aquifère du miocène du bassin de Carpentras (Vaucluse, France). Mémoire de thèse de Doctorat, Université d'Avignon Pays de Vaucluse, 203p. + annexes.
- Larocque M., Mangin A., Razack M. & Banton O. (1998) – Contribution of correlation and spectral analyses to the regional study of a large karst aquifer (Charente, France). *Journal of Hydrology*, 205, pp. 217-231.
- Lemacha H. (2006) – Modélisation bidimensionnelle de la recharge des nappes à surface libre par infiltration et de transport des solutés. Thèse de doctorat. UFR DESA : Hydrolique, Hydrologie et Pollution des ressources Hydriques, Université Ibn Tofail, Faculté des Sciences, Kenitra.
- Lienou G. (1996) - Relations écoulements de surface-écoulements souterrains dans le bassin versant de la Nema (Sine-Saloum, Sénégal), Dakar : ORSTOM, 1996, 112 p. multigr. Mém. DEA : Géol. Appliquée : Hydrogéol., Univ. Cheikh Anta Diop : Dakar. 1996/06/15.
- Mangin A. (1984) – Pour une meilleure connaissance des systèmes hydrologiques à partir des analyses corrélatoires et spectrale. *Journal of Hydrology* n°67, pp. 25-43.
- Margat J. & Roux J.C. (2006a) – Introduction générale. In. *Aquifères et eaux souterraines*. 2 tomes, Collection scientifique et technique BRGM ed, Tome 1, pp.10-11.
- Margat J. & Roux J.C. (2006b) – Aquifère et eaux souterraines. In. *Aquifères et eaux souterraines*. 2 tomes, Collection scientifique et technique BRGM ed, Tome 1, pp.23-40.
- Margat J. (1986) – Abrégé sur les eaux souterraines de la France. BRGM 86 SGN 623 eau.
- Margat J. (1988) – Vulnérabilité de l'eau souterraine aux pollutions. In. *Dictionnaire français d'hydrologie*, CNFSH.
En ligne : <http://www.cig.ensmp.fr/~hubert/glu/FRDIC/DICVULNE.HTM>
- Michal P. (1988) – Modes d'alimentation d'une nappe alluviale : nappe de la vallée du Rhône entre La Balme et Saint-Genix-sur-Guiers (Savoie). Thèse de docteur de 3^e cycle, option hydrogéologie, Université scientifique, technologique et médicale de Grenoble.
- Migayrou J. (1975) – Nappe alluviale du Rhin, échanges nappe-rivière. *Bull. BRGM*, Section 3, n°2, pp. 93-96.
- Mimoun D. (2004) – Spatialisation de l'information : une aide à l'analyse hydraulique et paysagère développée lors de la réhabilitation de sites post sites post-industriels, cas des réaménagements des gravières en eau en milieu alluvionnaire. Mémoire de thèse de doctorat, Ecole des Mines de Saint-Etienne, 362p.
- Paloc H. (1985) – Problèmes de protection de la qualité des eaux souterraines. *Theoretical background hydrogeology and practice of groundwater protection zones*, vol. 6, Heise ed.
- Paran F. (2005) – Représentations territoriales pour la gestion équilibrée d'un patrimoine écologique et anthropique dans le domaine de l'eau. Mémoire de thèse de doctorat « Sciences et Génie de l'Environnement », Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne, Université

Jean Monnet de Saint-Etienne, 297p + Annexes (190p.).

En ligne : <http://www.agora21.org/entreprise/sommaire7.html>

Peaudecerf P. (1970) – Calcul automatique de la diffusivité des nappes en relation avec un plan d'eau libre ? Rapport BRGM, n°70.

Peaudecerf P. (1973) – Relation entre nappe alluviale et un cours d'eau de surface, les programmes HYG1-HYG2. Bull. BRGM, Section III, n°2, pp.77-85.

Poligot-Pitsch S. (2002) Modélisation des échanges entre nappe et rivière : Application au Val d'Avaray. Mémoire de thèse de doctorat, Université Technologique de Compiègne.

Rambert B. (1971) – Application de l'analyse des hydrogrammes des cours d'eau à l'évaluation de l'écoulement souterrain. Rapport préliminaire, 34P. et rapport n°2 BRGM, 60p.

Rampoux J.P. (1992) – Aquifères n°12, 12bis, 12ter et 13, Caractéristiques géologiques et hydrogéologiques de la vallée du Rhône et de la basse vallée du Guiers en rive savoyarde, Synthèse des données générales existantes sur la nappe alluviale. CG Savoie, DDAF Savoie, 34p. + annexe.

Roux J.C. (2006a) – Aquifères et eaux souterraines. 2 tomes, Collection scientifique et technique BRGM ed.

Roux J.C. (2006b) Vulnérabilité des aquifères aux pollutions. In. Aquifères et eaux souterraines. 2 tomes, Collection scientifique et technique BRGM ed, Tome 1, pp.96-102.

Schindler A. (2006) – Etude des relations nappe-rivière, Bassin Rhône- Méditerranée. Rapport de licence, Agence de l'eau RMC, Université Lyon 1, 70p.

SIERM (2005a) – Catalogue des données techniques issues des processus redevances, Prélèvements d'eau, CAT_prelevement_2005.

En ligne : <http://sierm.eaurmc.fr/telechargement/bibliotheque.php?categorie=prelevements>

SIERM (2005b) – Catalogue des données techniques issues des processus redevances, Flux des pollutions industrielles par type d'activité et par ouvrage de destination, CAT_polind_etab_2005.

En ligne : <http://sierm.eaurmc.fr/telechargement/bibliotheque.php?categorie=pollution-industrielle-etablissement>

Triganon A., Dzikowski M., Novel J.P., Gray M., Zuppi G.M. & Parriaux A. (2003) Echanges nappe-rivière en vallée alpine : quantification et modélisation (Vallée d'Aoste, Italie). Can. J. Earth Sci., 40, pp. 775-786.

ZABR (2006) – Site Internet du Géorépertoire de la ZABR (Zone Atelier Bassin du Rhône).

En ligne : <http://metazabr.lyon.cemagref.fr/>

Zilliox L. (1989) – Relations eau de surface-eaux souterraines dans le bassin de l'île Domaniale. Rapport de synthèse PIREN, 124p.

Bibliographie dimension biologique : Végétation aquatique

Amoros C., Bornette G., et Henry C., 2000. A vegetation-based method for ecological diagnosis of riverine wetlands . *Environmental Management* 25 (2): 211-227.

Barroin G (1991) La réhabilitation des plans d'eau. *La Recherche* 22:1412-1422.

Bornette, G., et C. Amoros. 1991. Aquatic vegetation and hydrology of a braided river

floodplain. *Journal of Vegetation Science* 2: 497–512.

Carbiener, R., et E. Kapp. 1981. La végétation à *Potamogeton coloratus* Vahl., phytocénose oligotrophe très menacée des rivières phréatiques du Ried d'Alsace. Pages 585–600 in R. Tüxen (ed.), *Vegetation als anthropo-ökologischer Gegenstand*, Rinteln 5–8 April 1971–Gefährdete Vegetation und ihre Erhaltung, Rinteln 27–30 März 1972. *Berichte des Internationalen Symposium der Internationalen Vereinigung für Vegetationskunde* J. Cramer, Vaduz.

Carbiener, R., M. Trémolières, J. L. Mercier, et A. Ortscheit. 1990. Aquatic macrophyte communities as bioindicators of eutrophication in calcareous oligosaprobe stream waters (Upper Rhine plain, Alsace). *Vegetatio* 86: 71–88.

Haslam, S. M. 1982. Major factors determining the distribution of macrophytic vegetation in the watercourses of the European economic community. Pages 105–111 in *Proceedings of the EWRSNGH Symposium on Aquatic Weeds*.

Kohler, A., R. Brinkmeier, et H. Vollrath. 1974. Verbreitung und Indikatorwert der submersen Makrophyten in den Fließgewässern der Friedberger Au. *Berichte der Bayerischen Botanischen Gesellschaft zur Erforschung der Heimischen Flora* 45: 5–36.

Rivoire, E. & Bornette, G. 2006. Mise à jour des profils écologiques des espèces végétales aquatiques utilisés pour la méthode de diagnostic fonctionnel des zones humides péri-fluviales. Rapport réalisé dans le cadre du suivi scientifique du plan décennal de restauration hydraulique et écologique du Rhône, juillet 2006, 29 pages de texte + 56 pages d'annexes.

Robach F, Thiébaud G, Trémolières M, Muller S (1996) A reference system for continental running waters: plant communities as bioindicators of increasing eutrophication in alkaline and acidic waters in north-east France. *Hydrobiologia* 340:67-76.

Sakura, Y. 2000. Change of subsurface thermal regime caused by climatic change. *Japanese Journal of Limnology*, 61 (1) : 35-49.

Schnitzler, A., I. Eglin, F. Robach, et Trémolières M. 1996. Responses of aquatic macrophyte communities to levels of P and N nutrients in an old swamp of the Upper Rhine Plain (eastern France). *Ecologie* 21: 51–61.

Bibliographie dimension biologique : Invertébrés souterrains

AFNOR, 1992 Détermination de l'indice biologique global normalisé (IBGN). NF T 90-350.

AFNOR, 2000. Détermination de l'Indice biologique Diatomées (IBD). NF T 90-354.

AFNOR, 2002. Détermination de l'indice oligochètes de bioindication des sédiments (IOBS). NF T 90-390.

AFNOR, 2003. Qualité de l'eau - Détermination de l'indice biologique macrophytique en rivière (IBMR). NF T90-395.

AFNOR, 2004. Qualité de l'eau - Détermination de l'indice poissons en rivière (IPR). NF T90-344.

Amoros, C. et Petts. 1993. *Hydrosystèmes fluviaux*. Masson, Paris, 300 p.

Bou, C. 1974. Les méthodes de récolte dans les eaux souterraines interstitielles. *Annales de Spéléologie*, 29(4), 611-619.

Bou, C. et Rouch, R. 1967. Une nouveau champ de recherches sur la faune aquatique

souterraine. C.R. Acad. Sc. Fr, 265 : 369-370.

Claret, C., Marmonier, P., Dole-Olivier, M.J. et Castella, E. 1999. Effects of management works on the interstitial fauna of floodplain aquatic systems (River Rhône, France). *Biodiversity and Conservation*, 8/9, 1179-1204.

Creuzé des Châtelliers, M. 1991. Dynamique de répartition des biocénoses interstitielles du Rhône en relation avec des caractéristiques géomorphologiques. Thèse de Doctorat, Université Lyon 1, 1991.

Creuzé des Châtelliers, M. 1991. Dynamiques de répartition des biocénoses interstitielles du Rhône en relation avec des caractéristiques géomorphologiques (secteurs de Brégnier-Cordon, Miribel-Jonage et Donzère-Mondragon). Thèse de Doctorat, Université Lyon 1, 161 p.

Creuzé des Châtelliers, M., et Marmonier, P. 1993. Ecology of the benthic and interstitial Ostracods (Crustacea) of the Rhône river, France. *Journal of Crustacean Biology* 13, 268-279.

Danielopol, D.L., Gibert, J et Griebler, C. 2000. Efforts of the European Commission to Improve Communication between Environmental Scientists and Policy-makers. *Environmental Science and Pollution Research*, 13(2), 138-139.

Danielopol, D.L., Gibert, J. , Griebler, C., Gunatilaka, A., Hahn, H.J., Messana, G., Notenboom, J. et Sket, B. 2004. Incorporating ecological perspectives in European groundwater management policy. *Environmental Conservation*, 31(3), 1-5.

Dole, M. J., et Chessel, D. 1986. Stabilité physique et biologique des milieux interstitiels de deux stations du Haut-Rhône. *Annales de Limnologie* 22(1), 69-81.

Dole, M.J. 1983. Le domaine aquatique souterrain de la plaine alluviale du Rhône à l'Est de Lyon : écologie des niveaux supérieurs de la nappe. Thèse de Doctorat, Université Lyon 1, 168 p.

Dole-Olivier, M. J., and Marmonier, P. 1992a. Effects of spates on the vertical distribution of the interstitial community. *Hydrobiologia*, 230, 49-61.

Dole-Olivier, M. J., and Marmonier, P. 1992b. Patch distribution of interstitial communities : prevailing factors. *Freshwater Biology*, 27, 177-191.

Dole-Olivier, M. J., Creuzé des Châtelliers, M. et Marmonier, P. 1993. Repeated gradients in subterranean landscape. Example of the stygofauna in the alluvial floodplain of the Rhône River (France). *Archiv für Hydrobiologie*, 127(4), 451-471.

Dole-Olivier, M. J., Marmonier, P. et Befly, J.L. 1997. Response of invertebrates to lotic disturbance : is the hyporheic zone a patchy refugium ? *Freshwater Biology*, 37, 257-276.

Dole-Olivier, M.J., Malard, F., Ferreira, D. et Gibert, J. 2005. Biodiversité dans les eaux souterraines. *La Houille Blanche*, 3, 39-44.

Ferreira, D. 2000. Un test du concept de corridor hyporhéique dans un hydrosystème glaciaire. Rapport technique de DEA Analyse et Modélisation des Systèmes Biologiques, Université Lyon 1, 30 p.

Ferreira, D. 2005. Biodiversité aquatique souterraine de France: base de données, patrons de distribution et implications en termes de conservation. Thèse de Doctorat, Université Lyon 1, 444 p.

Ferreira, D., Dole-Olivier, M.J., Malard, F., Deharveng, L. et Gibert, J. 2003. Faune aquatique souterraine de France : base de données et éléments de biogéographie. *Karstologia*, 42(2), 15-22.

Gibert, J., Brancelj, A., Camacho, A., Castellarini, F., DeBroyer, C., Deharveng, L., Dole-Olivier M.J., Douady, C., Galassi, D., Malard, F., Martin, P., Michel, G., Sket, B., Stock, F., Trontelj, P. et Valdecasas, A. 2005. Groundwater Biodiversity. Protocols for the ASsessment and Conservation of Aquatic Life In the Subsurface (PASCALIS): overview and main results. Proceedings on Symposium on World Subterranean Biodiversity, J. Gibert, Univ. Lyon 1 Ed., Lyon France. 39-51.

Gibert, J., Stanford, J.A., Dole-Olivier, M.J. et Ward J.V. 1994. Basic attributes of groundwater ecosystems and prospects for research. In : Groundwater Ecology, J. Gibert, D.L. Danielopol et Stanford. J.A. (Eds), Academic Press, San Diego, p. 7-40.

Gibert, J., Stanford, J.A., Dole-Olivier, M.J. et Ward, J.V. 1994. Chap. 1 - Basic attributes of groundwater ecosystems and prospects for research. In : Groundwater Ecology. J. Gibert, D.L. Danielopol & J.A. Stanford Eds., Academic Press, 7-40.

Ginet, R. 1982. Structure et fonctionnement des écosystèmes du Haut-Rhône français. XXIV. Les Amphipodes des eaux interstitielles en amont de Lyon. Pol. Archiv für Hydrobiologie, 29(2), 231-237.

Lafont, M. et Vivier, A. 2006. Oligochaete assemblages in the hyporheic zone and coarse surface sediments : their importance for understanding of ecological functioning of watercourses. Hydrobiologia, 564, 171-181.

Lafont, M. 1989. Contribution à la gestion des eaux continentales : utilisation des oligochètes comme descripteurs de l'état biologique et du degré de pollution des eaux et des sédiments. Thèse d'Etat, Université Lyon 1, 311 p.

Lafont, M. et Durbec, A. 1990. Essai de description biologique des interactions entre eau de surface et eau souterraine : vulnérabilité d'un aquifère à la pollution d'un fleuve. Annales de Limnologie, 26(2-3), 119-129.

Lafont, M., Durbec, A. et Ille, C. 1992. Oligochaete worms as biological describers of the interactions between surface and groundwaters : a first synthesis. Regulated Rivers, 7, 65-73.

Marmonier, P. 1988. Biocénoses interstitielles et circulation des eaux dans le sous-écoulement d'un chenal aménagé du Haut-Rhône français. Thèse de Doctorat, Université Lyon 1, 240 p.

Marmonier, P. et Dole, M.J. 1986. Les amphipodes des sédiments d'un bras court-circuité du Rhône. Sciences de l'Eau, 5, 461-486.

Marmonier, P., and Creuzé des Châtelliers, M. 1991. Effects of spates on interstitial assemblages of the Rhône River. Importance of spatial heterogeneity. Hydrobiologia, 210, 243-251.

Marmonier, P., Claret, C. et Dole-Olivier, M.J. 2000. Interstitial fauna in newly-created floodplain canals of a large regulated river. Regulated Rivers: Research and Management, 16:23-36.

Marmonier, P., Claret, C., Creuzé des Châtelliers, M., Dole-Olivier, M.J. et Gibert, J. 1997. Anthropisation des plaines alluviales et biodiversité des communautés interstitielles. Rapport final pour le Ministère de l'Environnement, Comité « Ecologie et gestion du patrimoine naturel », 91 p.

Marmonier, P., Dole-Olivier, M.J. et Creuzé des Châtelliers, M. 1992. Spatial distribution of interstitial assemblages in the floodplain of the Rhône river. Regulated Rivers 7, 75-82.

Marmonier, P., Vervier, P., Gibert, J. et Dole-Olivier, M.J. 1993. Biodiversity in ground waters. Trends in Ecology and Evolution, 8, 392-395.

Bibliographie

Martin, D. 1978. Le milieu hyporhéique du Rhône à Evieu (Ain) et d'un cours d'eau du Bas-Bugey (Ain). Rapport technique de DEA Ecologie Fondamentale et Appliquée des Eaux Douces Continentales, Université Lyon 1, 40 p.

Mermillod-Blondin, F. 1996. Fonctionnement de la zone hyporhéique le long d'un profil seuil-mouille-seuil. Rapport technique de DEA Analyse et Modélisation des Systèmes Biologiques, Université Lyon 1, 30 p.

Plesa, C. 1985. Microglossaire de stygologie. *Theoretical and Applied Karstology*, 2, 25-45.

Reygobellet, J.L., Mathieu, J., Laurent, R., Gibert, J. et Renault, P. 1974. Répartition du peuplement par rapport à la géomorphologie de la grotte de la cascade de Glandieu (Ain). *Spelunca Mémoires*, 8, 195-204.

Thienmann, A. 1926. Die Binnengewässer Mitteleuropa. In : *Die BinnengeWässer. Einzeldarstellung aus der Limnologie und ihren Nachbargebieten*, 1, 255 p.

Liste des figures

Figure 1. Organigramme méthodologique.....	3
Figure 2. Tableau d'inventaire de données	8
Figure 3. Liste ordonnée de la faune stygobie du Rhône à l'amont de Lyon. L'ordination proposée correspond à la fois aux gradients verticaux, transversaux et longitudinaux (D'après Dole-Olivier et al. 1993).	19
Figure 4. Tableau des informations apportées par les quatre espèces de Candoninae stygobies (Crustacés Ostracodes) des plaines alluviales de l'Ain et du Rhône (D'après Marmonier 1988).	20
Figure 5. Tableau de la liste des espèces d'oligochètes AED (d'après Lafont et Vivier 2006).	21
Figure 6. Description biologique des échanges hydriques sur le site de Crépieux-Charmy en juillet 1994 d'après l'examen des peuplements d'oligochètes (O) et de crustacés (C) (d'après Lafont et Vivier 2006). Upwellings : exfiltration des eaux souterraines vers les eaux superficielles ; downwellings : infiltration des eaux superficielles dans les eaux souterraines	23
Figure 7. Fréquence relative d'occurrence de quelques espèces végétales aquatiques dans trois niveaux de trophie des eaux (oligotrophe, mésotrophe, eutrophe) et occurrence habituelle dans les écosystèmes alimentés par des eaux souterraines (extrait de Amoros, C. Bornette, G. & Henry, C. 2000. A Vegetation-Based Method for Ecological Diagnosis of Riverine Wetlands. Environmental Management 25(2) : 211-227).	24
Figure 8. profils écologiques des espèces pour lesquelles les tests étaient significatifs (tiré de Rivoire & Bornette, 2006).	26
Figure 9. Carte de distribution des stations hyporhéiques et phréatiques recensées sur l'ensemble du corridor fluvial du Rhône. Les principaux fleuves représentés sont issus de BD CARTHAGE® (Edition 1 - 2002, IGN, Paris, http://www.ign.fr).	32
Figure 10. Caractéristiques et positionnement des aménagements sur le Rhône (Coulet & al., 1997)	41
Figure 11. Principe de codification des configurations hydrogéologiques	45
Figure 12. Exemple de la mise en place de la codification des configurations hydrogéologiques sur le secteur de Brégnier-Cordon	46
Figure 13. Quatre formations géologiques différentes sur le secteur de la chute de Brégnier-Cordon	49
Figure 14. Tableau récapitulatif des configurations hydrogéologiques simplifiées présentes sur le secteur de Brégnier-Cordon	59
Figure 15. Carte de localisation des planches présentant les configurations hydrogéologiques d'échange sur le Haut-Rhône Français.....	60
Figure 16. Configurations hydrogéologiques d'échange de la frontière suisse à Seyssel (Planche 1)	61
Figure 17. Configurations hydrogéologiques d'échange de la frontière suisse à Seyssel (Planche 2)	62
Figure 18. Configurations hydrogéologiques d'échange de la chute de Chautagne (Planche 3)	63
Figure 19. Configurations hydrogéologiques d'échange de la chute de Belley (Planche 4).....	64
Figure 20. Configurations hydrogéologiques d'échange de la chute de Belley (Planche 5).....	65
Figure 21. Configurations hydrogéologiques d'échange de la chute de Belley (Planche 6).....	66
Figure 22. Configurations hydrogéologiques d'échange de la chute de Brégnier-Cordon (Planche 7)	67
Figure 23. Configurations hydrogéologiques d'échange de la chute de Brégnier-Cordon (Planche 8)	68
Figure 24. Configurations hydrogéologiques d'échange de la chute de Sault-Brénaz (Planche 9).....	69
Figure 25. Configurations hydrogéologiques d'échange de la chute de Sault-Brénaz (Planche 10).....	70
Figure 26. Configurations hydrogéologiques d'échange du Port de Lagnieu au Pont de Jons (Planche 11). 71	
Figure 27. Configurations hydrogéologiques d'échange du Port de Lagnieu au Pont de Jons (Planche 12). 72	
Figure 28. Configurations hydrogéologiques d'échange du Pont de Jons à Lyon (Planche 13)	73

Bibliographie

Figure 29. Configurations hydrogéologiques d'échange du Pont de Jons à Lyon (Planche 14)	74
Figure 30. Les relations d'échanges sur nappes/Rhône de Genève à Vienne (d'après Schindler, 2006)	77
Figure 31. Les relations d'échanges sur nappes/Rhône de Vienne au delta de Camargue (d'après Schindler, 2006)	78
Figure 32. Histogramme des longueurs kilométriques cumulées de cours d'eau pour chaque type de relations d'échanges nappe/Rhône sur l'ensemble du cours du fleuve (la légende est explicitée dans le paragraphe ci-dessous)	80
Figure 33. Histogramme des longueurs kilométriques cumulées de cours d'eau pour chaque type de relations d'échanges nappe/Rhône sur le cours principal du fleuve (la légende est explicitée dans le paragraphe ci-dessous)	81
Figure 34. Histogramme des longueurs kilométriques cumulées de cours d'eau pour chaque type de relations d'échanges nappe/Rhône sur les dérivations du fleuve (la légende est explicitée dans le paragraphe ci-dessous)	81
Figure 35. Schéma de linéarisation des relations d'échange nappe/Rhône-Amont	83
Figure 36. Schéma de linéarisation des relations d'échange nappe/Rhône-Moyen	84
Figure 37. Schéma de linéarisation des relations d'échange nappe/Rhône-Aval	87
Figure 38. Schéma de linéarisation des relations d'échange nappe/Rhône-Maritime	89
Figure 39. Organisation d'un aménagement CNR dit « au fil de l'eau »	93
Figure 40. Fourchettes de perméabilité et de transmissivité utilisées sur le secteur de Brégnier-Cordon Les chiffres entre crochets renvoient à l'origine des valeurs plus haut dans le texte	94
Figure 41. Débits de nappe fondés sur les perméabilités pour le secteur de La Charrière	95
Figure 42. Débits de nappe fondés sur les transmissivités pour le secteur de La Charrière	96
Figure 43. Caractéristique de la source lavoir (Michal, 1988)	96
Figure 44. Débits de nappe fondés sur les perméabilités pour le secteur de Bovinel	97
Figure 45. Débits de nappe fondés sur les transmissivités pour le secteur de Bovinel	97
Figure 46. Volumes prélevés dans la nappe de Bovinel (SIERM, 2005a)	98
Figure 47. Débits de nappe fondés sur les perméabilités pour le secteur des Rubattiers	98
Figure 48. Débits de nappe fondés sur transmissivités pour le secteur des Rubattiers	99
Figure 49. Caractéristique de la Fontaine de Lion (Michal, 1988)	99
Figure 50. Débits de nappe fondés sur les perméabilités pour le secteur de Saint-Genix-sur-Guiers	100
Figure 51. Débits de nappe fondés sur transmissivités pour le secteur de Saint-Genix-sur-Guiers	100
Figure 52. Volumes prélevés dans la nappe de Saint-Genix-sur-Guiers (SIERM, 2005a) et rejets dans le Rhône (SIERM, 2005b)	101
Figure 53. Caractéristique de la source Gourgux (Michal, 1988)	101
Figure 54. Caractéristique de la source « RN » (Michal, 1988)	101
Figure 55. Débits de nappe évalués avec la formule de Darcy au niveau du secteur de La Charrière	102
Figure 56. Débits de nappe évalués avec la formule de Darcy au niveau du secteur de Bovinel	103
Figure 57. Débits de nappe évalués avec la formule de Darcy dans le secteur des Rubattiers	104
Figure 58. Débits de nappe évalués avec la formule de Darcy dans le secteur de Saint-Genix-sur-Guiers	105
Figure 59. Tendances d'évolution des débits de nappe fondées sur la perméabilité de la situation avant aménagement et après aménagement	106
Figure 60. Tendances d'évolution des débits de nappe fondées sur la transmissivité de la situation avant aménagement et après aménagement	106
Figure 61. Débit de fuite des digues dans les contre-canaux	107
Figure 62. Présentation schématique de la topographie de l'aménagement de Brégnier-Cordon.	109

Figure 63. Principales données CNR sur la chute de Brégnier-Cordon.....	110
Figure 64. Découpage de la chute CNR de Brégnier-Cordon.....	111
Figure 65. Carte du canal de Rossillon et la haute terrasse du Würm.....	114
Figure 66. Photo 1, à gauche : les écoulements de la terrasse vers le canal, dans celui-ci les galets sans vase soulignent les arrivées d'eau par le fond du canal (sauf si ce canal est régulièrement curé). Photo 2, à droite : Tube de décharge avec eau jaillissante du canal de Rossillon. Les deux photos sont positionnées sur la carte de la figure 65.	114
Figure 67. Localisation des débits des contre-canaux.	116
Figure 68. Localisation des débits de fuite des digues du Rhône alimentant les contre-canaux.....	117
Figure 69. Classification des nappes à l'aval de Brégnier-Cordon (Košmelj, 1982)	120
Figure 70. Relations entre nappes à l'aval de Brégnier-Cordon (Košmelj, 1982)	120
Figure 71. Différentes zones identifiées d'après les caractéristiques hydrogéomorphologiques et physico-chimiques des eaux, localisation des 16 stations échantillonnées et liste des espèces stygobies par station (d'après Creuzé des Châtelliers 1991).	122
Figure 72. Carte de distribution des données de sectorisation hydraulique (d'après Schindler 2006) et des données d'invertébrés stygobies (Ferreira, données non publiées) sur le secteur du Rhône allant de Brégnier-Cordon à Jons.....	123
Figure 73. Localisation des 3 stations échantillonnées sur le canal de drainage et liste des espèces stygobies trouvées par station (d'après Claret et al. 1999 et Marmonier et al. 2000).....	126
Figure 74. Examen cartographique préliminaire des indicateurs de végétation aquatique – Secteur de La Charrière.....	128
Figure 75. Examen cartographique préliminaire des indicateurs de végétation aquatique – Secteur des Rubattiers (nord).....	129
Figure 76. Examen cartographique préliminaire des indicateurs de végétation aquatique – Secteur des Rubattiers (sud)	130
Figure 77. Examen cartographique préliminaire des indicateurs de végétation aquatique – Secteur de Saint-Genix-sur-Guiers	131
Figure 78. Structure relationnelle de la base de données.....	135

Table des matières complète

Introduction générale	1
1. <i>Besoins et objectifs</i>	1
1.1. Identification des connaissances scientifiques requises.....	2
1.2. Identification des compétences ZABR mobilisées	2
1.3. Organisation et suivi du projet	2
1.4. Méthodologie et programme de travail	3
2. <i>Rappel des phases prévues du projet et actualisation</i>	4
2.1. Phase initiale - 2006/2007 : synthèse des données existantes	4
2.1.1. Bilan sur l'existant en matière d'étude sur la connaissance des échanges nappe-rivière sur le cours du Rhône et revue	4
2.1.2. Visualisation des informations obtenues	5
2.1.3. Identification des zones à fortes relations et enjeux de préservation écologiquement patents	5
2.1.4. Synthèse finale et cahier des charges de la suite du programme (phases 2)	5
2.2. Phase 2 - 2007/2009 : Etude par secteurs et acquisition de données complémentaires, première approche de bilan	5
2.3. Phase 3 – 2010 : test et ajustement de la méthodologie proposée.....	6
2.4. Phase 4 – 2011/2012 : exploitation d'un outil pour la caractérisation des échanges des principaux cours d'eau du bassin, modélisation	6
Partie I – État actuel des méthodes et des connaissances pour l'évaluation des relations d'échange entre le fleuve Rhône et ses nappes d'accompagnement.....	7
1.1. <i>Méthodes d'évaluation des échanges nappes/rivière</i>	9
1.1.1. Hydrophysique : bilans, formules, modèles et statistiques	9
1.1.1.1. Outils et méthodes d'évaluation des relations nappe-rivières	9
1.1.1.2. Méthodes quantitatives : formules et solutions analytiques, modèles simplifiés	10
1.1.1.3. Modélisation des échanges nappes-rivière	11
1.1.1.4. Méthodes bilans et statistiques	15
1.1.2. Hydrobiologie : invertébrés souterrains	18
1.1.2.1. Utilisation des espèces interstitielles pour définir les échanges eaux de surface/eaux souterraines.....	22
1.1.2.2. Utilisation des Oligochètes benthiques et interstitiels pour définir les échanges eaux de surface/eaux souterraines.....	22
1.1.3. Hydrobiologie : macrophytes	23
1.1.4. Hydrochimie : physico-chimie classique et isotopique.....	27
1.1.4.1. Méthodes isotopiques.....	27
1.1.4.2. Méthodes physico-chimiques et fond géochimique	27
1.2. <i>Connaissances et données</i>	27
1.2.1. Dimension hydrophysique.....	27
1.2.2. Dimension hydrobiologique : invertébrés souterrains.....	31
1.2.2.1. Données faunistiques	31
1.2.2.2. Données bibliographiques	32
1.2.2.3. Modèles de distribution spatio-temporelle des peuplements interstitiels (LHES)	33
1.2.3. Dimension hydrobiologique : végétaux aquatiques	35
1.2.4. Dimension hydrochimie.....	35
1.3. <i>Bilan : intérêt de l'approche inter-disciplinaire</i>	35
1.3.1. Intérêt d'une évaluation des échanges multi-dimensionnelle	35
1.3.2. Bilan sur l'information inventoriée et sa localisation	36

Partie II – Le Rhône du Léman à la Camargue : hypothèses de sectorisation.....	39
<i>II.1. Sectorisations anthropique et climatique.....</i>	<i>40</i>
<i>II.2. Caractérisation des relations d'échange</i>	<i>44</i>
II.2.1. Configurations hydrogéologiques pour l'analyse des échanges entre le Rhône et ses nappes d'accompagnement.....	44
II.2.1.1. Principe de codification :	45
II.2.1.2. Exemple de la mise en place du code pour une zone donnée :	46
II.2.1.3. Présentation des différentes configurations de base (sans la géologie):.....	47
II.2.1.4. Application au site test de Brégnier-Cordon.....	49
II.2.1.5. Schématisation le long du Rhône à Brégnier-Cordon.....	50
II.2.1.6. Tableau récapitulatif des schématisations simplifiées le long du Rhône à Brégnier-Cordon (Figure 14.).....	59
II.2.2. Définition des situations d'échange	75
II.2.2.1. Echanges inexistant, très faibles, indirects ou équilibre.....	75
II.2.2.2. Echanges nappe/cours d'eau.....	75
II.2.2.3. Eléments de perturbations des échanges nappe/cours d'eau.....	75
<i>II.3. Hypothèses de travail sur les relations d'échange nappe/fleuve Rhône et bilan.....</i>	<i>76</i>
II.3.1. Hypothèses de travail et sectorisation sur le cours du Rhône.....	76
II.3.2. Comparaison avec les sectorisations initiales	82
Partie III – Application sur un site test : la chute CNR de Brégnier-Cordon (Ain, France).....	91
<i>III.1. Présentation du zoom-test sélectionné : la chute de Brégnier-Cordon.....</i>	<i>91</i>
<i>III.2. Bilan sur les échanges entre le Rhône et ses nappes d'accompagnement – application à la zone test de Brégnier-Cordon.....</i>	<i>93</i>
III.2.1. Du point de vue de l'hydraulique : essai de représentation et de quantification des échanges nappes-rivière.....	93
III.2.1.1. Estimation des débits de nappe et de fuite des digues à partir d'une loi de filtration en milieu perméable (formule de Darcy) : approche par les gradients hydrauliques	94
III.2.1.2. Estimation des débits de nappe fondée sur les débits des contre-canaux (Figure 67.)	107
III.2.1.3. Ce que dit la littérature des relations d'échange nappes/Rhône à Brégnier-Cordon.....	118
III.2.2. Du point de vue de la physico-chimie - conductivité.....	121
III.2.3. Du point de vue des invertébrés souterrains - Rappel sur les données faunistiques disponibles sur le secteur de Brégnier-Cordon.....	123
III.2.4. Du point de vue de la végétation aquatique.....	127
Conclusion de cette première phase de travail.....	133
1. Premier bilan sur la mise en évidence de correspondances hydrologique et biologique pour l'évaluation des échanges nappes/Rhône.....	133
2. Proposition pour la structuration d'une base de données SIG des échanges nappes-rivière.....	134
2.1. Objectif	134
2.2. Structure de base.....	134
2.3. Structures des tables	136
2.4. Fonctionnalités	137
Partie IV – Phases ultérieures de travail : phase 2	139
<i>IV.1. Acquisition de données complémentaires.....</i>	<i>139</i>
IV.1.1. Données hydrauliques	139
IV.1.2. Données de végétation.....	141
IV.1.3. Données invertébrés.....	141
IV.1.3. Données isotopiques	142
<i>IV.2. Proposition d'un site test « naturel » complémentaire au site de Brégnier-Cordon : la confluence Rhône/Drôme.....</i>	<i>142</i>

IV.3. Proposition d'un site test anthropisé sujet à conflits d'usage sur la ressource en eau (ex : Ile de La Platière)	143
IV.4. Autres sites potentiels	144
IV.5. Valorisation et mise à disposition des résultats en fonction de l'état d'avancement de l'action de recherche	144
Etablissements partenaires	147
Bibliographie	149
<i>Bibliographie dimension physique</i>	149
<i>Bibliographie dimension biologique : Végétation aquatique</i>	152
<i>Bibliographie dimension biologique : Invertébrés souterrains</i>	153
Liste des figures	157
Table des matières complète	161
Annexes – Volume séparé et Compléments – CD-ROM	165
Définitions : aquifères et cas particuliers d'aquifères.....	167

Annexes – Volume séparé et Compléments – CD-ROM

Le contenu des annexes dans le volume séparé est le suivant :

Annexe 1. Liens avec le Plan Rhône 2

Annexe 2. Tableau de données et de références

Annexe 2.1. Université d'Avignon, Faculté des sciences, laboratoire d'hydrogéologie

Annexe 2.2. CEMAGREF Lyon, UR BELY

Annexe 2.3. Université de Savoie, Chambéry

Annexe 2.4. Université Montpellier, UMR Hydrosociétés UM2 laboratoire d'hydrogéologie

Annexe 3. Tableau des bases de données (données, bibliographie, modèles) : exemples

Annexe 4. Typologie des aquifères en connexion avec le Rhône

4.1. Aquifères de socle

4.2. Aquifères karstiques

4.3. Aquifères alluviaux

Annexe 5. Méthodes quantitatives : formules et solutions analytiques, modèles simplifiés

Annexe 6. Extrait du tableau des données

Annexe 6.1. Macrophytes sur le Rhône

Annexe 6.2. Physico-chimie sur le Rhône

Annexe 7. Intégration dans le géorépertoire ZABR

7.1. Rappels sur le géorépertoire ZABR

7.2. Glossaire et champs du géorépertoire

7.3. Ressources du géorépertoire et inventaire actuel

Annexe 8. Cartes du géorépertoire de la localisation des données selon leur nature

Annexe 8.1. De Genève à Brégnier-Cordon

Annexe 8.2. De Brégnier-Cordon à Vienne

Annexe 8.3. De Vienne à Loriol-sur-drôme

Annexe 8.4. De Loriol-sur-Drôme à Arles

Annexe 8.5. D'Arles à la Méditerranée

Annexe 9. Configurations hydrogéologiques sur le Haut-Rhône français

9.1. Sur le secteur de la frontière Suisse au barrage de Seyssel

9.2. Sur le secteur de la dérivation de chautagne

9.3. Sur le secteur de la dérivation de beley

9.4. Sur le secteur la dérivation de Brégnier-Cordon

9.5. Sur le secteur du pont d'Evieu à Sault-Brenaz (Port Lagnieux)

9.6. Sur le secteur de Port Lagnieux au Pont de Jonc

9.7. Sur le secteur du Pont de Jonc à la confluence Rhône Saône

Annexe 10. Premières sectorisations des relations Rhône/nappes du Lac Léman au Delta de Camargue

10.1. Allure générale du Rhône entre le lac Léman et la mer Méditerranée

10.2. Coupures régionales

10.3. Description des secteurs

Annexe 11. Sectorisation selon les masses d'eau de la DCE

11.1. Découpage DCE eaux souterraines et superficielles : Fleuve Rhône

11.2. Découpage DCE eaux souterraines : Haut-Rhône

11.3. Découpage DCE eaux souterraines : Bas-Rhône

11.4. Exemple de fiche masse d'eau souterraine DCE eau selon le BRGM

Annexe 12. Comptes-rendus de réunion et de terrain

Annexe 12.1. Réunion du 8 novembre 2005 – Agence de l'Eau (Lyon)

Annexe 12.2. Réunion du 5 juillet 2006 – Université Lyon 1

Annexe 12.3. Réunion du 6 septembre 2006 – Agence de l'eau (Lyon)

Annexe 12.4. Réunion du 2 février 2007 – Université Lyon 1, Villeurbanne : Comité Technique

Annexe 12.5. Sortie de terrain du 16 mars 2007 à Brégnier-Cordon

Annexe 13. Fiches ZABR

Annexe 13.1. Fiche action de recherche valorisation n°A11

Annexe 13.2. Fiche de restitution année 1 action de recherche valorisation n°A11

Le CD-ROM contient :

- deux fichiers au format pdf et Word contenant une version numérique du présent rapport (ZABRphase1) et de ses annexes (ZABRphase1annexes) ;
- une première base de données Excel contenant les connaissances inventoriées par chaque équipe de recherche impliquée dans l'action de recherche et les partenaires sollicités (Inventaire Connaissances.xls) ;
- une deuxième base de données Excel contenant un complément de connaissances sur la végétation aquatique (Inventaire Macrophytes.xls) ;
- une base de données Excel contenant un complément de connaissances sur les invertébrés souterrains (Inventaire Invertébrés.xls).

Ces bases de données sont bien sûr évolutives et continueront à être alimentées tout au long de l'action de recherche.

Définitions : aquifères et cas particuliers d'aquifères

Les définitions qui suivent sont tirées du glossaire de l'ouvrage intitulé « Aquifères et eaux souterraines » dirigé par J.C. Roux (2006a).

Selon cet ouvrage, un **aquifère** est « un corps (couche, massif) de roches perméables comportant une zone saturée – ensemble du milieu solide et de l'eau contenue -, suffisamment conducteur d'eau souterraine pour permettre l'écoulement significatif d'une nappe souterraine et le captage de quantités d'eau appréciables. Un aquifère peut comporter une zone non saturée ». Le terme aquifère peut aussi être utilisé en tant qu'adjectif « qui contient de l'eau en partie mobilisable par gravité, conducteur d'eau ». Un **aquifère libre** « comporte une surface libre et une zone non saturée », alors qu'un **aquifère captif** est « un aquifère entièrement saturé comportant une nappe captive, donc sans surface libre ni zone non saturée, délimité au toit par des formations à perméabilité très faible faisant obstacle à tout flux appréciable ».

Dans le cadre de cette étude ce sont les aquifères libres qui nous intéressent le plus, notamment les **nappes libres** « nappe à surface libre, comprise dans un aquifère qui comporte une zone non saturée, dans laquelle varie le niveau piézométrique et dont les caractéristiques sont semblables à celles de la zone saturée. Les nappes d'accompagnement sont en forte liaison hydraulique avec un cours d'eau permanent, leur exploitation peut avoir un effet préjudiciable sur le débit d'étiage superficiel.

De plus, il existe une terminologie précise pour décrire des situations particulières :

- **aquiclude** : « corps (couche, massif) de roches saturées, très faiblement conducteur d'eau souterraine, dans lequel le captage de quantités d'eau appréciables n'est pas possible dans des conditions économiques acceptables, et à travers lequel aucun flux de drainage significatif ne peut passer » ;

- **aquitard** : « corps de roches de faible perméabilité (couche semi-perméable), où le captage de quantités d'eau appréciables n'est pas possible, mais à travers lequel des transferts d'eau significatifs (drainance) sont possibles en provenance ou à destination d'aquifères contigus » ;

- **nappe perchée** : « nappe, généralement temporaire et localisée, résultant de l'interception de l'eau de percolation par un horizon peu perméable de faible étendue ».

Pour terminer, l'alimentation d'une nappe se fait par « apports d'eau externes naturels ou artificiels de toutes origines, à l'aquifère ».

Action recherche valorisation ZABR n°A 11

-

Evaluation des échanges nappes/rivière et de la part des apports souterrains dans l'alimentation des eaux de surface (cours d'eau, plans d'eau, zones humides)

Application au fleuve Rhône et à ses aquifères superficiels

Rapport final – Phase 1 – Annexes

Avril 2007

École Nationale Supérieure des Mines de Saint-Étienne (ENSM-SE)

Didier Graillot, Frédéric Paran, Roland Déchomets et Alix Germain

Centre SITE (Sciences, Informations et Technologies pour l'Environnement)

158, cours Fauriel - 42 023 Saint-Étienne Cedex 2

Université Claude Bernard Lyon I (UCBL)

*Janine Gibert et David Ferreira**

*Gudrun Bornette et Sara Pujalon***

Laboratoire « Écologie des Hydrosystèmes Fluviaux » UMR CNRS 5023 (EHF)

*Équipe « Hydrobiologie et Écologie Souterraine »

**Équipe « Écologie des Communautés Végétales »

Bâtiment F.A. FOREL

43, Boulevard du 11 Novembre 1918 - 69 622 Villeurbanne Cedex

CEMAGREF Lyon

Michel Lafont

UR Bely

3 bis, quai Chauveau - CP 220 - 69 336 Lyon cedex 09

Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse

2-4, Allée de Lodz

69 363 Lyon Cedex 07

Zone Atelier Bassin du Rhône (ZABR)

66, boulevard Niels Bohr - BP 2132

69 603 Villeurbanne Cedex

Table des matières

Annexe 1. Liens avec le Plan Rhône 2	1
Annexe 2. Tableau de données et de références.....	27
<i>Annexe 2.1. Université d'Avignon, Faculté des sciences, laboratoire d'hydrogéologie</i>	<i>27</i>
<i>Annexe 2.2. CEMAGREF Lyon, UR BELY.....</i>	<i>27</i>
<i>Annexe 2.3. Université de Savoie, Chambéry.....</i>	<i>28</i>
<i>Annexe 2.4. Université Montpellier, UMR Hydrosociences UM2 laboratoire d'hydrogéologie</i>	<i>29</i>
Annexe 3. Tableau des bases de données (données, bibliographie, modèles) : exemples ..	31
Annexe 4. Typologie des aquifères en connexion avec le Rhône.....	33
4.1. Aquifères de socle.....	33
4.2. Aquifères karstiques.....	34
4.3. Aquifères alluviaux	34
Annexe 5. Méthodes quantitatives : formules et solutions analytiques, modèles simplifiés	37
Annexe 6. Extrait du tableau des données.....	41
<i>Annexe 6.1. Macrophytes sur le Rhône</i>	<i>41</i>
<i>Annexe 6.2. Physico-chimie sur le Rhône.....</i>	<i>42</i>
Annexe 7. Intégration dans le géorépertoire ZABR	43
7.1. Rappels sur le géorépertoire ZABR	43
7.2. Glossaire et champs du géorépertoire	43
7.3. Ressources du géorépertoire et inventaire actuel	46
Annexe 8. Cartes du géorépertoire de la localisation des données selon leur nature	47
<i>Annexe 8.1. De Genève à Brégnier-Cordon</i>	<i>47</i>
<i>Annexe 8.2. De Brégnier-Cordon à Vienne.....</i>	<i>48</i>
<i>Annexe 8.3. De Vienne à Loriol-sur-drôme.....</i>	<i>49</i>
<i>Annexe 8.4. De Loriol-sur-Drôme à Arles</i>	<i>50</i>
<i>Annexe 8.5. D'Arles à la Méditerranée.....</i>	<i>51</i>
Annexe 9. Configurations hydrogéologiques sur le Haut-Rhône français	53
9.1. Sur le secteur de la frontière Suisse au barrage de Seyssel.....	53
9.2. Sur le secteur de la dérivation de Chautagne.....	57
9.3. Sur le secteur de la dérivation de Beley.....	64
9.4. Sur le secteur la dérivation de Brégnier-Cordon.....	78
9.5. Sur le secteur du pont d'Evieu à Sault-Brenaz (Port Lagnieux)	88
9.6. Sur le secteur de Port Lagnieux au Pont de Jonc	97
9.7. Sur le secteur du Pont de Jonc à la confluence Rhône Saône	101
Annexe 10. Premières sectorisations des relations Rhône/nappes du Lac Léman au Delta de Camargue	111
10.1. Allure générale du Rhône entre le lac Léman et la mer Méditerranée	111
10.2. Coupures régionales	111
10.3. Description des secteurs.....	112
Annexe 11. Sectorisation selon les masses d'eau de la DCE.....	115
11.1. Découpage DCE eaux souterraines et superficielles : Fleuve Rhône	115
11.2. Découpage DCE eaux souterraines : Haut-Rhône	117
11.3. Découpage DCE eaux souterraines : Bas-Rhône	118
11.4. Exemple de fiche masse d'eau souterraine DCE eau selon le BRGM.....	119
Annexe 12. Comptes-rendus de réunion et de terrain.....	121
<i>Annexe 12.1. Réunion du 8 novembre 2005 – Agence de l'Eau (Lyon).....</i>	<i>121</i>
<i>Annexe 12.2. Réunion du 5 juillet 2006 – Université Lyon 1.....</i>	<i>123</i>

<i>Annexe 12.3. Réunion du 6 septembre 2006 – Agence de l'eau (Lyon)</i>	<i>125</i>
<i>Annexe 12.4. Réunion du 2 février 2007 – Université Lyon 1, Villeurbanne : Comité Technique</i>	<i>129</i>
<i>Annexe 12.5. Sortie de terrain du 16 mars 2007 à Brégnier-Cordon.....</i>	<i>135</i>
Annexe 13. Fiches ZABR.....	145
<i>Annexe 13.1. Fiche action de recherche valorisation n°A11</i>	<i>145</i>
<i>Annexe 13.2. Fiche de restitution année 1 action de recherche valorisation n°A11.....</i>	<i>149</i>

Annexe 1. Liens avec le Plan Rhône 2

Contrat de projet interrégional plan Rhône

Volet qualité des eaux, ressource et biodiversité

Pilotage : Agence de l'eau en liaison avec DIREN de bassin sur le thème biodiversité

Philosophie générale et périmètre : Le programme d'actions se focalise sur les enjeux les plus aigus du fleuve vis-à-vis des objectifs de la Directive Cadre sur l'Eau et de la Directive Habitats. Il est conçu comme complémentaire aux démarches menées sur les affluents dans le cadre des contrats de rivière et de SAGE et se focalise donc sur le corridor fluvial sauf pour la lutte contre la micropollution où il intègre les bassins versants adjacents. Il intègre également pour partie le bassin de la Saône en complément des actions déjà inscrites dans le contrat de vallée inondable.

Les 5 objectifs opérationnels :

1. lutte contre la micropollution qui menace la qualité de la ressource ;
2. restauration fonctionnelle des tronçons court-circuités et des secteurs artificialisés ;
3. rétablissement de la circulation des poissons migrateurs sur le Rhône et ses affluents ;
4. création d'une infrastructure écologique reposant sur des modalités de gestion et de valorisation des milieux naturels rhodaniens (notamment Natura 2000) ;
5. meilleure connaissance du fonctionnement du fleuve et diffusion de l'information.

La maquette financière :

Coût global	Agence	MEDD	Régions	CNR	Europe	Maîtres d'ouvrages et autres financeurs (notamment Conseils Généraux)
134 M€	45 M€	3 M€ (1)	16 M€	19 M€	11 M€	40 M€

(1) programme 153 - Gestion des milieux et biodiversité

Enjeux majeurs :

- Obj. 1 : Réussir à créer une dynamique collective sur la lutte contre la pollution dispersée d'origine industrielle et agricole (pesticides) et une synergie d'interventions entre les différents acteurs (au sein de l'Etat et avec les différents financeurs) ;
- Obj. 2 : Réussir à relancer le « programme décennal de restauration hydraulique et écologique du Rhône » (augmentation des débits réservés sur le « vieux Rhône », restauration écologique des anciens bras : les « îlons »), en créant les conditions d'un portage plus fort par les collectivités locales ;
- Obj. 3 : Réussir à bâtir un programme d'actions réaliste et porté par tous les financeurs ;
- Obj. 4 : Réussir à mobiliser les Collectivités (Conseils Régionaux et Généraux) sur les territoires Natura 2000 ;
- Obj. 5 : Réussir à intégrer une vision prospective des usages dans les éléments de réflexion sur la gestion de la ressource (logique de développement durable).

Etat d'avancement, difficultés de contractualisation :

Le programme d'actions doit être affiné au cours des prochaines semaines sur la base d'un travail technique réalisé au sein d'un groupe de travail comprenant les principaux partenaires intéressés : Etat, Régions, Départements, structures intercommunales, socioprofessionnels et associations environnementales. Le comité de bassin est également associé de manière à veiller à la cohérence du programme envisagé avec le futur SDAGE.

Annexe : contenu du programme d'actions

▫ 1 : Lutter contre la micropollution qui menace la qualité de la ressource

En cohérence avec « l'état des lieux des masses d'eau » et l'élaboration du « programme de mesures » réalisés pour la mise en œuvre de la Directive Cadre, les actions prioritaires seront dirigées dans quatre directions principales :

- des actions collectives visant la réduction des pollutions toxiques (substances dangereuses) rejetées au Rhône par les sites industriels et les entreprises raccordées au réseau d'assainissement des grandes agglomérations riveraines du fleuve ;
- des actions collectives visant la réduction des pollutions par les produits phytosanitaires provenant de l'agriculture, notamment la viticulture très présente sur la vallée de la Saône et du Rhône ; cette action concernera également les sources non agricoles notamment les gestionnaires de grandes infrastructures routières et ferroviaires qui longent la vallée du Rhône.
- des actions visant la réduction des pollutions microbiologiques et des micropolluants provenant des autres sources en particulier les eaux pluviales et les sites et sols pollués (pollutions historiques) ;
- enfin, des actions visant la protection des grands aquifères utilisés pour l'alimentation en eau potable, en particulier vis-à-vis de l'occupation de l'espace et de l'urbanisation.

▫ 2 et 3 : Poursuivre et amplifier la restauration fonctionnelle des tronçons court-circuités et des secteurs artificialisés ; rétablir progressivement la circulation des poissons migrateurs sur le Rhône et ses affluents.

Les actions dans ces domaines visent à poursuivre les programmes déjà engagés depuis une dizaine d'années en les amplifiant sur la restauration physique de certains secteurs, en cohérence avec les priorités qui seront affichées dans le futur programme de mesure de la Directive Cadre. Elles concernent :

- la poursuite du programme décennal de restauration écologique et hydraulique des tronçons court-circuités du Rhône sur les 4 secteurs prioritaires de Miribel-Jonage, Montélimar, Péage-de-Roussillon et Donzère-Mondragon (remise en eau d'anciennes îles, augmentation des débits réservés...)
- la poursuite du programme de restauration de la circulation des poissons migrateurs sur le Rhône moyen et entre le couloir rhodanien et ses affluents (aménagement d'ouvrages, passes à poissons, suivis et inventaires des populations) ;
- la restauration physique des autres sites d'intérêt écologique identifiés dans l'état des lieux de la directive cadre.

▫ 4 : Participer à la création d'une infrastructure écologique reposant sur des modalités de gestion et de valorisation des milieux naturels rhodaniens

En cohérence avec les directives « habitats » et la directive cadre sur l'eau, seront initiées les actions suivantes :

- achèvement des inventaires des espaces remarquables riverains du Rhône, définition et mise en œuvre de plans de gestion, de protection et de restauration, mise en place d'un véritable réseau de ces

espaces à l'échelle du fleuve ; ceci concerne entre autres les territoires inventoriés au titre du réseau Natura 2000 ;

- mise en place d'actions spécifiques sur deux territoires emblématiques du Rhône (la Camargue) et de la Saône (les plaines alluviales).
- actions expérimentales de lutte contre la prolifération d'espèces invasives.

▫ 5 : Réaliser les études nécessaires à une meilleure connaissance du fonctionnement du fleuve et structurer la production et la mise à disposition de l'information

Les actions engagées concerneront notamment :

- l'acquisition de connaissances sur le fonctionnement des aquifères en relation avec le fleuve ;
- l'acquisition de connaissances sur les questions émergentes (perturbateurs endocriniens, conséquences du réchauffement climatique...)
- le suivi scientifique du fleuve dans une dimension prospective sur ses usages et l'évaluation des actions menées ;
- la structuration des données acquises sur le fleuve et leur mise à disposition du public.

Plan Rhône
Deuxième volet : La préservation de la ressource et de la biodiversité

Annexe 1 : Fiches Actions

Liste des fiches	Réalisation	Montant estimatif
Axe 1 : Accélérer les programmes d'action dédiés à la lutte contre la micropollution menaçant la qualité de la ressource		
FICHE II.01 – Défi « substances toxiques prioritaires » sur le fleuve	2006-2012	20 M€
FICHE II.02 – Défi « produits phytosanitaires » sur le fleuve et ses affluents	2006-2012	36 M€
FICHE II.03 – Restaurer une qualité microbiologique du Rhône compatible avec les usages de l'eau	2006-2015	N.D.
FICHE II.04 – Protéger le fleuve et ses affluents des risques de pollution accidentelle	2006-2012	N.D.
Axe 2 : Concilier aménagement de l'espace rhodanien et protection durable de la ressource.		
FICHE II.05 – Programme d'acquisition de connaissances sur les aquifères, leurs relations avec le fleuve et les prélèvements	2006-2010	1 M€
FICHE II.06 – Programme d'actions de protection des ressources stratégiques pour l'eau potable	2006-2012	N.D.
Axe 3 : Identifier et protéger les espaces emblématiques du fleuve		
FICHE II.07 - La restauration des habitats du réseau Natura 2000 du couloir Rhodanien	2005- ?	N.D.
Axe 4 : Poursuivre et amplifier la restauration fonctionnelle des tronçons court-circuités et des secteurs artificialisés		
FICHE II.08 – Dynamiser le programme décennal de restauration hydraulique et écologique du Rhône	2005-2010	130 M€
FICHE II.09 – Etudes et mesures visant à restaurer la dynamique sédimentaire sur le fleuve Rhône	2006- ?	N.D.
Axe 5 : Rétablir progressivement la circulation des poissons migrateurs sur le Rhône et ses affluents		
FICHE II.10 – La réalisation du second Plan Migrateurs	2005-2009	35 M€
Axe 6 : Développer la connaissance du fonctionnement du fleuve et structurer la production et la mise à disposition de l'information		
FICHE II.11 - Suivi scientifique du fonctionnement du fleuve	2005-2014	10 M€
FICHE II.12 - Acquisition de références sur les questions « émergentes »	2006-2015	10 M€
FICHE II.13 - Structuration de l'acquisition et de la mise à disposition des données	2006- ?	2 M€
TOTAL PREVISIONNEL ET PARTIEL		244 M€

N.D. : non défini à ce stade

Plan Rhône

Deuxième volet : La préservation de la ressource et de la biodiversité

FICHE II.01 – Défi « substances toxiques prioritaires » sur le fleuve

Descriptif sommaire de l'action et des sous actions éventuelles :

Le premier plan Rhône avait pour objectif ambitieux la réduction de 50 % des apports de substances toxiques (métaux et micropolluants organiques) au Rhône. Ces objectifs ont été repris par le SDAGE puis par le défi « lutte contre la pollution toxique dans l'agglomération lyonnaise » (2003-2006). Plusieurs actions ont été engagées depuis quelques années sur les pressions industrielles et urbaines de l'agglomération.

Si les premiers résultats sur les établissements industriels montrent une vraie tendance à la baisse des émissions polluantes, la réduction de 50 % n'est pas encore tout à fait atteinte, et la poursuite de ce défi semble nécessaire. D'autant que sur les pressions urbaines un gros effort reste à faire pour atteindre les objectifs. Dans un premier temps et dans un souci d'efficacité, ce défi pourra s'étendre à un territoire Rhône-Alpin plus large que celui de l'agglomération Lyonnaise et intégrer des pressions industrielles et urbaines situées à l'amont et l'aval immédiat de l'agglomération. Dans un deuxième temps, il s'étendra progressivement aux sites pertinents du fleuve.

Par ailleurs, les actions déjà engagées par le Grand Lyon et inscrites au contrat d'agglomération signé entre le Grand Lyon et l'Agence de l'eau portant sur les années 2003-2006 vont déjà contribuer à réduire les flux toxiques rejetés au Rhône même si l'impact milieu est difficile à évaluer : mise au norme de la station de Jonage avec une extension pour traiter une partie des effluents de la ZI de Meyzieu, mise en place d'un traitement complémentaire sur la station de St Fons et créations de 2 nouvelles stations à Villeurbanne-La Feyssine et sur la ZI de Genay.

Actions à mettre en œuvre sur l'agglomération lyonnaise et sur le couloir de la chimie :

- au niveau du Grand Lyon :

Le Grand Lyon s'est déjà engagé dans une action d'amélioration des connaissances sur les rejets toxiques (origine, nature et concentration) dans les milieux de surface, dans les réseaux d'assainissement et dans la nappe de l'Est lyonnais. Le nouveau défi intégrera l'exploitation des connaissances qui devrait aboutir à réaliser des études et travaux concrets chez les industriels. Un partenariat est déjà engagé avec les chambres consulaires pour traiter les pollutions toxiques dispersées de différentes origines (effluents de garages, imprimeurs...). Ce partenariat est à renforcer et à compléter par des interventions sur d'autres secteurs d'activités. Ce défi devra également s'intégrer dans l'état des lieux réalisé pour l'élaboration du SAGE de l'Est lyonnais. Celui-ci devrait voir le jour début 2008.

- au niveau du couloir de la chimie au sud de Lyon :

Il sera nécessaire de prévoir des interventions auprès des industriels du couloir de la Chimie dont les rejets font actuellement l'objet d'un suivi particulier (CAMALY). L'analyse des résultats permettra de définir les travaux nécessaires (notamment mise en place d'un traitement tertiaire sur la station du Gepeif) pour réduire le flux des pollutions oxydables et toxiques générées par ces industriels, en gardant à l'esprit la situation économique délicate que traverse cette profession.

Actions sur les pressions industrielles et urbaines à l'amont et à l'aval de l'agglomération lyonnaise :

<p><i>-amont</i> : Site industriel de Neuville-sur-Saône : études et travaux pour le maintien voire l'amélioration des performances épuratoires.</p> <p>Grandes agglomérations du Nord de Lyon : étudier l'opportunité de mettre en place un contrat d'agglomération similaire à celui mis en place sur l'agglomération lyonnaise.</p> <p><i>-aval</i> : Plate forme Chimique du Péage de Roussillon : réalisation d'une collecte plus sélective des effluents des ateliers chimiques permettant de traiter les flux toxiques qui, par dilution, ne sont pas actuellement traitables. Si nécessaire, mise en place de traitements complémentaires spécifiques au niveau des ateliers.</p> <p><u>Action de surveillance du Rhône :</u></p> <p>Dans le cadre général de la surveillance du Rhône, mise en place de dispositifs performants et fiables permettant un contrôle en continu du fleuve. Notamment, sur la station de Ternay qui devra être modernisée et s'inscrire dans un programme de suivi patrimonial du Rhône.</p>
<p>Organismes pressentis pour la porter et partenariats nécessaires : Etat (DRIRE, SNRS), Agence de l'Eau, Collectivités, Industriels</p>
<p>Délais envisageables de réalisation des différentes phases : 2006 à 2012.</p>
<p>Coûts estimatifs : Non estimés avec précision mais sans doute, dans la période choisie, supérieurs à 20 M€</p>
<p>Participations financières possibles : Agence de l'eau, Industriels, collectivités</p>

Plan Rhône

Deuxième volet : La préservation de la ressource et de la biodiversité

FICHE II.02 – Défi « produits phytosanitaires » sur le fleuve et ses affluents

Descriptif sommaire de l'action :

Les eaux souterraines et superficielles du bassin du Rhône sont largement contaminées par les pesticides. L'état des lieux de la DCE met en évidence une forte pression polluante d'origine agricole diffuse (provenant de l'espace cultivé) et ponctuelle (provenant de manipulations défectueuses). Les groupes régionaux chargés par les Préfets de Région de lutter contre la pollution par les pesticides ont identifié les territoires sur lesquels agir en première priorité et sur lesquels les actions devront être conduites. Une dizaine de zones prioritaires concernent le Rhône ou ses affluents principaux parmi lesquelles la Côte Bourguignonne et le vignoble du Jura, le Beaujolais, les plaines de Valence, de la Crau et du Comtat, les Côtes du Rhône...

1/ Les pollutions diffuses

Toutes les cultures sont concernées et les principaux pesticides retrouvés sont les désherbants. Il est proposé de s'intéresser à la viticulture et à l'arboriculture qui sont les principales productions représentées sur le bassin du Rhône et pour lesquelles existent des techniques éprouvées et opérationnelles permettant de supprimer tout ou partie des désherbages chimiques. Ces productions sont par ailleurs exclues des règles de conditionnalité de la PAC.

Il convient donc de développer les pratiques alternatives au désherbage chimique que sont le désherbage mécanique et/ou le maintien de l'herbe entre les rangs des cultures et en bordure des parcelles, pratiques permettant par ailleurs de lutter contre l'érosion qui menace souvent les terres viticoles et dont le phénomène est encore accentué sur les vignobles pentus de certains secteurs de la vallée du Rhône. Les surfaces sont estimées à 24 000 hectares de vignes et à 4 000 hectares de vergers, correspondant aux parcelles à enjeu fort des zones prioritaires qu'il faudrait traiter dans les 5 ans.

Les actions : dépenses en matériels spécifiques, aides aux surfaces non désherbées chimiquement.

2/ Les pollutions ponctuelles

Les pollutions ponctuelles doivent être réduites par le rinçage des pulvérisateurs au champ à partir d'une eau provenant d'une cuve spécifique installée sur le matériel, et par un lavage complémentaire sur une aire permettant de récupérer les eaux souillées puis de les traiter.

Les actions : dépenses en matériels spécifiques et en aires de lavage (et de remplissage) des pulvérisateurs. Ces aires peuvent être collectives, voire publiques lorsque des collectivités les réalisent.

3/ Les indicateurs

Ces différentes actions peuvent être suivies à l'aide d'indicateurs simples à calculer et permettant d'évaluer une réduction de la pression polluante : surfaces avec désherbage alternatif, surfaces enherbées, rejets ponctuels supprimés.

Organismes pressentis pour la porter et partenariats nécessaires

DRAF, DIREN, DDAF, Agence de l'Eau, Collectivités territoriales, Organisations Professionnelles et Economiques Agricoles, groupes régionaux de lutte contre les pesticides.
Délais envisageables de réalisation des différentes phases : Programme détaillé à définir en 2006 ; mise en œuvre sur la période 2007-2012
Coûts estimatifs : 36 millions d'euros sur 6 ans, soit : <ul style="list-style-type: none">- coût de l'enherbement permanent en vigne et en arboriculture : 28 millions d'euros.- achat de matériels : 5 millions d'euros,- coût des aires de lavage/remplissage : 3 millions d'euros.
Participations financières possibles : Etat, Agence de l'Eau, Fonds européens, Collectivités, professionnels.

Plan Rhône Deuxième volet : La préservation de la ressource et de la biodiversité FICHE II.03 – Restaurer une qualité microbiologique du Rhône compatible avec les usages de l'eau
<p>Description sommaire de l'action et des sous-actions associées :</p> <p>La pollution microbiologique de l'eau présente des risques sanitaires pour les usages de baignade et activités nautiques mais aussi vis à vis de l'alimentation en eau potable (prises d'eau brute ou nappe alluviale). Les principales causes de pollution sont dues à l'insuffisance de traitement et des rejets d'eau résiduaire et au dysfonctionnement des ouvrages de collecte et de rejet des eaux.</p> <p>Action 1 - Etablir un bilan exhaustif des prises d'eau brutes en précisant le type d'usage, et le débit pompé.</p> <p>Action 2 - Etablir un bilan exhaustif des points de rejets indiquant les risques potentiels associés (microbiens, métaux, hydrocarbures...)</p> <p>Action 3 - Améliorer les performances des ouvrages de collecte et de traitement des eaux résiduaires</p>
<p>Organismes pressentis pour la porter et partenariats nécessaires : Diren de bassin, Agence de l'eau, DRASS/DDASS, Mise</p>
<p>Délais envisageables de réalisation des différentes phases : Actions 1 et 2 : 2006-2007 Action 3 : 2008-2015</p>
<p>Coûts estimatifs Non définis</p>
<p>Participations financières possibles : A définir</p>

Plan Rhône

Deuxième volet : La préservation de la ressource et de la biodiversité

FICHE II.04 – Protéger le fleuve et ses affluents des risques de pollution accidentelle

Descriptif sommaire de l'action et des sous actions éventuelles – périmètre concerné :

En consacrant à la lutte contre la pollution accidentelle l'une de ces dix orientations fondamentales : "s'investir plus efficacement dans la gestion des risques", le SDAGE RMC souligne l'importance de lutter contre ce type de pollution pour préserver les milieux aquatiques. La DCE réaffirme, s'il en est besoin, l'enjeu de lutter contre la pollution accidentelle. Son considérant 39 mentionne la nécessité "de prévenir ou de réduire les conséquences des pollutions accidentelles. Des mesures à cet effet doivent être incluses dans le programme de mesures".

Les préconisations du SDAGE portent à la fois sur la prévention des pollutions au sein des établissements générateurs de risques, leur confinement, la réduction de la vulnérabilité des zones vulnérables à de telles pollutions (eau potable, frayères...) et l'alerte ; elles touchent des thématiques très diverses telles que l'industrie, l'assainissement collectif, le transport...

A la suite du Plan d'Action Rhône de 1992, des actions ont déjà été entreprises au sein des principaux établissements industriels du corridor fluvial du Rhône. Ces actions sont cependant loin de répondre à l'ambition affichée par le SDAGE. Il n'existe pas de stratégie d'actions partagée entre les acteurs publics ou privés intéressés à leur mise en œuvre.

Sous action 1 : Une étude sera réalisée par l'Agence pour définir, sur la base de critères objectifs, les zones du bassins particulièrement vulnérables aux pollutions accidentelles ainsi que la localisation des foyers principaux de risque (branches d'activités sensibles...). Une activité comme le transport fera l'objet d'une attention particulière en raison d'un déficit global de connaissances sur le sujet.

Sous action 2 : A partir des résultats de cette étude, une stratégie cohérente et des priorités d'action seront établies entre les acteurs concernés, notamment l'Agence de l'Eau et les services de l'Etat en charge de polices spéciales (MISE, DRIRE, SNRS, DDASS...).

Sous action 3 : La mise en œuvre du plan d'actions interviendra dans un troisième temps.

Organismes pressentis pour la porter et partenariats nécessaires :

Agence et services de l'Etat, chambres consulaires.

Délais envisageables de réalisation des différentes phases :

Mars 2006 pour la fin de la première phase ; décembre 2006 pour la seconde phase ; 2007-2012 pour la réalisation du plan d'actions.

Coûts estimatifs :

150 k€ pour les deux premières phases ; coût à déterminer pour le plan d'action

Participations financières possibles : Agence pour la 1^{ère} phase, à définir ensuite

Plan Rhône

Deuxième volet : La préservation de la ressource et de la biodiversité FICHE II.05 – Programme d’acquisition de connaissances sur les aquifères, leurs relations avec le fleuve et les prélèvements

Description sommaire de l’action :

La vallée du Rhône est marquée par une succession de rétrécissements et de bassins plus larges qui conditionnent l’extension de la nappe alluviale aussi bien verticalement que latéralement (extension réduite par ex. dans la traversée des chaînons calcaires jurassiens ou des terrains de socle du Massif Central, extension plus importante dans les bassins sédimentaires comme les plaines de Valence, de Pierrelatte).

Les aménagements du fleuve ont modifié sensiblement le fonctionnement de sa plaine alluviale et les échanges qui prévalaient entre le fleuve et sa nappe, conduisant à une succession de biefs, les uns marqués par des zones canalisées sans relation conséquente avec la rive, et les autres où le fleuve est étroitement lié à la nappe alluviale.

Par ailleurs, un certain nombre d’aquifères qui jouxtent la vallée constituent des apports non négligeables au fleuve via la nappe alluviale (parfois d’origine lointaine comme pour la Plaine de Bièvre Valloire) mais sans qu’on sache aujourd’hui les quantifier.

Il s’agit en premier lieu d’établir un bilan des échanges existant dans les 2 sens entre le Rhône et sa nappe alluviale et d’autre part de mieux quantifier les apports des autres aquifères au profit des nappes alluviales et du Rhône. Ces résultats permettront de hiérarchiser les enjeux de préservation des ressources stratégiques pour l’AEP (voir fiche suivante) mais aussi au niveau des annexes fluviales permettant de conforter certains programmes de restauration engagés sur plusieurs milieux emblématiques (comme l’Ile de la Platière ou Miribel Jonage).

D’une manière générale il conviendra d’envisager, dans les opérations de recréation de zones d’expansion des crues, les incidences entre le fleuve, sa nappe et ses zones annexes.

En effet, comme l’a souligné le Conseil Scientifique du Comité de Bassin, l’état des ressources en eaux du corridor fluvial, et tout particulièrement de ses nappes, est aussi lié à l’étendue de son « Espace de Bon Fonctionnement » (réduit ou développé), et surtout à celle de sa composante « zones inondables. A ce titre, les aspects de lutte contre les inondations dommageables (cf. volet 1) comprennent d’ores et déjà des mesures pour développer cette composante de l’Espace de Bon Fonctionnement, lorsque cela est encore possible, y compris via des zones d’expansion de crues à (re-)créer.

Action 1- Etablir, à l’échelle du cours du Rhône, un bilan des données existantes permettant de caractériser et de quantifier les échanges entre le Rhône – la nappe – et les annexes fluviales, et les apports des aquifères en relation.

Il s’agit de croiser les apports de disciplines variées comme l’hydrogéologie, l’hydrologie, la géomorphologie, l’écologie souterraine, la phytosociologie (programme d’action ZABR)

Action 2 : Définition et lancement d’un programme d’acquisition de données complémentaires permettant de compléter les informations recueillies sur les aquifères (notamment levés de nouvelles cartes piézométriques) – en parallèle, inventaire précis des prélèvements et construction de scénarios prospectifs à 20 ans.

Action 3 : Exploitation des résultats et modélisation du fonctionnement global. Identification

des principaux enjeux de préservation
Organismes pressentis pour la porter et partenariats nécessaires : Agence de l'eau, organismes de recherche, établissements publics, collectivités territoriales, Services de l'Etat,...
Délais envisageables de réalisation des différentes phases : 1 : 2006/2007, 2 : 2008/2009, 3 : 2010
Coûts estimatifs : < 1M€
Participations financières possibles : Agence de l'Eau et autres à définir

Plan Rhône
Deuxième volet : La préservation de la ressource et de la biodiversité
FICHE II.06 – Programme d’actions de protection des ressources
stratégiques pour l’eau potable

Descriptif sommaire de l’action et des sous-actions associées :

La nappe alluviale du Rhône est fortement sollicitée pour l’alimentation en eau potable : plus de 200 millions de m³ y sont en effet puisés chaque année, qui représentent l’alimentation en eau de plus de 3 millions d’habitants.

Sur ce territoire en pleine expansion économique et démographique et alors que les pressions d’occupation de l’espace progressent rapidement (croissance périurbaine, voies de communications), il est impératif de protéger les ressources déjà exploitées et de réserver pour l’avenir les secteurs à forte potentialité les mieux protégés et les mieux situés par rapport aux besoins.

Les actions de protection à engager doivent être de nature à créer les conditions optimales pour maintenir ces ressources disponibles et de qualité satisfaisante pour l’usage eau potable.

Action 1

En préalable, deux volets d’études sont nécessaires.

Le premier a pour but d’identifier à l’échelle du corridor alluvial du Rhône les ensembles alluviaux à considérer comme stratégiques pour l’alimentation en eau potable (ressources déjà exploitées et ressources à réserver en raison de leur potentialité, de leur qualité et de leur situation).

Dans la mesure où ceci correspond à une des exigences de la DCE sur les zones protégées, les éléments issus des discussions conduites avec les collectivités locales seront recueillis et éventuellement complétés.

Le deuxième consiste à établir un bilan de la situation sur les secteurs identifiés en terme de qualité, quantité, vulnérabilité, risques en fonction de l’évolution des pressions d’usage et de l’occupation des sols mais aussi sur leur statut par rapport aux documents de planification et d’urbanisme (schémas directeurs d’alimentation en eau potable, PLU). Une proposition d’actions types, destinée à servir de référence pour l’ensemble des secteurs, sera prévue dans ce travail.

De plus, l’état des lieux et la prospective doivent également être accompagnés d’une recherche de porteurs de projet locaux.

Action 2

Sur la base des résultats du bilan préalable, les porteurs de projet identifiés auront la charge de proposer un plan de gestion global pour la préservation des zones ciblées. Ce dernier déclinera à la fois :

- les actions prioritaires à engager par secteur, qui peuvent être des actions réglementaires de limitation des autres usages au profit de l’AEP (prélèvements, occupation des sols) voire dans certains cas des démarches d’acquisition foncière,
- l’évaluation technique et financière des actions à engager,
- les instruments juridiques les plus appropriés au contexte (SAGE, SCOT, PLU, ...) pour la mise en œuvre des actions.

Dans cette démarche, la concertation avec les différents acteurs impliqués sur les zones doit permettre de faire reconnaître l’usage AEP comme prioritaire par rapport aux autres usages et valider les plans d’actions ainsi que leur traduction juridique et/ou contractuelle.

NB : Les actions de lutte contre les pollutions, identifiées de façon spécifique comme celles relatives aux pesticides, à la pollution microbiologique ou encore aux pollutions accidentelles

contribuent à la protection des ressources stratégiques pour l'eau potable.
Organismes pressentis pour la porter et partenariats nécessaires : Action 1 : Agence de l'Eau, DIREN et DRASS de bassin Action 2 : Collectivités territoriales, usagers, services de l'Etat
Délais envisageables de réalisation des différentes phases : Action 1 : 2006-2007 ; Action 2 : 2008 à 2012
Coûts estimatifs : Action 1 : 400 K€ Action 2 : A définir ultérieurement
Participations financières possibles : Agence de l'Eau, collectivités locales...

Plan Rhône
Deuxième volet : La préservation de la ressource et de la biodiversité
FICHE II.07 – La restauration des habitats du réseau Natura 2000 du couloir Rhodanien

Descriptif sommaire de l'action et des sous actions éventuelles – périmètre concerné

La **première sous-action** concerne le processus de désignation des sites :

De nombreux secteurs du fleuve Rhône, notamment sur les tronçons court-circuités, ainsi que l'aval de certains affluents (ex : rivières Eyrieux, Roubion, Drôme, Ardèche...) font déjà partie du réseau Natura 2000. Dans une logique de cohérence et de continuité du fleuve, afin de permettre une meilleure prise en compte et une meilleure gestion de certains habitats ou espèces, notamment des poissons migrateurs, qui sont des espèces d'intérêt communautaire, des extensions ou nouvelles propositions de sites sont envisagées au titre de la directive Habitats (ex : le Rhône, de Donzère-Mondragon à la Méditerranée, le Petit Rhône, la rivière Eygues/Aigues, les rivières Ouvèze et Toulourenc).

Au titre de la directive Oiseaux, est également à l'étude la proposition de nouveaux sites qui sont des lieux de nidification régulière, des zones d'hivernage ou une étape lors de la migration pré-nuptiale ou post-nuptiale (ex : le marais de l'Ile Vieille ou l'Ile de la Platière).

Des réflexions seront à conduire sur d'autres secteurs (par exemple l'extension du site du marais de Lavours dans l'Ain en tant que ZPS et ZSC).

La **seconde sous-action** concerne l'élaboration des documents d'objectifs associés au site et la définition des programmes de gestion ou de restauration des sites.

Cette seconde partie fera l'objet d'un développement dans un second temps.

Organismes pressentis pour la porter et partenariats nécessaires

Etat, Collectivités locales, gestionnaires des sites...

Délais envisageables de réalisation des différentes phases :

A définir

Coûts estimatifs :

A définir

Participations financières envisageables :

Etat et autres à définir

Plan Rhône

Deuxième volet : La préservation de la ressource et de la biodiversité

FICHE II.08 – Dynamiser le programme décennal de restauration hydraulique et écologique du Rhône

Descriptif sommaire de l'action et des sous actions éventuelles – périmètre concerné

Le programme décennal de restauration hydraulique et écologique du Rhône (2000-2010), identifie quatre grandes priorités techniques, approuvées par les ministres commanditaires et les conseils d'administration de l'Agence de l'Eau (juin 1999) et de la Compagnie Nationale du Rhône (septembre 1999) :

- la restauration des tronçons court-circuités du Rhône par l'augmentation des débits réservés, pour les cinq grands sites prioritaires du programme en référence au SDAGE (Haut-Rhône, Miribel-Jonage, Péage de Roussillon, Montélimar et Donzère-Mondragon, en rappelant que, pour ce qui concerne le site de Pierre-Bénite, les travaux sont achevés),
- la restauration des lônes et milieux annexes du Rhône, notamment pour les sites prioritaires,
- la restauration de l'axe de migration Rhône et affluents et des communications piscicoles,
- la mise en place d'un suivi scientifique de l'ensemble du plan Rhône, et le développement d'actions « d'accompagnement » concernant l'animation, la sensibilisation et plus généralement le soutien aux acteurs.

La première phase opérationnelle a démarré avec la mise en œuvre des travaux de restauration des lônes du haut Rhône et l'augmentation des débits réservés délivrés à l'aval des barrages de Motz en 2004, Lavours en 2005 et bientôt Champagneux, en 2006 (opération d'un montant global de 18,6 M€). Les études préalables à la mise en œuvre des importants programmes de travaux en sont au stade de la préparation des avants-projets sur les sites prioritaires de Péage de Roussillon et Montélimar. Des réflexions pour fixer le cadre institutionnel ou technique des projets sont en cours sur les secteurs de Donzère-Mondragon et Miribel. L'état d'avancement précis est le suivant :

- Miribel-Jonage, réflexions et préparation d'un programme d'actions en cours dans le cadre du groupe de travail Eau, sous mandat du comité de pilotage du site associant élus et services de l'Etat.
- Péage de Roussillon, réalisation en cours des études portant sur le fonctionnement de la nappe phréatique de l'île de la Platière et la définition des modalités de restauration du tronçon court-circuité. Une action de restauration a été réalisée, sur les lônes de l'Ilon et du noyé Nord.
- Montélimar, concertation en cours pour définir l'avant-projet du scénario de restauration.
- Donzère-Mondragon, recherche du cadre institutionnel et technique du projet. Des actions isolées de restauration ont été mises en œuvre sur les lônes de Dions et Malatras.
- Confluence de la Drôme, rendu cartographique et synthèse des enjeux.
- Caderousse, actions inscrites dans le cadre opérationnel du contrat de rivière Meyne.
- Bourg les Valence, étude réalisée au stade faisabilité pour la restauration des bords du Rhône de Chateaubourg à Saint-Péray.
- Suivi écologique et scientifique réalisé sur Pierre-Bénite et engagé sur le haut Rhône.

Le chantier qui s'ouvre pour les prochaines années a pour ambition de favoriser la poursuite et l'achèvement d'une part significative du programme défini dans les délais impartis et de préparer son élargissement pour atteindre les objectifs qui seront fixés à l'horizon 2015 en application de la directive cadre européenne sur l'eau.

L'emprise spatiale des interventions physiques sur les milieux aquatiques n'est pas limitée aux six sites considérés prioritaires en référence au SDAGE. Les travaux peuvent concerner l'ensemble du fleuve, et notamment les zones d'habitats relictuels incluses dans des masses d'eau considérées comme fortement modifiées (au sens de la directive cadre sur l'eau).

Les autres sites engagés dans la préparation d'actions de restauration physique et écologique d'annexes fluviales sont ceux de la confluence de la Drôme, Bourg les Valence et Caderousse (contrat de rivière Meyne).

La concertation préalable aux prochaines phases de mise en œuvre opérationnelle des actions d'envergure du programme décennal de restauration hydraulique et écologique du Rhône, sur Montélimar et Péage de Roussillon dans un premier temps, devra être activement soutenue par l'Etat et l'Agence de l'Eau. En particulier, la création d'un syndicat intercommunal chargé de porter le projet sur Montélimar et l'implication forte d'Osiris, dont les prélèvements d'eau sur l'île de la Platière sont une composante majeure de la restauration sur Péage de Roussillon, sont des éléments nécessaires au succès.

Le suivi scientifique et écologique comprend le recueil de données sur les thèmes invertébrés, poissons, végétation, sédiments, hydrogéologie et physicochimie et la conception d'indicateurs de la restauration, qui, d'une part permettront de mesurer l'impact effectif des travaux de restauration et, d'autre part, serviront de base à la mise à disposition d'outils prédictifs auprès des gestionnaires. Il conviendra de rechercher le cadre et les moyens nécessaires à la pérennisation de ce suivi et d'engager, comme cela a déjà pu être fait sur les sites de Pierre-Bénite et du haut Rhône, la réalisation d'états des lieux préalablement aux opérations de restauration prévues ultérieurement. Un suivi socio-économique sera également à mettre en place, visant à mesurer l'impact des travaux sur les usages du fleuve par les riverains.

Les dépenses importantes du programme seront engagées à l'issue de ces phases préparatoires, lors de la mise en œuvre opérationnelle des actions de restauration et augmentation des débits réservés.

Organismes pressentis pour la porter et partenariats nécessaires :

CNR, collectivités locales riveraines, Départements et Régions, EDF sur le secteur de Miribel, Osiris sur le site de Péage de Roussillon, ZABR sur le suivi scientifique.

Délais envisageables de réalisation des différentes phases :

Avant-projets définis en 2006 pour Montélimar et 2007 pour Péage de Roussillon. Engagement des travaux en 2007 et 2008.

Coûts estimatifs :

152 M€ estimés pour l'ensemble du programme sur la période 2000-2010 soit un budget relictuel d'environ 130M€ pour la période 2005-2010

Participations financières attendues :

Agence de l'Eau, CNR, Etat, Collectivités locales.

Plan Rhône

Deuxième volet : La préservation de la ressource et de la biodiversité

FICHE II.09 – Etudes et mesures visant à restaurer la dynamique sédimentaire sur le fleuve Rhône

Descriptif sommaire de l'action et des sous actions éventuelles :

La dynamique des sédiments du fleuve a été considérablement modifiée, par les évolutions climatiques (fin du petit âge glaciaire), les aménagements successifs du fleuve et des affluents, et par l'occupation de son bassin versant (y/c celui de ses différents affluents). Il convient toutefois de distinguer : la charge de fond (sédiments grossiers), qui a été considérablement réduite, la dynamique de charriage n'étant plus, à l'échelle globale du fleuve, que relictuelle d'une part, et les sédiments fins qui circulent encore, avec toutefois une dynamique qui a beaucoup évolué au cours du temps. Dans la deuxième moitié du 20^{ème} siècle le transit aurait été divisé par 2.

Concernant les sédiments fins, les aménagements hydrauliques favorisent le colmatage des habitats. On peut mentionner l'effet direct de l'aménagement du 19^{ème} siècle pour la navigation, et au 20^{ème} siècle la création des retenues par l'aménagement hydroélectrique. De même les opérations de chasses des retenues contribuent à ce colmatage (vidanges triennales des barrages franco-suisse, chasses des barrages de l'Isère aval). Le stock important de matériaux fins contenu dans la retenue de Génissiat pose le problème de l'intérêt pour l'aval de sa remise en circulation dans le cadre de modalités qui ne remettent pas en cause les potentialités écologiques du fleuve. De manière générale le fonctionnement en débit réservé des RCC réduit la fréquence et la durée des crues à l'échelle des vieux Rhône (et peut-être la variation temporelle de la charge en éléments fins qui transitent par les RCC durant les épisodes de crues).

Concernant les éléments grossiers, une dynamique de charriage existe encore à l'aval des affluents qui apportent encore une charge solide significative : les 10000 à 20000 m³ de graviers apportés en moyenne par an par les Usses au Haut Rhône pourraient être remobilisés par des chasses (augmentation des débits dans les RCC durant 3 à 7 jours par an en accentuant simultanément la pente motrice dans les retenues). Il en est de même pour la charge venant de la rivière d'Ain. On observe des apports relictuels entre les confluences de la Drôme et de l'Ardèche (40 000 m³ de graviers par an) : l'établissement de chasses sur les chutes de Baix le Logis Neuf, Montélimar et Donzère pendant 10 jours/an permettrait d'assurer le transit. A court terme il s'agira de confirmer ces hypothèses et d'engager les actions correspondantes. Les actions sur le charriage et les sédiments fins sont non seulement une clef de l'atteinte du bon état ou du bon potentiel écologique du fleuve, mais conditionnent également l'ampleur, le coût et la durée de vie des actions de restauration qui sont engagées sur le fleuve. La végétalisation du lit du fleuve est une problématique connexe qu'il convient d'aborder simultanément à celle de la dynamique sédimentaire.

Cinq types d'actions sont donc à envisager au titre du Plan Rhône :

- Réviser les règles de gestion et de chasse des barrages (mise en place de petites crues « d'eau propre » dans les RCC dans les secteurs du fleuve influencés par les chasses des barrages) et suivi du colmatage des habitats ;
- Maintenir des débits de débordements dans les secteurs à forte valeur patrimoniale, pour mieux garantir la pérennité de la réouverture des lônes et bras morts en cohérence avec les principes directeurs de la stratégie de prévention des inondations;
- Etudier les possibilités d'améliorer la capacité de transport des sédiments grossiers sur les secteurs Le Pouzin-Vallabrègues, à l'aval de la confluence de l'Ain, à Seyssel – Brégnier Cordon à l'aval des Usses, en augmentant la transparence des retenues quelques jours/an ; soutenir les initiatives locales en ce sens (en évaluant l'intérêt économique de ce type d'action à comparer à la gestion et au fonctionnement actuel) ;
- Mettre en place un suivi de l'évolution du lit, notamment sur les secteurs à enjeux (à partir de

l'expérimentation en cours sur Chautagne) pour assurer un retour d'expérience sur le fonctionnement des ouvrages, les opérations d'entretien, et comprendre le fonctionnement du fleuve ;

- Expérimenter les recommandations (ZABR avril 2005 – Valence) de prélèvements ciblés de matériaux en faveur de la restauration d'une dynamique fluviale.

Remarque : le suivi de l'évolution des travaux de restauration, prévus au titre du Plan décennal de restauration hydraulique et écologique, est intégré à la fiche correspondante

Organismes pressentis pour la porter et partenariats nécessaires :

CNR, Collectivités, Etat...

Délais envisageables de réalisation des différentes phases :

A préciser

Coûts estimatifs :

A préciser (de l'ordre de quelques dizaines de M€ sur 10 ans)

Participations financières possibles :

CNR, Agence de l'Eau, collectivités

Plan Rhône

Deuxième volet : La préservation de la ressource et de la biodiversité

FICHE II.10 – La réalisation du second Plan Migrateurs

Descriptif sommaire de l'action et des sous actions éventuelles – périmètre concerné

Le Plan Migrateurs Rhône-Méditerranée prévoit le retour des grands poissons migrateurs amphihalins (Alose, Anguille, Lamproie marine, Lamproie fluviatile et Esturgeon) sur le Rhône et ses affluents ainsi que sur les fleuves côtiers méditerranéens.

Le premier volet 1993-2003 de ce projet avait pour objectif le retour de l'Alose sur le Rhône en aval de l'aménagement de Donzère - Mondragon et sur ses affluents de rive droite (Gardon, Cèze, Ardèche), zone constituant un ensemble cohérent des fortes potentialités historiques pour cette espèce. Cet objectif avait été retenu par comme un des éléments majeurs du Plan d'Action Rhône. Ce premier volet a été une réussite puisque les aloses arrivent maintenant à coloniser l'Ardèche, comme cela était le cas dans les années 1950, même si tous les aménagements prévus n'ont pas pu être réalisés, principalement sur les affluents de rive droite du Rhône.

Le Plan Migrateurs est entré dans sa deuxième phase en 2003 sous la houlette du Comité de Gestion des Poissons Migrateurs (COGEPOMI) du Bassin RMC, instance officielle où sont représentés les services de l'État et les établissements publics, toutes les catégories de pêcheurs ainsi que les collectivités locales. Le deuxième plan de gestion quinquennal 2004-2008 propose des mesures réglementaires, des études, des actions de préservation et de restauration des espèces, ainsi que des actions d'information et de sensibilisation. Ce programme est étroitement lié :

- au Plan décennal de restauration hydraulique et écologique du fleuve Rhône qui prévoit la restauration de cinq bras court-circuités prioritaires du Rhône, notamment pour le rétablissement de la circulation piscicole ;
- aux SAGE, contrats de rivières ou autres plans d'aménagement, de plus en plus nombreux, sur les affluents du Rhône.

L'Association Migrateurs Rhône-Méditerranée assure la coordination générale du Plan Migrateurs et la maîtrise d'ouvrage d'un certain nombre d'actions (études, information - sensibilisation). Elle regroupe douze Fédérations de Pêche, l'UFBR, les pêcheurs professionnels du Bassin Rhône-Saône, la FRAPNA-Ardèche et l'ADEVV.

Les objectifs du projet sont élargis, tant au niveau des espèces que des cours d'eau concernés. En effet, l'objectif de restauration de la circulation des poissons migrateurs va se poursuivre pour l'Alose, mais va aussi démarrer pour les autres poissons migrateurs amphihalins du Bassin RMC (Anguille, Lamproies, Esturgeon), sans oublier que les aménagements qui seront réalisés pour ces grands migrateurs devront mieux prendre en compte les besoins de toutes les autres espèces piscicoles.

Parmi ces objectifs figurent principalement :

- Pour l'alose, sur l'axe Rhône, le retour jusqu'à l'Ardèche et au Rhône court-circuité de Donzère-Mondragon, le confortement des stocks à partir des affluents de rive droite et l'élargissement de la zone d'action en traitant les affluents de rive gauche. Cet objectif suppose de disposer de tous les éléments scientifiques et techniques pour arrêter une stratégie plus ambitieuse en faveur de l'alose, par exemple en vue de sa remontée jusqu'à la Drôme. Sur les affluents du Rhône, il s'agira de conforter les possibilités de reproduction en aval de l'Ardèche en favorisant les zones de reproduction les plus productives.

- Pour l'anguille, la stratégie retenue est d'améliorer la survie et la croissance des civelles en permettant leur circulation de l'aval vers l'amont avec un objectif sur le Rhône de remontée jusqu'à l'Ardèche, tout en prenant en compte l'impact des aménagements d'obstacles à réaliser sur la mortalité des géniteurs en phase de dévalaison.
- Pour l'esturgeon, l'étude de la faisabilité de sa réintroduction sur le Rhône.

De ces objectifs, découlent une centaine de propositions d'actions qui se répartissent en différentes catégories: des études scientifiques et de connaissance générale, des études techniques générales, des travaux, des opérations de suivi et de mise en place de tableaux de bord, des opérations de communication, des opérations de coordination.

Organismes pressentis pour la porter et partenariats nécessaires

Les gestionnaires des obstacles à la migration (CNR, EDF, syndicats intercommunaux, privés), les services de l'Etat, le CSP, les organismes de recherche, les Fédérations de Pêche, l'Association MRM.

Délais envisageables de réalisation des différentes phases : 2005 – 2009 (décalage probable par rapport au calendrier prévu)

Coûts estimatifs : 35 M€ (hors fleuves côtiers)

Participations financières envisageables :

Agence de l'Eau, Etat, gestionnaires d'ouvrages, collectivités locales, MRM...

Plan Rhône Deuxième volet : La préservation de la ressource et de la biodiversité FICHE II.11 – Suivi scientifique du fonctionnement du fleuve
<p>Descriptif sommaire de l'action et des sous actions éventuelles :</p> <p>L'acquisition de connaissances scientifiques sur le fleuve est conduite depuis plusieurs décennies par des laboratoires de recherche ou des institutions, rassemblées depuis 2001 au sein de la ZABR (Zone atelier du bassin du Rhône). La ZABR se constitue en GIS (Groupement d'intérêt scientifique) en 2005. Son territoire d'intervention potentielle couvre l'ensemble du bassin du Rhône.</p> <p>La ZABR finalise en cette fin d'année 2005 l'élaboration de son programme pluriannuel de recherche qui comprendra plusieurs orientations intéressant directement le Rhône et son corridor fluvial. Elle est donc un partenaire essentiel pour les gestionnaires du fleuve auxquels elle apporte les connaissances les plus récentes et ses conseils pour bâtir les programmes d'actions. En retour, le partenariat avec les gestionnaires – et le soutien de ceux-ci – permet aux scientifiques de conduire leurs recherches pour répondre au mieux aux attentes des acteurs de l'eau.</p> <p>Parmi les orientations susceptibles d'aider à court et moyen terme le plan d'action Rhône, on citera (outre les actions ZABR proposées dans les deux fiches suivantes) :</p> <ul style="list-style-type: none"> - le suivi des micropolluants dans les chaînes alimentaires (transferts des substances, ciblage sur les éléments biocumulatifs, évaluation de l'exposition des poissons aux micropolluants ...) qui pourrait inclure un volet sur la perception socio-économique de la contamination du fleuve ; - le développement de biomarqueurs permettant notamment d'évaluer la génotoxicité des substances déversées dans le fleuve, incluant l'établissement de liens entre les résultats obtenus et les indices biologiques plus classiques - la définition des potentialités écologiques du fleuve en vue de déterminer le potentiel maximum et le bon potentiel écologique des masses d'eau fortement modifiées (au sens DCE). Appui à la fixation d'objectifs écologiques (cf. opérations prévues dans les fiches II.9 et II.10) - la réalisation et la mise à disposition d'un géorépertoire - le soutien à la mise en place d'un observatoire social du fleuve qui permette d'évaluation la perception qu'ont les acteurs des opérations de restauration et de proposer des indicateurs sociaux de suivi des actions. <p>Par ailleurs un suivi scientifique est déjà mis en œuvre dans le cadre du programme décennal de restauration hydraulique et écologique du fleuve (voir fiche correspondante).</p>
<p>Organismes pressentis pour la porter et partenariats nécessaires : Zone Atelier Bassin du Rhône, Cemagref, Agence de l'Eau ...</p>
<p>Délais envisageables de réalisation des différentes phases : Engagement des projets en 2005-2006, premiers résultats attendus en 2007.</p>
<p>Coûts estimatifs : 10 M€ (sur 10 ans)</p>
<p>Participations financières possibles : Agence de l'Eau, laboratoires de recherche</p>

Plan Rhône

Deuxième volet : La préservation de la ressource et de la biodiversité FICHE II.12 – Acquisition de références sur les questions « émergentes »

Descriptif sommaire de l'action et des sous actions éventuelles :

Certaines pressions exercées sur le fleuve, et par le fleuve sur son exutoire méditerranéen, sont aujourd'hui insuffisamment évaluées pour pouvoir correctement caractériser les enjeux associés et, par suite, les éventuelles mesures à prévoir.

Parmi celles-ci :

- Les apports de sédiments et de polluants à la Méditerranée. Une station de collecte d'échantillons et de mesure des flux a été installée à Arles en partenariat avec le COM ;
- la contamination du Rhône par les radioéléments. En 2002, des travaux du Conseil scientifique du CB avaient abouti à des propositions de mise en place d'un suivi général du fleuve, valorisant les données existantes. A ce jour, seul le site d'Arles est équipé pour mesurer la contamination des sédiments (cf. ci-avant) en partenariat avec l'IRSN. Il conviendrait maintenant de poursuivre la mise en œuvre des recommandations, en définissant notamment les conditions d'échange et de mise à disposition des données produites, en harmonisant les protocoles et en acquérant – si nécessaire – de la donnée complémentaire pour caractériser correctement l'ensemble du fleuve ;
- la contamination par les substances médicamenteuses (mimétiques oestrogènes, antibiotiques) et leurs effets sur les communautés aquatiques. Intégré aux orientations pluriannuelles de la ZABR (fiche II.14) ;
- la surveillance du réchauffement des eaux du fleuve lié au refroidissement des centrales, au changement climatique, aux aménagements etc... par la mise en place d'un suivi plus fin (dans le temps et l'espace) et en évaluant les incidences possibles sur la biologie (benthos et microbiologies des sédiments colmatant inclus) et, par suite, sur l'état écologique du fleuve et les conséquences sur sa gestion et celle des ouvrages qui l'influencent.
- La prévention et la lutte contre les espèces invasives. Sur la base des cartographies réalisées (atlas CNR notamment) et du guide technique SDAGE sur le sujet, établir une stratégie de maîtrise des espèces invasives et de réduction des risques d'introduction de nouvelles espèces proliférantes adaptée au contexte spécifique du fleuve.

Enfin, et de manière plus générale, le plan Rhône devrait se doter d'un dispositif de veille scientifique pour interpeller les acteurs du Rhône sur des éléments de prospective pour une gestion durable du fleuve (nouveaux usages, nouvelles pressions...). A titre d'exemple, pour illustrer concrètement le propos, seraient à engager :

- une réflexion prospective sur des scénarios d'effets du changement climatique sur l'écologie et les usages du fleuve.
- Une évaluation de l'évolution potentielle de la demande en eau, depuis la vallée alluviale en direction des BV affluents, ainsi que de la demande sociale en termes d'usages du fleuve et de l'occupation du fond de vallée (incluant un état des demandes/besoins actuels et futurs et des modes de gestion actuels, des taux de satisfaction – adéquation demandes vs état de la ressource – actuels et à prévoir, ...).

Organismes pressentis pour la porter et partenariats nécessaires :

Zone Atelier Bassin du Rhône, autres laboratoires de recherche, structures concernées par les problématiques soulevées (industriels, ...)

Délais envisageables de réalisation des différentes phases :

Engagement des projets à prévoir en 2006. Résultats à attendre de manière phasée (à préciser)

Coûts estimatifs : En première approche 10 M€ sur 10 ans

Participations financières possibles :
Etat, Agence, Europe et autres à définir

Plan Rhône

Deuxième volet : La préservation de la ressource et de la biodiversité

FICHE II.13 – Structuration de l'acquisition et de la mise à disposition des données

Descriptif sommaire de l'action et des sous actions éventuelles :

Dans le cadre du Programme décennal de restauration hydraulique et écologique du Rhône (P10), un tableau de bord du suivi scientifique a été mis en place. Il consiste en l'acquisition de données de terrain et la définition de méthode d'agrégation de ces dernières pour produire des indicateurs synthétiques permettant de suivre et évaluer le programme. (cf. fiches correspondantes). Par ailleurs, un Schéma Directeur de Données sur l'Eau du bassin Rhône-Méditerranée a été récemment établi pour planifier les actions relatives aux données sur l'eau nécessaires au suivi et à l'évaluation de la politique de l'eau dans le bassin, en particulier celle induite par la Directive Cadre sur l'Eau et le SDAGE.

En matière de données :

- Le Plan Rhône (PR) doit se doter d'un outil de type internet (« portail Rhône ») de rassemblement et de mise à disposition des données spécifiques au Rhône tout en s'inscrivant dans la démarche SDDE ;
- La cohérence entre le PR et le SDDE sera assurée par la mise en œuvre du principe d'interopérabilité des systèmes d'information souhaité par la Direction de l'Eau, permettant à plusieurs sites internet d'exploiter les mêmes données et de les présenter sous une forme adaptée au contexte ;
- Le portail Rhône pourra être constitué à partir du noyau que constitue le tableau de bord du P10 dont les conditions de sa pérennisation devront être étudiées. En effet, du fait de son caractère novateur relevant de la recherche appliquée, la maîtrise d'œuvre peut aujourd'hui être assurée par l'Université. En condition opérationnelle courante, un nouveau montage institutionnel devra être trouvé ;
- Ce portail a vocation à rassembler toutes les données sur les milieux et les usages, notamment, pour ces dernières, celles dont disposent les services de l'Etat (données sur les rejets, les prélèvements, etc.). La structuration et la mise à disposition des données devront ainsi être progressivement étendues à de toutes celles concernant le PR. En tant que de besoin, des conventions de mise à disposition de données devront être établies avec certains producteurs de données (CNR, EDF, ...).
- La portée de cette fiche dépasse donc le seul volet « ressource et biodiversité ». Ce projet doit être transversal à l'ensemble des volets.

Organismes pressentis pour la porter et partenariats nécessaires :

Portage : à déterminer

Partenariats : ensemble des producteurs de données, Zone Atelier Bassin du Rhône

Délais envisageables de réalisation des différentes phases :

Organisation institutionnelle à préciser avant la fin des conventions en cours pour le tableau de bord du P10. Phasage ultérieur à préciser.

Coûts estimatifs : 2 M€

Participations financières possibles :

Etat, Agence de l'eau et autres à déterminer

Complément : évaluation de la qualité des eaux sur les plans chimique, biologique et hydromorphologique

Actuellement, l'état chimique¹ des eaux de surface est évalué sur la base de concentrations moyennes au regard de valeurs seuils corrigées selon le fond géochimique ou bruit de fond naturel (CIR12, 2006).

L'état biologique, quant à lui, est évalué sur la base de 5 indices normalisés. Ces indices sont fondés sur des données : 1) d'invertébrés aquatiques superficiels avec les IBGN (Indice Biologique Global Normalisé) (AFNOR, 1992) et de diatomées avec les IBD (Indice Biologique Diatomées) (AFNOR, 2000) ; 2) de poissons avec les IPR (Indice Poissons Rivières) (AFNOR, 2004) ; 3) de macrophytes avec les IBMR (Indice Biologique Macrophytes en Rivières) (AFNOR, 2003) et 4) d'oligochètes avec les IOBS (Indice Oligochètes de Bioindication des Sédiments) (AFNOR, 2002). Certains de ces indices peuvent être mobilisés pour l'évaluation de la qualité des eaux souterraines. Parallèlement, à ces indices des données hydromorphologiques et physico-chimiques constituent des facteurs explicatifs de l'évaluation de l'état de la masse d'eau. Les caractéristiques physiques doivent être prises en compte si elles sont limitantes pour atteindre le « bon état écologique », si elles permettent d'évaluer les effets de mesures ou d'aménagements. La DCE précise que le domaine hydromorphologique doit être lié à la notion d'habitat. Pour cette étude des interactions nappe/rivière il va s'agir de tenir compte de manière complémentaire des connaissances hydrauliques, hydromorphologiques, hydrogéologiques et biologiques.

Il existe, par ailleurs, de forts enjeux attachés à la DCE et notamment ceux liés aux milieux naturels, aux ressources AEP et aux vulnérabilités.

Action dans le domaine hydromorphologique à engager selon la DCE (CIR12, 2006) :

« pour le régime hydrologique :

- respect/rétablissement de débits minimums d'étiage (en général, de l'ordre du dixième du module inter annuel) ;
- maintien/restauration de crues morphogènes (débit de plein bord) à des fréquences de retour acceptables (de l'ordre de 1,5 à 2 ans) ;
- maintien de la connexion avec les eaux souterraines.

pour la continuité de la rivière :

- rétablissement des possibilités de circulation (montaison et dévalaison) des organismes aquatiques à des échelles spatiales compatibles avec leur cycle de développement et de survie durable dans l'écosystème ;
- rétablissement des flux de sédiments nécessaires au maintien ou au recouvrement des conditions d'habitat des communautés correspondant au bon état.

pour les conditions morphologiques :

- rétablissement/maintien d'un tracé en plan et de conditions de connectivité latérales du cours d'eau avec ses milieux annexes (prairies inondables, zones humides, bras morts, ...) permettant d'assurer à ces communautés les conditions d'habitat nécessaires à leur développement et à leur survie durable (en particulier, granulométrie des fonds, vitesses de courant, hauteur d'eau) ;
- rétablissement ou maintien d'un état des berges et de la végétation riveraine compatibles avec le développement et la survie des organismes correspondant au bon état écologique. »

¹ Circulaire DCE 2005/12 définition du bon état des eaux douces de surface.
http://www.ecologie.gouv.fr/article.php3?id_article=81

Annexe 2. Tableau de données et de références

Annexe 2.1. Université d'Avignon, Faculté des sciences, laboratoire d'hydrogéologie

CORRESPONDANT : Y. Travy et O. Banton

TYPE D'ACTION	HYDROSYSTEME		LIEU GEOGRAPHIQUE	RESULTATS OBTENUS	DATE PERIODE	CADRE
	COURS D'EAU PLAN D'EAU - ZH	NAPPE				
1) Thèses : Mallessard (83), Abiven (86), Labbarre (92), Etudes sur Fer – Manganèse dans nappe et effets de berge.	Rhône et bras morts au niveau d'Avignon	Alluviale d'Avignon, îles de la Motte et de la Barthelasse.	Environs d'Avignon	Chroniques de mesures (piézométrie et analyses chimiques). Cartes, Etude des mécanismes	80-85 et 89-92	
2) Thèse (M. Lacroix) Stages DESS (Michaler et Clauss) + conventions labo Hydrogéol/syndicats d'irrigation	Canal de Carpentras, canal de St Julien, Durance.	Alluviale de la plaine des Sorgues (bassin Avignon Carpentras	Environs d'Avignon	Etude semi quantitative à partir des isotopes stables de la ré alimentation de la nappe par l'irrigation gravitaire. Modélisation des teneurs en nitrates		
3) 2 Stages DESS (Rabin et Cholley) + TP terrains de piézométrie.		Alluviale du Rhône	Secteur de Mornas	Pompages d'essai, cartes piézométriques	95-97 99-2003	Rapports de bureaux d'études pour TGV
Etudes périmètres de protection (Modèles) + rapport hydro-Agréés (Mudry-Travi)		La Saignonne et Barthelasse	Région Avignon	Modélisation de la nappe. Echanges- nappe -Durance- Rhône. Etude d'une barrière hydraulique		
Thèses (Musset, Lalbat, Huneau)		Molasse miocène	Plaine carpentras, Valréas	Teneurs en nitrates , relation avec les eaux superficielles, âges des eaux, paléohydrologie	95-2005	
Stage DESS (Chabas) Thèse (en cours) (de Montety)		Cailloutis de la Crau	Région Salon et bordure Camargue	Réalimentation de la nappe des cailloutis à partir des canaux (isotopes, bilan, mesures de l'infiltration) ; vidange de la nappe des cailloutis en camargue.	2002, En cours	ORE Camargue
Programme PNRH, DEA et thèse (Bogner)		Nappe alluviale Rhône-Durance ; station expérimentale pour étude d'écoulements préférentiels	Sud Est d'Avignon	Modélisation de l'infiltration en nappe alluviale, traçage des écoulements préférentiels.	2003-2006	Programme PNRH- INRA
DEA, Chambre d'Agriculture de la Saône (O. Banton)		Nappe alluviale de la Saône		Bilans, impact des Nitrates sur la nappe.		

Annexe 2.2. CEMAGREF Lyon, UR BELY

CORRESPONDANT : M. Lafont

TYPE D'ACTION	HYDROSYSTEME		LIEU GEOGRAPHIQUE	RESULTATS OBTENUS	DATE PERIODE	CADRE
	COURS D'EAU PLAN D'EAU - ZH	NAPPE				
-Etude « Effet filtre des berges »	Rhône au Grand Gravier	Modélisation	Aval Lyon-(Givors)	Rapports, publications	1989-1990	Etude DIREN Eaux souterraines
- Etude du champ captant de Crépieux-Charmy	Rhône/canal de Miribel : canal de Jonage	Modélisation	Villeurbanne	Rapports	1993	Etude 1994

Tableau de données et de références

- Etude du champ captant à Chasse sur Rhône, Vilette d'Anthon	Rhône à Chasse sur Rhône		Chasse sur Rhône	Rapports, publications	1992	Etude 1992
- Etude écologique de la Saône à Anse	Saône-Azergue		Anse	Rapports	1998	Etude
- Etude écologique de la Durance	Différents sites à l'amont et à l'aval		Sur tout le cours de la Durance	Rapport + DEA	1991	Etude + projet Ecotox (biomarqueurs)
- Bassin del'Yseron	Une dizaine de sites	Modélisation des échanges entre eaux superficielles et souterraines	Yseron	Rapports, thèse, publications, Bioindicateurs, géomorphologie et géochimie	Depuis 2000	PNRH, OTHU, URBEM, ZABR
- Etude de vulnérabilité sur la Saône, relations eaux sup. eaux sout.	4 sites		Couzon à la Mulatière			
- Léman	1 à 2 sites		Dromentroux	Données	1954-1984	ATP INRA
- en projet : études sur le Haut-Rhône et la Romanche						

Annexe 2.3. Université de Savoie, Chambéry
CORRESPONDANT : G. Nicoud

TYPE D'ACTION	HYDROSYSTEME		LIEU GEOGRAPHIQUE	RESULTATS OBTENUS	DATE PERIODE	CADRE
	COURS D'EAU PLAN D'EAU - ZH	NAPPE				
1) Etudes G. Nicoud -Dynamique du remplissage glaciaire	parcours du Rhône		Bellegarde-Seyssel Chautagne-Lavours Chautagne-Gorge de la Balme	Remplissages ombilics glaciaires Analyses de sondages sismiques Géométrie des aquifères	1985 1987	Recherche G. Nicoud
2)-Etude hydrogéologique et hydrodynamique	Rhône Relations hydriques entre profondeur et superficie Alimentation du Rhône en amont Parcours dans les tourbières Relations nappes-rivière Connexions entre la nappe et le karst Ruissellement sur la molasse avant infiltration dans la nappe	Chautagne – Lavours	N. Lac Bourget Marais de Chautagne « Grand Papillon »	Remplissage Quaternaire Piézométrie Modèle aux différences finies 3D (Burgéap)	2000-2003	Contrat EID Rapports Burgéap Assistance à maître d'ouvrage
3) Etudes Rampnoux Bilan hydrologique	Rhone	Accompagnement du Rhone	Rhône- Guiers	Piézométrie et interprétation	1990	
4) Etude AEP	?	?	Confluence avec l'Ain		2001	
5) Thèse	Rhone	Accompagnement du Rhone	Cluse de la Balme		1985	Thèse Ph Michal
6) Etude du Quaternaire G. Monjuvent	Rhone		Balme-Est Lyonnais	Remplissage quaternaire déglaciation	1988	Recherche Monjuvent. Géologie Alpine

Annexe 2.4. Université Montpellier, UMR Hydrosociences UM2 laboratoire d'hydrogéologie

CORRESPONDANT : C. Drogue, S. Pistre

TYPE D'ACTION	HYDROSYSTEME		LIEU GEOGRAPHIQUE	RESULTATS OBTENUS	DATE PERIODE	CADRE
	COURS D'EAU PLAN D'EAU - ZH	NAPPE				
1) Thèse Parascandola		Rhône/toutes les nappes	entre Valence et Orange	Carte de vulnérabilité (autres cartes sur affluents)	1980	Coopération Labo.Hydrogé.UM2-BRGM
2mémoire de DEA	Rhône	nappe libre	Beaucaire	Piézométrie	1975	Labo. Hydro.UM2

Annexe 3. Tableau des bases de données (données, bibliographie, modèles) : exemples

titre	auteur(s)	date de parution	début de validité	fin de validité	emprise spatiale	hydrosystème	nature	type	description	domaine d'usage	origine	adresse	contact	labo	localisation
Le Rhône	Bravard Jean-Paul	1897			Rhône (fleuve)	Rhône (fleuve)	généralités	doc		livre	la manufacture				Ecole mines paris 1 font (551.483 bra r)
Cartes de navigation Rhône et Saône	Salagnac René	1955			Rhône (fleuve)	Rhône (fleuve)	aménagement	carte		carte					Maison du Rhône
Documents sur la nappe alluviale de la basse Durance et de la Crau ,1953 - 1962	Cerga-institut de géologie	1965	1953	1962	Durance (basse), Crau	aquifère alluvial	hydrogéologie	doc		rapport	Cerga-institut de géologie				Ecole mine paris 1 font (emf 576(2))
Aménagement du Rhône	Commissariat général du plan d'équipement et de la productivité	1965			Rhône (fleuve)	Rhône (fleuve)	hydrologie, aménagement	doc	aménagement de cours d'eau, cours d'eau	rapport	Commissariat général du plan d'équipement et de la productivité				base fontaine d18585 rmc
Etude géologique de la région comprise entre Oullins et Givors, Rhône	Muller N	1965			Oullins, Givors		géologie	doc		rapport					Ecole mines paris 2 font (emf 9879-8) font (emf 506(8))
Recherches sur le quaternaire du Bas-Dauphiné et du Rhône moyen	brgm	1969			Dauphiné (bas), Rhône (moyen)		géologie	doc		rapport	brgm				mémoire du brgm, edv-art-mb0065
Connaissance de l'hydrogéologie de la plaine Saône-Doubs (Côte-d'Or, jura, Saône-et-Loire). rapport de synthèse. deuxième partie : hydrogéologie	Collin JJ	1969			Saône-Doubs (plaine)	Aquifère	hydrogéologie	doc		rapport					
Quelques problèmes poses par l'utilisation des eaux du Rhône à buts multiples	Savey P	1970			Rhône (fleuve)	Rhône (fleuve)	hydrologie, aménagement	doc	usage de l'eau, aménagement à buts multiples	article					
Etude géologique et hydrogéologique de la vallée du Rhône entre Aramon et Tarascon-Beaucaire	Arnaud J	1972			Aramon, Tarascon, Beaucaire	Aquifère	hydrogéologie	doc		rapport	Grenoble 1, université				Ecole mines paris 1 font (emf 8169-8)

Annexe 4. Typologie des aquifères en connexion avec le Rhône

Si l'on se réfère au bilan hydrologique français dressé par Margat & Roux (2006a) on constate que le stock d'eau souterraine est évalué à 1000km^3 alors que celui des eaux de surface (lacs et barrages) à seulement 7km^3 . L'apport des pluies efficaces (pluies totales-évapotranspiration) est évalué à $170\text{ km}^3/\text{an}$ dont 70 contribuent au ruissellement de surface et 100 à l'écoulement souterrain retardé.

Ce sont ces eaux qui alimentent les aquifères. Ces réservoirs conducteurs d'eau peuvent être envisagés de différentes façons (Margat & Roux, 2006b) :

- selon leurs propriétés intrinsèques qui conditionnent la quantité d'eau emmagasinée [dimensions (étendue, volume), porosité, perméabilité], la capacité de stockage (volume, porosité efficace) et la capacité à transmettre les flux ou transmissivité (épaisseur, perméabilité) ;

- selon la catégorie de réservoirs : 1) aquifères homogènes ou continus à perméabilité d'interstice [nappes alluviales (sables, graviers, grès...), nappes de bassins sédimentaires à vitesse d'écoulement lente et régulière], 2) aquifères hétérogènes ou discontinus à perméabilité de fissure (calcaires, roches volcaniques, granitiques ou gréseuses) ;

- selon leur dynamique : nappes libres peu profondes (phréatiques) ou nappes captives (piégées) ;

- selon la vitesse d'écoulement des eaux : 0,5 à 2km par an (1 à 5m par jour) pour les nappes d'alluvions des grandes vallées types Rhône, 30 à 300km par an (100 à 1000m par jour) pour les nappes d'alluvions grossières des vallées alpines, 1 à plusieurs dizaines de kilomètres par jour pour les aquifères karstiques.

Parmi tous les aquifères français, environ 200 sont qualifiés d'importance régionale car ils ont une taille supérieure à 100km^2 . De plus, il existe différents type d'aquifères : les aquifères de socle, les aquifères karstiques, les aquifères alluviaux que l'on peut rencontrer tout au long de la vallée du Rhône². Ceux-ci varient par leurs caractéristiques, les moyens d'investigation possibles et leur vulnérabilité.

4.1. Aquifères de socle

Les aquifères de socle (ou aquifères fissurés ou aquifères discontinus) sont aujourd'hui qualifiés d'aquifères continus stratiformes liés à l'altération de roches cristallines, plutoniques ou métamorphiques (Lachassane & Wyns, 2006). La productivité de ces aquifères est toujours modeste. Ils sont structurés selon le modèle suivant (du bas vers le haut) :

- substratum rocheux sain : perméabilités élevées localement (fractures, débit de plusieurs m^3/heure), faible capacité de stockage (porosité efficace $\ll 10^{-4}$).

- horizon intermédiaire fissuré-altéré de 50m d'épaisseur environ : les fissures subhorizontales dans les granites constituent des venues d'eau (perméabilité $>10^{-5}\text{m/s}$), c'est le nombre de fractures qui conditionne la productivité d'un forage, les petites fractures sont à l'origine d'une perméabilité de bloc (5.10^{-8}m/s) plus forte que la perméabilité de la matrice (10^{-14} à 10^{-19}m/s). Ces blocs assurent 90% de l'emmagasinement total et 10% est assuré par les fractures perméables.

- formations meubles d'altération (altérites) d'une épaisseur de 0 à plusieurs dizaines de mètres : présence d'argile et faible perméabilité relative et capacité significative d'emmagasinement (fonction capacitive).

On observe que l'horizon fissuré-altéré est presque toujours saturé d'eau et contribue à 80% du stockage (20% pour les altérites). Si les altérites ont été déblayées par l'érosion (massifs anciens) ce type d'aquifère possède une faible capacité de stockage. Dans les massifs à fort relief on peut être en présence de sources à forts débits.

Classiquement, l'investigation de ce type d'aquifères est fondée sur l'analyse statistique de résultats de forages. Associées au modèle précédent, les analyses permettent de dresser la cartographie

² Il existe aussi des aquifères volcaniques et des aquifères littoraux que nous laisserons de côté dans un premier temps compte-tenu de leur rareté le long du cours du Rhône.

des altérites et de la zone fissurée, et d'effectuer une caractérisation déterministe des potentialités des aquifères s'appuyant sur des approches géologiques, géomorphologiques, et géophysiques. Il existe aussi des méthodes multi-critères (lithologie du substratum, géométrie des altérites et de l'horizon fissuré-altéré, profondeur du niveau piézométrique, morphologie, fracturation) pour évaluer les potentialités des aquifères de socle.

La caractérisation des couloirs tectoniques peut être quant à elle effectuée à l'aide de:

- prospections émanométriques radon (les teneurs en radon dans les gaz du sol permettent de détecter les zones fracturées du substratum cristallin, zone de dégazage préférentielle de la croûte terrestre) ;
- méthodes géophysiques : électriques ou électromagnétiques (sondages électriques, traînés ou panneaux électriques (VLF, MTA) pour détecter dans les secteurs fracturés les structures conductrices (failles) ; méthode RMP (Résonance Magnétique Protonique) pour caractériser la puissance, la porosité efficace et donc la capacité de stockage.

Selon Lachassagne & Wyns (2006) il n'existe pas actuellement d'outil de modélisation hydrogéologique discrétisé fiable pour les aquifères de socle. Des travaux sont toutefois engagés sur la modélisation hydrologique à l'échelle de bassin versant (ex : TOPMODEL) et sur des modèles maillés multicouches (différences finies ou éléments finis).

4.2. Aquifères karstiques

Les aquifères karstiques sont, comme leur nom l'indique, caractéristiques du karst : « paysage particulier créé par l'eau et dans lequel l'eau circule de façon spécifique ou complexe » (Bakalowicz, 2006). Dans les régions karstiques, l'eau est souvent absente du sol car les perméabilités sont grandes et l'accumulation se produit dans les profondeurs, puis il y a émergence au niveau de sources. En France, la loi est sévère concernant l'exploitation des eaux du karst. Elles sont donc peu exploitées. Le karst représente 35% des eaux souterraines en France et 30% de l'eau potable, mais les prélèvements agricoles et industriels semblent mal évalués.

Les aquifères karstiques sont caractérisés par le schéma fonctionnel suivant :

- zone d'infiltration : infiltration différée par stockage vers la surface (épikarst), infiltration lente (fissures fines), infiltration rapide (fractures larges), infiltration concentrée et rapide (alimentation par des rivières des terrains non karstiques) ;
- zone noyée : drainage (réseau de conduits hiérarchisé), stockage (vides karstiques, zones fissurées).

Classiquement, les méthodes d'investigation des aquifères karstiques reposent sur des traceurs chimiques comme les sels dissous, les isotopes constitutifs de la molécule d'eau (oxygène 18, deutérium, tritium), les éléments dissous (carbone 13, carbone 14, azote 15, Soufre 34) qui permettent d'évaluer les conditions d'écoulements ou des temps de transfert. D'une manière générale, la vitesse dans les conduits est de l'ordre de 100m/heure, 1000m/heure en crue. Elle est le plus souvent comprise entre 10 et 100m/heure. Les méthodes d'études diffèrent selon que le karst est peu transformé ou profondément transformé. Il est possible de procéder à des analyses d'hydrogramme (récession) ou à des colorations et traçages artificiels (fluorescéine). La méthode multi-critères EPIK permet quant à elle d'évaluer la vulnérabilité de l'épikarst.

4.3. Aquifères alluviaux

Les aquifères alluviaux sont ceux qui nous intéressent le plus dans le cadre de cette étude. Selon Collin (2006), les alluvions sont des roches meubles, de nature pétrographique variée et de granulométrie hétérogène. Leur mise en place est due à des phénomènes hydrauliques. La majorité des alluvions est d'origine fluvio-glaciaire et l'alluvionnement n'est pas majoritairement un phénomène actuel.

Le profil de l'alluvionnement est généralement semblable partout (profil hydrodynamique régulier au long du cours des fleuves, pentes des alluvions, surface supérieure et ligne d'eau) sauf :

- dans les dépressions dues aux « coupes de gouge » imprimées dans les formations tendres par les lobes des glaciers (ex : molasse du Bas-Dauphiné) ;
- lors du remplissage des cavités laissées par les glaciers en amont de verrous de roches dures (ex : défilés du Rhône) ;
- lors d'alluvionnement par subsidence du tréfonds (origine néo-tectonique par dissolution des formations salifères ; ex : Jura) ;
- lors des oscillations du niveau des mers et transgression marine (ex : vallée du Rhône).

L'étude des nappes alluviales conduit à considérer l'importance des relations entre l'aquifère et d'autres entités. Il peut s'agir de relations avec :

- les terrains encaissants (latéraux) :
 - . si ces terrains sont perméables et bons aquifères, alors il y a un débit significatif des nappes de versants (évaluation par : jaugeages différentiels du cours d'eau sur une zone dépourvue d'affluents, repérage des turbulences, analyses géochimiques isotopiques).
 - . si les berges des paléo-vallées sont constituées de marnes ou d'argiles, la nappe alluviale ne dépend que du cours d'eau sur le plan hydrodynamique (faible gradient hydraulique : 10^{-3} à 10^{-4}), et la chimie de l'eau de nappe peut être très différente de celle de l'eau de la rivière.

- le substratum,
- le cours d'eau.

Certains aquifères alluviaux présentent des particularités :

- ceux dont la partie supérieure est constituée de matériaux grossiers (ex : Côtes-du-Rhône) ;
- ceux issus d'une fin d'alluvionnement progressive générant des entrelacs de méandres tour à tour abandonnés et comblés de matière organique (ex : îlots de Lyon) ;
- ceux constituant des systèmes aquifères en terrasse (ex : entre Lyon et Valence).

Dans les aquifères alluviaux, les propriétés hydrauliques dépendent de la granulométrie. La formule de Hallen-Hazen relie la perméabilité à la taille des grains: $K(\text{cm/s})=100D_{10}^2$ (D_{10} : diamètre des 10% des grains les plus fins exprimé en cm). Si cette formule fonctionne bien pour les sables éoliens (homogènes, propres, triés), elle n'est pas adaptée pour les alluvions fluviales. On utilise alors le coefficient d'uniformité (D_{10}/D_{60}) pour obtenir une perméabilité significative en hydrogéologie. Au final, la perméabilité des alluvions (coefficient de Darcy) est comprise entre 10^{-2} et 10^{-5} m/s, et la fourchette la plus fréquente est de 10^{-3} à 10^{-4} m/s. Dans ces milieux, la porosité totale varie de 10 à 20%, et la porosité efficace ou coefficient d'emménagement de 5 à 10%.

La prospection des aquifères alluviaux peut être réalisée grâce à différentes méthodes :

- prospection hydrogéologique : sondages mécaniques (coûteux), géophysiques : électrique, ou sismique, Résonance Magnétique Protonique (seule méthode actuelle qui permet de « voir » l'eau) ;
- prospection hydrodynamique : essais de pompage, suivi piézométrique, modélisation ;
- étude du fonctionnement hydrodynamique du couple nappe-rivière : fondé sur l'évaluation de la diffusivité (Diffusivité : $D=T/S$ avec T : transmissivité ; S : emmagasinement) pour des rivières à fond et berge peu ou pas colmatés et grossièrement rectiligne. Le suivi du niveau piézométrique de la nappe et de la ligne d'un cours d'eau lors des crues, permet de connaître l'onde de propagation d'une onde de crue dans la plaine alluviale.
- suivi hydrocynétique (traceur, le meilleur est le suivi d'une grosse pollution en temps réel).

Les nappes alluviales peuvent présenter des comportements différents :

- drain d'écoulement préférentiel vers le milieu superficiel qui recueille les flux ;
- milieu perméable connecté à la rivière pouvant recueillir par infiltration une partie de l'eau de la rivière, comme à l'entrée d'un méandre par exemple ;
- combinaison des deux.

Les nappes alluviales sont réceptacles et mandataires des eaux des formations adjacentes et des eaux de surface. Elles sont parcourues par des flux supérieurs à celui qu'elles auraient sans la

contribution des formations adjacentes, ce qui leur permet de soutenir un étiage. A ce propos, la Formule de JACOB et la théorie des images permettent le calcul de distances d'influence, de débits, de durées de pompage pour éviter des problèmes à l'étiage.

La vulnérabilité des nappes alluviales varie en fonction du type de polluant et de la nature de la couverture et du sol :

- des alluvions caillouteuses sans sol ni limon présentent un risque maximal pour toutes les substances ;
- une couverture sol et limon non saturée retarde une pollution par les hydrocarbures mais pas une pollution contenant des organo-halogénés ou des électrolytes anioniques ;
- une bonne capacité d'échanges cationique (calcite, certaines argiles, matières organique) retient les métaux ;
- le phénomène de réalimentation par les berges d'un cours d'eau pollué est limité par le colmatage des berges anthropisées ;
- les barrages, écluses et digues sont responsables du colmatage et provoquent des échanges dans le sens rivière-nappe (les secteurs naturels avec alternance recharge décharge ne sont pas colmatés).

Selon Roux (2006b) la vulnérabilité des aquifères aux pollutions est de 2 types :

- vulnérabilité intrinsèque : « représente les caractéristiques du milieu naturel (aquifère, couverture du sol, zone non-saturée ; facilité d'accès de la pollution) qui déterminent la sensibilité des eaux souterraines à la pollution par les activités humaines ». Cette définition ressemble à celle donnée par Margat (1988)³ ;

- vulnérabilité spécifique : « définit la vulnérabilité à un polluant ou à un groupe de polluants » prend en compte les spécificités des polluants en relation avec la vulnérabilité intrinsèque.

La vulnérabilité étudie les pollutions venant du sol et leur propagation verticale, la propagation horizontale est du domaine du risque. Elle peut être définie selon plusieurs critères :

- critères de surface : topographie, pédologie ;
- critères zone non-saturée : profondeur nappe, battement ou hydromorphie, perméabilité verticale, structure ;
- critères zone saturée : type de nappe, structure, épaisseur, paramètres hydrodynamiques, relations nappes-cours d'eau, recharge.

D'une manière générale, les nappes alluviales sont soumises à une grande vulnérabilité (absence de protection, faible profondeur, risque de propagation rapide de la pollution des cours d'eau). Elles sont plus vulnérables en été car les transferts d'eau augmentent avec la température de l'eau (Anus, 1998).

Ces notions sont intéressantes à prendre en compte, dans la mesure où une des finalités de ce programme porte sur la qualité des eaux de nappes connectées au Rhône.

³. Margat (1988) définit la vulnérabilité de l'eau souterraine aux pollutions comme un « défaut de protection ou de défense naturelle de l'eau souterraine contre des menaces de pollution, en fonction des conditions hydrogéologiques locales ». Selon cet auteur, la vulnérabilité dépend uniquement de variables intrinsèques et non pas du degré d'exposition au risque. Elle est composite et s'évalue à partir de 2 critères selon : 1) la facilité et la rapidité avec laquelle une pollution atteint l'eau souterraine et 2) la difficulté de régénération de la qualité de l'eau souterraine.

A l'échelle de la vallée du Rhône, la question de la vulnérabilité des ressources est prépondérante. Il va s'agir de déterminer quels secteurs dépendent de la nappe et/ou du Rhône, et de considérer le devenir de la ressource sur le long terme aussi bien en termes de qualité que de quantité.

Annexe 5. Méthodes quantitatives : formules et solutions analytiques, modèles simplifiés

Des formules de base de l'hydrodynamique (Darcy, Dupuit) permettent de calculer des caractéristiques hydrodynamiques, des débits et niveau des nappes. Des méthodes plus élaborées (Hantush, Peaudecerf, Beraud,...) sont davantage appliquées aux phénomènes d'infiltration et de drainance qui pourront intervenir ultérieurement dans l'évaluation des échanges nappes/rivière.

• Détermination des caractéristiques hydrodynamiques

Il existe différentes méthodes fondées sur des essais de pompage :

- Méthode Thiem (rabattement, logarithme des distances) et méthode de Logan (rabattements spécifiques) en régime d'équilibre ;
- Méthode de la courbe de descente de Theis et Jacob, méthode de la remontée de Theis-Jacob pour les régimes de non-équilibre.

Ces méthodes permettent de calculer des valeurs de transmissivité (T) dont on déduit le coefficient de perméabilité (K) en connaissant l'épaisseur de l'aquifère (e) : $T=Ke$.

Le coefficient d'emmagasinement ou porosité de drainage μ (%) d'une nappe libre s'obtient de la façon suivante : $\mu = \frac{\Delta V}{\Delta H A}$ avec :

ΔV : volume d'eau libéré ou pompé

$\Delta H.A$: volume de l'aquifère ayant cédé l'eau (avec ΔH : variation de hauteur d'eau et A : surface de l'aquifère).

Pour une nappe captive, on parle de coefficient d'emmagasinement (S) qui se calcule selon la même formule.

• Régime permanent : milieu homogène

- Formule de Darcy : $Q = K.A. \frac{dH}{dL}$ avec :

Q : débit en m³/s

K : perméabilité en m/s

A : section d'écoulement en m²

$\frac{dH}{dL}$: gradient hydraulique ou perte de charge (dH : variation du niveau piézométrique entre 2 puits ; dL : distance entre 2 puits)

Dans un premier temps, nous utiliserons cette approche pour calculer les débits de nappe. Il existe toutefois d'autres méthodes de calcul, mais celles-ci nécessitent davantage de données (essais de pompage, chroniques de débits, chroniques piézométriques, suivi de crues...).

- Formule de Dupuit :

Cas pour un puits en nappe libre : $Q = \frac{\pi.K.(H^2-h^2)}{\log \frac{R}{r}}$ avec :

Q : débit en m³/s

K : perméabilité en m/s

H : épaisseur saturée sans pompage en m

h : épaisseur saturée après pompage en m

R : rayon d'influence du pompage ou cône de rabattement (de dépression)

r : rayon du puits

Cette formule permet de calculer le débit de nappe au niveau d'un puits qui doit être complet, c'est-à-dire dont le fond est en contact avec le substratum. Il existe d'autres formules pour calculer des débits pour des puits n'atteignant pas le substratum (puits à fond seul perméable, puits à fonds étanche

et à parois partiellement perméables, puits à fond perméable et à parois partiellement perméables, puits à fond et à parois latérales entièrement perméables) et pour des nappes captives.

Elle peut être appliquée pour calculer le débit de nappe entrant dans une rivière ou le débit dans un contre-canal : $Q=K \cdot \frac{(y^2-h^2)}{2L}$ avec :

Q : débit en m³/s

K : perméabilité en m/s

y : épaisseur saturée en m

h : épaisseur du cours d'eau ou du contre-canal en m

L : distance à la rivière ou au contre-canal

- **Régime transitoire : milieu homogène, isotrope, infini et transmissivité et coefficient d'emménagement constants**

- Formule de Theis (Houdaille & de Marsily, 1969) :

Cette formule implique de connaître de nombreux paramètres de nature hydrodynamique intervenant dans les relations nappes-rivière : le coefficient de perméabilité (K en m/s), l'épaisseur saturée (h en m), la transmissivité (T en m²/s), le coefficient d'emménagement total (S), le niveau piézométrique (en m) et le niveau de la rivière (en m), le débit de la rivière (en m³/s).

Il faut de plus faire intervenir la distance du point de prélèvement de la rivière (r en m), la distance du point de prélèvement aux limites, le débit de pompage (Q en m³/s), le temps écoulé depuis le début du pompage (t en s).

Il est nécessaire que le débit de pompage soit constant et que la nappe captive soit d'épaisseur constante et de grande étendue.

$$\Delta = \frac{Q}{4\pi T} \cdot W(u) \quad u = \frac{r^2 S}{4Tt} \quad W(u) = \int_u^\infty \frac{e^{-u}}{u} du \quad \text{avec :}$$

$\Delta h(r,t)$: diminution de charge de pression au temps t à la distance r de l'axe du puits

T : transmissivité de l'aquifère en m² /s

S : coefficient d'emménagement de l'aquifère

W(u) : fonction caractéristique du puits ou courbe standard

Cette formule permet de calculer l'effet d'un pompage sur une nappe à proximité d'un cours d'eau, le débit soustrait à une rivière par un pompage dans la nappe et le débit soustrait à la rivière après l'arrêt du pompage.

Des abaques permettent de calculer les débits instantanés qui quittent la rivière et les volumes cumulés au bout d'un temps. Il existe aussi des abaques pour les nappes limitées.

- Formule de Jacob (Houdaille & de Marsily, 1969) : $\Delta h = \frac{0,183Q}{T} \cdot \log \frac{2,25Tt}{r^2 S}$ avec :

Δh : rabattement en mètre

Q : débit en m³/s

T : transmissivité en m²/s

S : coefficient d'emménagement

r : distance au puits en mètre

t : temps en seconde

Il s'agit d'une approximation logarithmique de la formule de Theis. Cette formule peut-être appliquée aux nappes libres si le rabattement est faible par rapport à la puissance de la nappe (hauteur d'eau).

- **Méthode de Hantush (1965) adaptée par Bouchard (1985)**

Cette méthode permet d'estimer la fraction du débit d'exhaure qui s'infiltre par la berge de la rivière, le temps nécessaire à l'arrêt des infiltrations après pompage et le volume d'eau infiltrée par la berge entre l'arrêt du puits et la stabilisation. Cette méthode nécessite de connaître les paramètres suivants :

T : transmissivité de la nappe (m ² /s)	S : coefficient d'emmagasinement
Qp : débit d'exhaure (m ³ /s)	D : distance puits-berge (m)
K : perméabilité de l'aquifère (m/s)	h : hauteur de la nappe (m)
i : gradient hydraulique	

Il est nécessaire de calculer :

- l'alimentation naturelle par unité de longueur en m²/s : $Q_x = T.h.i$

- le coefficient de colmatage exprimé en épaisseur de terrain environnant en m :

$A = \frac{K.L_v}{K_c}$ avec Kc perméabilité de la frange colmatée et Lv épaisseur de vase colmatante.

L'épaisseur de vase colmatante peut être évaluée à l'aide de la formule des perméabilités composées : $K_e = \frac{L_a + L_v}{\frac{L_a}{K} + \frac{L_v}{K_c}}$ où La est la longueur d'alluvions et Lv est l'épaisseur de vase (D=La+Lv).

La résolution de l'équation de diffusivité aboutit aux équations suivantes :

1. un paramètre exprimant l'alimentation latérale : $\frac{Q_x.D}{Q_p}$

2. un paramètre de colmatage : $\frac{A}{D}$

3. le temps réduit : $t_r = \frac{4.t.T}{D^2.S}$ avec t : temps écoulé depuis l'arrêt du pompage (s)

4. le débit de réalimentation de la nappe relativement au débit du puits : $\frac{Q_r}{Q_p}$ avec Qr : débit d'infiltration depuis la berge (m³/s)

5. le volume d'eau infiltrée ramené à un volume représentatif du cône de rabattement initial : $V_a = \frac{4.T.V}{Q_p.D^2.S}$ avec V : volume d'eau infiltrée depuis t=0

L'utilisation d'abaque permet d'obtenir Qr soit le débit d'eau de rivière s'infiltrant dans l'état permanent du pompage et t₀ (temps d'annulation du débit d'infiltration tel que Qr(t₀)=0) le temps nécessaire après l'arrêt du pompage pour que l'infiltration cesse.

• Propagation de l'onde de crue d'un cours d'eau dans la nappe alluviale

- Méthode de Peaudecerf (1970, 1973) et Durbec & al. (1991)

Cette méthode fondée sur des essais de pompage donnant les valeurs de transmissivité (T) et le coefficient d'emmagasinement (S) permet de calculer la variation du niveau de la nappe sous l'effet d'une onde de pression à condition que l'aquifère soit captif, semi-infini et homogène. On peut alors calculer la diffusivité : $D = \frac{T}{S}$. On peut aussi détecter les phénomènes de recharge de l'aquifère par les pluies, les effets d'évaporation et le colmatage des berges.

Si l'on connaît l'hydrogramme de la rivière simultanément au niveau piézométrique enregistré à une distance x de la rivière on peut connaître la fluctuation piézométrique grâce aux formules de propagation linéaire.

$$h(x,t) = h_0 \operatorname{erfcf} \frac{x}{2\sqrt{t \cdot \frac{T}{S}}} \text{ avec } \operatorname{erfcf}(u) = 1 - \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^u e^{-x^2} dx$$

$h(x, t)$ représente la charge au temps t à une distance x du cours d'eau.

- Méthode de Beraud & al. (1975, 1976)

Dans le cas de berges colmatées, pour savoir comment les niveaux de la rivière influent sur les niveaux de nappe, il est aussi possible d'utiliser :

$$h_x = h_0 e^{-x\sqrt{\frac{\pi S}{T_0 T}}} \sin\left(\frac{2\pi T}{T_0} - x\sqrt{\frac{\pi S}{T_0 T}}\right) \text{ où :}$$

h_x : variation du niveau piézométrique à la distance x de la berge par rapport au niveau moyen de la rivière
 T_0 : période de la variation sinusoidale

h_0 : demi-amplitude de la variation de la rivière

Le temps nécessaire à la propagation d'un maximum ou d'un minimum de l'hydrogramme entre la berge et la distance x est :

$$t_x = x\sqrt{\frac{T_0 S}{4\pi T}}$$

- Méthode de Carry (1971)

Dans le cas de berges colmatées, on peut utiliser :

$$h = h_0 \operatorname{erfcf} \sqrt{\frac{x^2 S}{4TT_0}} - h_0^{\frac{x+TT_0}{Sa^2}} \operatorname{erfcf} \left(\frac{1}{a} \sqrt{\frac{TT_0}{S}} + \sqrt{\frac{x^2 S}{4TT_0}} \right) \text{ avec } a = \frac{K \cdot b_c}{K_c}$$

(coefficient de colmatage qui peut être connu par un suivi piézométrique simultané de la rivière et de la nappe).

- **Modèle simplifié : Module Darcy flow d'ArcGIS**

Ce module du logiciel SIG ArcGIS permet d'obtenir des représentations en mode raster de l'écoulement souterrain d'une nappe. A partir de données d'entrée, le module calcule un vecteur vitesse par cellule (direction et magnitude de l'écoulement).

Ce type de modèle est fondé sur l'équation de Darcy. Il est dit simplifié et ne nécessite pas de calage. Il est toutefois indispensable de disposer de nombreuses données d'entrée : topographie, niveaux piézométriques, porosités, épaisseurs mouillées, transmissivité.

Annexe 6. Extrait du tableau des données

Annexe 6.1. Macrophytes sur le Rhône

Famille	Taxa	Nomenclature actuelle	statut écologique (topique)	Statut Ecologique (MAPPÉ)	Secteur ZABR RMC	am'ngements CNR	Sous-Secteur (one)	Station (L'one)	X	Y	Source	Habitat	Data Type	Date du relevé	abondance
Hydrocharitaceae	Elaeagnaceae	Nomenclature actuelle	M E HE		Secteur ZABR RMC		Sous-Secteur	Station (L'one)	X	Y	Source	Habitat	Data Type	Date du relevé	abondance
	Elaeagnaceae	Nomenclature actuelle	HE(E)		Amont de Lyon	Génissiat	l'one de l'tournel	l'one de l'tournel	876534	2132013	Henry et Anfrsurface	Habitat	rapport (non publi)	1997	0.714285714
	Lemna minor	Elaeagnaceae	HE(E)		Amont de Lyon	Génissiat	l'one de l'tournel	l'one de l'tournel	876534	2132013	Henry et Anfrsurface	Habitat	rapport (non publi)	1997	0.142857143
	Phalaris arundinacea	Phalaris arundinacea	HE (M-E)		Amont de Lyon	Génissiat	l'one de l'tournel	l'one de l'tournel	876534	2132013	Henry et Anfrsurface	Habitat	rapport (non publi)	1997	1.142857143
	Polygonum hydropiper	Polygonum hydropiper	O (M-E)		Amont de Lyon	Génissiat	l'one de l'tournel	l'one de l'tournel	876534	2132013	Henry et Anfrsurface	Habitat	rapport (non publi)	1997	0.285714286
	Sparganium angustifolium	Sparganium angustifolium	E ?		Amont de Lyon	Génissiat	l'one de l'tournel	l'one de l'tournel	865664	2118921	Henry et Anfrsurface	Habitat	rapport (non publi)	1997	0.102040816
	Sparganium angustifolium	Sparganium angustifolium	E ?	Non doc.	Amont de Lyon	Seyssel	L'rine de Puyrmon	L'rine de Puyrmon	865664	2118921	Henry et Anfrsurface	Habitat	rapport (non publi)	1997	0.204081633
	Phalaris arundinacea	Phalaris arundinacea	HE (M-E)		Amont de Lyon	Seyssel	L'rine de Puyrmon	L'rine de Puyrmon	865664	2118921	Henry et Anfrsurface	Habitat	rapport (non publi)	1997	1.224489796
	Polygonum hydropiper	Polygonum hydropiper	HE (M-E)		Amont de Lyon	Seyssel	L'rine de Puyrmon	L'rine de Puyrmon	865664	2118921	Henry et Anfrsurface	Habitat	rapport (non publi)	1997	0.102040816
	Alisma plantago-aquatica	Alisma plantago-aquatica	HE (M-E)	Non doc.	Amont de Lyon	Seyssel	Grande Anse des Balmes	Grande Anse des Balmes	865664	2118921	Henry et Anfrsurface	Habitat	rapport (non publi)	1997	0.054945055
	Polygonum hydropiper	Polygonum hydropiper	M (O-E)		Amont de Lyon	Seyssel	Grande Anse des Balmes	Grande Anse des Balmes	865664	2118921	Henry et Anfrsurface	Habitat	rapport (non publi)	1997	2.747252747
	Polygonum hydropiper	Polygonum hydropiper	M (O-E)		Amont de Lyon	Seyssel	Grande Anse des Balmes	Grande Anse des Balmes	865664	2118921	Henry et Anfrsurface	Habitat	rapport (non publi)	1997	0.109860111
	Scrophulariaceae	Veronica anagallis-aquatica	O (M-E)		Amont de Lyon	Seyssel	Grande Anse des Balmes	Grande Anse des Balmes	865664	2118921	Henry et Anfrsurface	Habitat	rapport (non publi)	1997	0.184833165
	Lythraceae	Veronica beccabunga	O (M-E)	Non doc.	Amont de Lyon	Seyssel	Grande Anse des Balmes	Grande Anse des Balmes	865664	2118921	Henry et Anfrsurface	Habitat	rapport (non publi)	1997	0.054945055
	Graminaceae	Lythrum salicaria	M (O-E)		Amont de Lyon	Seyssel	Petite Anse des Balmes (C)	Petite Anse des Balmes (C)	865664	2118921	Henry et Anfrsurface	Habitat	rapport (non publi)	1997	0.178571429
	Polygonum hydropiper	Polygonum hydropiper	HE (M-E)		Amont de Lyon	Seyssel	Petite Anse des Balmes (C)	Petite Anse des Balmes (C)	865664	2118921	Henry et Anfrsurface	Habitat	rapport (non publi)	1997	0.632857143
	Polygonum hydropiper	Polygonum hydropiper	O (M-E)		Amont de Lyon	Seyssel	Petite Anse des Balmes (C)	Petite Anse des Balmes (C)	865664	2118921	Henry et Anfrsurface	Habitat	rapport (non publi)	1997	0.178571429
	Zosteraceae	Zosterella palustris	M E HE		Amont de Lyon	Seyssel	Petite Anse des Balmes (C)	Petite Anse des Balmes (C)	865664	2118921	Henry et Anfrsurface	Habitat	rapport (non publi)	1997	3.095238095
	Hydrocharitaceae	Elaeagnaceae	M E HE		Amont de Lyon	Seyssel	l'one de L'vaud	l'one de L'vaud	865480	2115445	Henry et Anfrsurface	Habitat	rapport (non publi)	1997	0.079365079
	Juncaceae	Juncus subnodulosus	O		Amont de Lyon	Seyssel	l'one de L'vaud	l'one de L'vaud	865480	2115445	Henry et Anfrsurface	Habitat	rapport (non publi)	1997	0.079365079
	Haloragaceae	Myriophyllum spicatum	E (M)		Amont de Lyon	Seyssel	l'one de L'vaud	l'one de L'vaud	865480	2115445	Henry et Anfrsurface	Habitat	rapport (non publi)	1997	0.158730159
	Graminaceae	Phalaris arundinacea	HE (M-E)		Amont de Lyon	Seyssel	l'one de L'vaud	l'one de L'vaud	865480	2115445	Henry et Anfrsurface	Habitat	rapport (non publi)	1997	3.015873016
	Graminaceae	Phalaris arundinacea	HE (M-E)		Amont de Lyon	Seyssel	l'one de L'vaud	l'one de L'vaud	865480	2115445	Henry et Anfrsurface	Habitat	rapport (non publi)	1997	0.158730159
	Plantaginaceae	Veronica anagallis-aquatica	O (M-E)		Amont de Lyon	Seyssel	l'one de L'vaud	l'one de L'vaud	865480	2115445	Henry et Anfrsurface	Habitat	rapport (non publi)	1997	0.317465037
	Graminaceae	Phalaris arundinacea	I		Amont de Lyon	Seyssel	L'rine de Langefen	L'rine de Langefen	871403	2107495	Henry et Anfrsurface	Habitat	rapport (non publi)	1997	1.547619048

Extrait de la table des données écologiques correspondant à la végétation aquatique des milieux aquatiques de la plaine du Rhône.

Annexe 6.2. Physico-chimie sur le Rhône

Secteur ZABR RMC	Aménagements CNR	Sous-Secteur (lône)	Station (lône)	Commune	Dpt	X	Y	N	Coord Ref	Source	Habitat	Data Type	année	date	code N.G.F.	température	conductivité (mus cm-1)	O2 (mg.L-1)	PH	PO4 (mg.L-1)	N-NO3 (mg.L-1)	N-NO2 (mg.L-1)	SO4 (mg.L-1)	N-NH4 (mg.L-1)	SiO2(mg.L-1)	Alcalinité (mg HCO3-1-1)
	Baix-Logis-Neuf	lône de Géronton	Rhône (pk138.5)	Baix		7	4,76757	44,7112 77,16 m		CNR 1995	non publié (rapport)	1994	17-jan	78,81	5,3	378	12,7	8,15	0,45	10,2	0,076	32	0,39	6,9	6,6	
	Baix-Logis-Neuf	lône de Géronton	Rhône (pk138.5)	Baix		7	4,76757	44,7112 77,16 m		CNR 1995	non publié (rapport)	1994	9-fév	79,51	9,2	369	11,3	8,12	0,38	8,4	0,069	32	0,38	5,2		
	Baix-Logis-Neuf	lône de Géronton	Rhône (pk138.5)	Baix		7	4,76757	44,7112 77,16 m		CNR 1995	non publié (rapport)	1994	8-mars	78,97	7,6	384	12,1	8,2	0,29	7,1	0,059	36	0,22	4,9		
	Baix-Logis-Neuf	lône de Géronton	Rhône (pk138.5)	Baix		7	4,76757	44,7112 77,16 m		CNR 1995	non publié (rapport)	1994	13-avr	77,52	11,4	380	9,9	8,19	0,2	6,2	0,076	33	0,31	4		
	Baix-Logis-Neuf	lône de Géronton	Rhône (pk138.5)	Baix		7	4,76757	44,7112 77,16 m		CNR 1995	non publié (rapport)	1994	11-mai	77,6	14,6	355	9,3	8,12	0,27	6,2	0,092	43	0,23	5,7		
	Baix-Logis-Neuf	lône de Géronton	Rhône (pk138.5)	Baix		7	4,76757	44,7112 77,16 m		ARALEPBP 1994	non publié (rapport)	1994	3-mars	79,03	9,7		11,8	7,95	0,5	9,7	0,09	30				
	Baix-Logis-Neuf	lône de Géronton	Rhône (pk138.5)	Baix		7	4,76757	44,7112 77,16 m		ARALEPBP 1994	non publié (rapport)	1994	14-avr	78,89	9,4		11,9	8,22	0,25	7,5	0,076	34				
	Baix-Logis-Neuf	lône de Géronton	Rhône (pk138.5)	Baix		7	4,76757	44,7112 77,16 m		ARALEPBP 1994	non publié (rapport)	1994	1-juin	77,33	15,7	413	9,7	7,94	0,34	6,2	0,069	33	0,36			
	Baix-Logis-Neuf	lône de Géronton	Rhône (pk138.5)	Baix		7	4,76757	44,7112 77,16 m		ARALEPBP 1994	non publié (rapport)	1994	6-juil	77,59	21,3	373	8,7	7,74	0,34	5,8	0,109	49	0,21			
	Baix-Logis-Neuf	lône de Géronton	Rhône (pk138.5)	Baix		7	4,76757	44,7112 77,16 m		ARALEPBP 1994	non publié (rapport)	1994	4-août	77,62	22,5	373	7,69	0,42	7,1	0,092	55	0,17				
	Baix-Logis-Neuf	lône de Géronton	Rhône (pk138.5)	Baix		7	4,76757	44,7112 77,16 m		ARALEPBP 1994	non publié (rapport)	1994	17-août	77,45	22,3	398	7,8	7,79	0,28	5,3	0,076	55	0,11			
	Baix-Logis-Neuf	lône de Géronton	Rhône (pk138.5)	Baix		7	4,76757	44,7112 77,16 m		ARALEPBP 1994	non publié (rapport)	1994	31-août	77,39	21,2	399	7,3	7,82	0,34	5,8	0,092	52	0,13			
	Baix-Logis-Neuf	lône de Géronton	Rhône (pk138.5)	Baix		7	4,76757	44,7112 77,16 m		ARALEPBP 1994	non publié (rapport)	1994	13-sep	79,68	18,7	379	9	8,18	0,53	8	0,135	43	0,24			
	Baix-Logis-Neuf	lône de Géronton	Rhône (pk138.5)	Baix		7	4,76757	44,7112 77,16 m		ARALEPBP 1994	non publié (rapport)	1994	5-oct	77,48	13,1	391	8,3	8,11	0,38	5,8	0,122	44	0,21	6,2		
	Baix-Logis-Neuf	lône de Géronton	Rhône (pk138.5)	Baix		7	4,76757	44,7112 77,16 m		ARALEPBP 1994	non publié (rapport)	1994	8-nov	78,76	12,6	351	9,8	8,04	0,44	9,7	0,092	33	0,15	8,8		
	Baix-Logis-Neuf	lône de Géronton	Rhône (pk138.5)	Baix		7	4,76757	44,7112 77,16 m		ARALEPBP 1994	non publié (rapport)	1994	7-déc	77,49	10,1	440	8,4	7,81	0,63	8	0,122	47	0,38	6,6		
	Baix-Logis-Neuf	lône de Géronton	piézo A	Baix		7	4,76815	44,7045 83,74m		CNR 1995	non publié (rapport)	1995	17-jan	78,69	13,2	789	4,3	7,23	0,14	4	0,01	11,6	0,52	14,5		
	Baix-Logis-Neuf	lône de Géronton	piézo A	Baix		7	4,76815	44,7045 83,74m		CNR 1995	non publié (rapport)	1995	9-fév	80,14	13,3	826	3,5	7,22	0,19	6,6	0,01	13,8	0,44	12,1		
	Baix-Logis-Neuf	lône de Géronton	piézo A	Baix		7	4,76815	44,7045 83,74m		CNR 1995	non publié (rapport)	1995	8-mars	79,99	12,9	802	3,8	7,32	0,16	8	0,01	13,0	0,45	13,6		
	Baix-Logis-Neuf	lône de Géronton	piézo A	Baix		7	4,76815	44,7045 83,74m		CNR 1995	non publié (rapport)	1995	13-avr	78,06	13,1	855	2	7,22	0,13	4,2	0,007	14,2	0,56	14,6		
	Baix-Logis-Neuf	lône de Géronton	piézo A	Baix		7	4,76815	44,7045 83,74m		CNR 1995	non publié (rapport)	1995	11-mai	78,36	13,3	832	1,5	7,23	0,18	3,5	0,01	13,0	0,45	19,2		
	Baix-Logis-Neuf	lône de Géronton	piézo A	Baix		7	4,76815	44,7045 83,74m		ARALEPBP 1994	non publié (rapport)	1994	3-mars	78,48	12,9		1,8	7,06	0,13	6,6	0,04	15,8				
	Baix-Logis-Neuf	lône de Géronton	piézo A	Baix		7	4,76815	44,7045 83,74m		ARALEPBP 1994	non publié (rapport)	1994	4-mai	77,98	12,8		2,1	7,18	0,05	3,5	0,036	13,0				
	Baix-Logis-Neuf	lône de Géronton	piézo A	Baix		7	4,76815	44,7045 83,74m		ARALEPBP 1994	non publié (rapport)	1994	1-juin	78,25	12,9	855	1,9	7,22	0,11	2,2	0,036	10,8	0,34			
	Baix-Logis-Neuf	lône de Géronton	piézo A	Baix		7	4,76815	44,7045 83,74m		ARALEPBP 1994	non publié (rapport)	1994	6-juil	77,56	12,8	844	2,8	7,18	0,19	2,7	0,026	10,6	0,18			
	Baix-Logis-Neuf	lône de Géronton	piézo A	Baix		7	4,76815	44,7045 83,74m		ARALEPBP 1994	non publié (rapport)	1994	4-août	77,32	13,5	793	7,24	0,25	4	0,046	10,4	0,52				
	Baix-Logis-Neuf	lône de Géronton	piézo A	Baix		7	4,76815	44,7045 83,74m		ARALEPBP 1994	non publié (rapport)	1994	17-août	77,3	13,6	802	2,9	7,13	0,21	3,5	0,007	11,2	0,29			
	Baix-Logis-Neuf	lône de Géronton	piézo A	Baix		7	4,76815	44,7045 83,74m		ARALEPBP 1994	non publié (rapport)	1994	31-août	77,23	14,7	807	2,4	7,25	0,35	4	0,01	11,2	0,22			
	Baix-Logis-Neuf	lône de Géronton	piézo A	Baix		7	4,76815	44,7045 83,74m		ARALEPBP 1994	non publié (rapport)	1994	13-sep	77,84	14,2	824	1,9	7,3	0,17	3,5	0,01	11,2	0,22			
	Baix-Logis-Neuf	lône de Géronton	piézo A	Baix		7	4,76815	44,7045 83,74m		ARALEPBP 1994	non publié (rapport)	1994	5-oct	77,84	13,6	708	2,3	7,34	0,15	3,1	0,01	11,4	0,25	10,2		
	Baix-Logis-Neuf	lône de Géronton	piézo A	Baix		7	4,76815	44,7045 83,74m		ARALEPBP 1994	non publié (rapport)	1994	8-nov	78,93	13,9	782	3,1	7,26	0,13	3,5	0,01	12,4	0,22	12		
	Baix-Logis-Neuf	lône de Géronton	piézo A	Baix		7	4,76815	44,7045 83,74m		ARALEPBP 1994	non publié (rapport)	1994	7-déc	77,93	13,1	757	2	7,17	0,27	2,2	0,01	14,0	0,46	14,3		
	Baix-Logis-Neuf	lône de Géronton	lône point 3	Baix		7	4,76909	44,7017		CNR 1995	non publié (rapport)	1995	17-jan		2,6	473	11,3	8,04	0,33	7,1	0,063	62	0,34	6,6		
	Baix-Logis-Neuf	lône de Géronton	lône point 3	Baix		7	4,76909	44,7017		CNR 1995	non publié (rapport)	1995	9-fév		9,5	562	7,6	7,79	0,28	4,9	0,063	66	0,32	8,3		
	Baix-Logis-Neuf	lône de Géronton	lône point 3	Baix		7	4,76909	44,7017		CNR 1995	non publié (rapport)	1995	8-mars		7,7	633	9,1	7,73	0,21	4,3	0,056	80	0,35	8,6		
	Baix-Logis-Neuf	lône de Géronton	lône point 3	Baix		7	4,76909	44,7017		CNR 1995	non publié (rapport)	1995	13-avr		12,8	619	19,2	8,1	0,02	1,3	0,007	1,0	0,39	2,7		
	Baix-Logis-Neuf	lône de Géronton	lône point 3	Baix		7	4,76909	44,7017		CNR 1995	non publié (rapport)	1995	11-mai		16,5	640	11,7	7,74	0,12	1,3	0,007	9,0	0,52	10,6		
	Baix-Logis-Neuf	lône de Géronton	lône point 3	Baix		7	4,76909	44,7017		ARALEPBP 1994	non publié (rapport)	1994	3-mars		11,6	14,7	7,6	0,13	3,1	0,046	12,4					
	Baix-Logis-Neuf	lône de Géronton	lône point 3	Baix		7	4,76909	44,7017		ARALEPBP 1994	non publié (rapport)	1994	14-avr		10,8	13	8,08	0,07	2,7	0,046	10,0					

Extrait du tableau rassemblant les données physico-chimiques collectées sur les milieux aquatiques du Rhône, sur le Rhône et sur les nappes dans le voisinage immédiat du milieu aquatique considéré (ici, la lône de Géronton dans le secteur de Baix-Logis Neuf).

Annexe 7. Intégration dans le géorépertoire ZABR

Une partie des références identifiées était déjà contenue dans ce géorépertoire. Le mode consultation grâce au champ « donnée » permet de les retrouver.

7.1. Rappels sur le géorépertoire ZABR

Le géorépertoire ZABR présenté ici⁴ constitue un portail ouvert sur les connaissances acquises sur l'état écologique du bassin versant du Rhône, dans les domaines géomorphologique, hydrologique, biologique, sociologique et économique. La ZABR contribue à l'observation de l'environnement par une compilation et une structuration des données disponibles. Elle propose à l'ensemble des acteurs de l'eau, via le géorépertoire, une interface vers les informations existantes et, le cas échéant, d'avoir accès à ces données. La base de métadonnées vise à recenser, structurer, repérer sur des cartes et décrire en quelques mots-clés les lots de données produites par les organismes de recherche et de gestion de l'hydrosystème Rhône. Les métadonnées sont des données relatives à d'autres données ou de l'information sur l'information. Ce sont des informations de fond qui décrivent le contenu, la qualité, les conditions et autres caractéristiques des données. Elles permettent la compilation et le repérage de l'information. Elles offrent des éléments de description de l'information pour en faciliter l'accès. Les métadonnées ont pour objectif de fournir de l'information sur les données intégrées dans un système d'information pour mieux apprécier leur qualité et leur validité et en faire une utilisation pertinente. Elles portent généralement sur l'historique des données, de leur mesure à leur saisie informatique, la précision de la localisation, la précision des valeurs attributaires, la cohérence logique avec d'autres ensembles de données, l'exhaustivité qui porte sur les problèmes de discontinuité des données dans le temps et l'espace.

Il s'agit de lots de données attribuables à une emprise spatiale définie et non pas de références bibliographiques. Le géorépertoire n'ayant pas vocation à constituer une base de données documentaires, les références bibliographiques sur le sujet ne seront pas intégrées dans le géorépertoire.

7.2. Glossaire et champs du géorépertoire

Le géorépertoire ZABR est donc un outil positionnant sur des cartes les données, références ressources de l'inventaire que nous avons réalisé. L'utilisation de cet outil est rendue plus facile grâce à un glossaire⁵ accessible en ligne. La figure suivante présente l'organisation de la base de données du géorépertoire découpée selon ses trois grandes thématiques.

⁴ Le géorépertoire ZABR est accessible à l'adresse Internet suivante : <http://metazabr.lyon.cemagref.fr/>

⁵ Le glossaire complet du géorépertoire ZABR accessible à l'adresse suivante : <http://metazabr.lyon.cemagref.fr/glossaire.rtf>

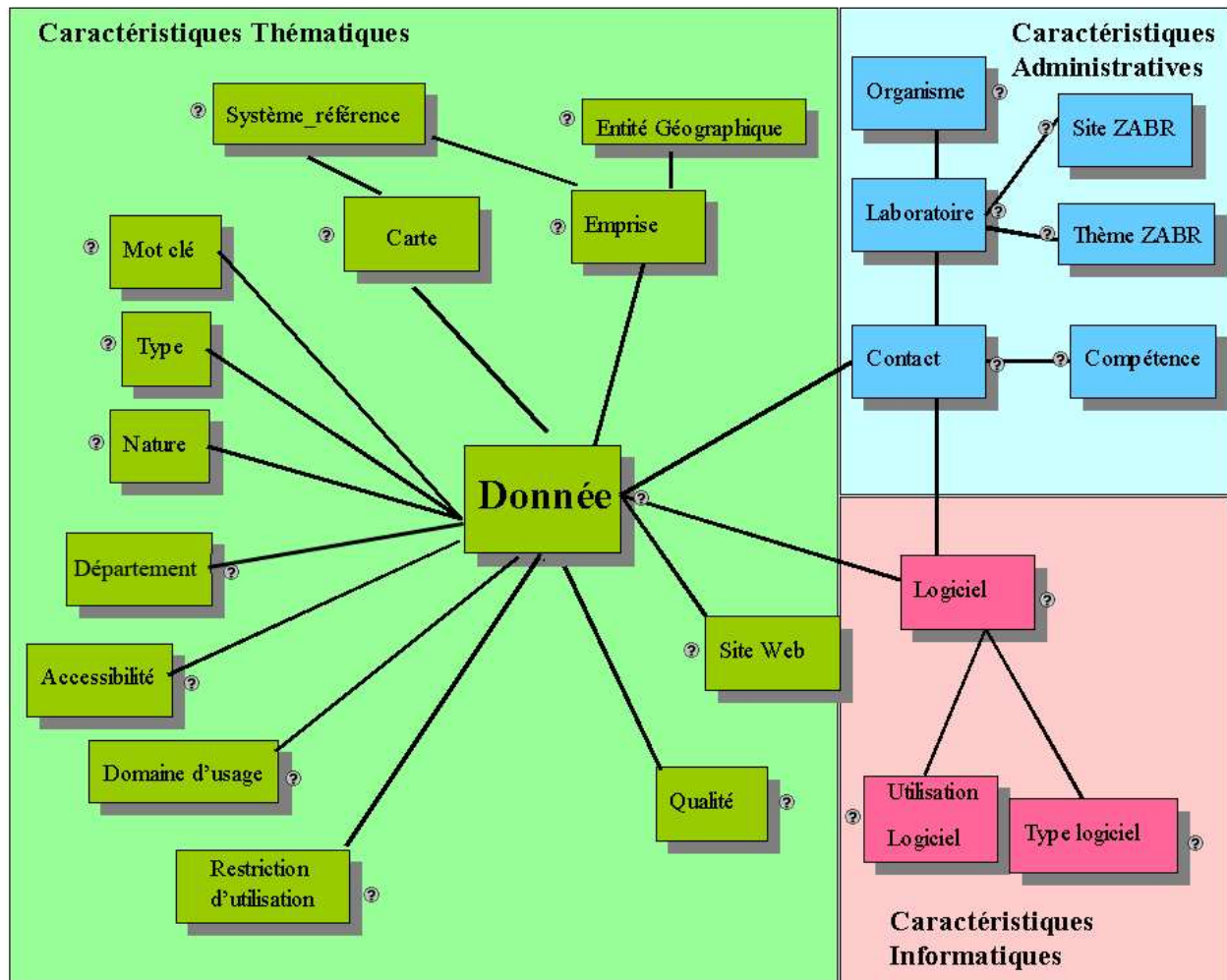


Figure 1. Organigramme des relations entre les champs thématiques du géorépertoire ZABR

Les champs associés à ces caractéristiques plus détaillés que dans la « base de données » précédemment décrite sont présentés ci-dessous :

Caractéristiques thématiques

Emprise : Espace couvert par la donnée.

Entité géographique : Le type d'entité géographique que l'emprise recouvre (Aucune, Bassin versant, Circonscription administrative de bassin, Département, Fleuve, Nappe, Ouvrage, Pays, Plan d'eau, Région, Réseau souterrain, Ville) ;

Système de référence : Système de référence d'une donnée de type carte (Aucun, GESICA, Lambert II, Lambert II étendu, Longitude/Latitude, Non géoréférencé) ;

Coordonnées :

Carte : Carte affichable de la recherche géographique

Mot-clef : Un ou plusieurs mots représentatifs de la donnée

Catégories : Catégories des mots clefs (Activités, Aménagement, Géographie, Hydraulique fluvial, Hydrosystème, Métrologie, Mots outils, Politique de l'eau, Pollution qualité, Rubrique espèce, Rubrique milieu) ;

Type : Genre, catégorie de la donnée, type de matériel, distingue : chronique, campagne, modèle, photographie (aérienne), carte, image (satellite), capteur/station de mesure, vidéo/photo/audio, document, rapport d'enquête, vidéo, photo, audio....

Campagne : Ensemble de travaux effectués par tranches dans une aire géographique ou sur un site, selon un plan technique et financier bien établi. Une campagne de mesure a un caractère ponctuel et est généralement réalisée sur un site temporaire de mesure.

Chronique : Ensemble des valeurs qu'une variable (généralement des mesures) prend à différentes époques successives. Une chronique regroupe donc un ensemble de mesures consécutives réalisées sur une période donnée.

Document : Il s'agit d'un objet constitué d'information portée par un support. L'information y est délimitée et structurée, de façon tangible ou logique selon le support qui la porte, et elle est intelligible sous forme de mots, de sons ou d'images. Dans le cadre de ce géorépertoire le type 'document' est associé à des collections de gravures, de peintures, des notes manuscrites. Ce type est principalement employé pour référencer certaines données de la Maison du Rhône.

Modèle : Structure formalisée utilisée pour rendre compte d'un ensemble de phénomènes qui possèdent entre eux certaines relations. Le modèle permet de reproduire le comportement d'un système (par exemple d'un cours d'eau, d'un réseau d'assainissement...). Il faut distinguer le modèle du logiciel de modélisation. Le logiciel de modélisation contient les algorithmes permettant de simuler le comportement du système (dans le formalisme employé, ce logiciel constitue le support logiciel). Le modèle contient lui des éléments descriptifs du système étudié. Par exemple, on peut construire un modèle d'un réseau d'assainissement avec le logiciel CANOE.

Nature : Ensemble des caractères, propriétés qui définissent la donnée. Ce sur quoi porte la donnée [Biologique (animal), Biologique (végétal), Ecologique, Economique, Géographique, Historique, Hydraulique, Hydrogéologique, Hydrologique, Météorologique, Physico-chimique, Sociologique] ;

Départements : Départements dans lesquels sont situées les données

Id_departement : numéro du département

Nom_departement : nom du département

Accessibilité : Limitation due aux propriétés intellectuelles [Libre d'accès, Mise à disposition des données au cas par cas (charte), Non accessible, Non public, accès réservé] ;

Domaine d'usage : Fonction, destination ou emploi de la donnée (ACC Biodiversité, Aménagement, impacts des éclusées et des vidanges EDF, Approche multi-échelles des relations habitats-poissons, Auto surveillance, DEA, Etude pollution accumulée par bassin d'infiltration, Gestion des crues et des étiages, Modèle, Modèle QdF, Parc naturel régional de Camargue, Perturbations hydrauliques des habitats, PNRZH, Prévision de la production, Projet européen Pascalis, Rapport étude, Recherche, Relations barrage/fleuve, Suivi long terme / suivi d'impacts centrales électriques, Thèse) ;

Restriction : Contraintes techniques d'accès (Consultation et extraction possible sur le site Web, Consultation sur place possible, Consultation sur place uniquement, Non utilisable directement, stockage non structuré, nécessite un travail préalable, Pas de restriction d'utilisation particulière, Possibilité d'obtenir une copie de la partie décryptée ou à décrypter à la demande, Utilisation en collaboration avec le responsable de la base) ;

Qualité (disponibilité) : Définit des périodes de validation et complétude de la donnée [T (vrai), F (faux)] ;

Site web : Caractérise les media de diffusion de la donnée

Données : Signalétique de la donnée disponible (*Titre, Début validité, Date_saisie, Fin validite, Date_derniere_modif, Origine, Localisation, Description, Nature, Type, Périodicité de mise à jour, Debut_mise_en_place, Date_arret, Précision, Unité, Carte_resolution, Carte_echelle Carte_interpolation*).

Caractéristiques administratives

Organisme : Caractérise l'organisme gestionnaire de la donnée (*Organisme, Adresse, Tutelle, Site_web*) ;

Laboratoire : Unité fonctionnelle au sein d'un organisme [*Organisme* : Caractérise l'organisme gestionnaire de la donnée, *Adresse, Tutelle, Site_web, Site* (Axe Rhône Saône, Bassin versant sud, Drome, OTHU, Y lyonnais, Zones humides), *Laboratoire*) ;

Contact : Personne référente pour cette donnée [*Laboratoire, Patronyme, Fonction, Statut, Téléphone, E-mail, Adresse, Type_relations* (Correspondant, Destinataire, Fournisseur, Propriétaire)] ;

Site : Intitulé du site ZABR sur lequel travaille le laboratoire ;

Thème : Intitulé du thème ZABR sur lequel travaille le laboratoire (Eau et santé ; Evaluation, prospection et aide à la décision publique ; Flux, forme, habitat, biocénose ; Généalogie des politiques de gestion du fleuve ; Impacts des changements climatiques ; Pollution, origine, flux, transfert, impact ; Ressources en eau et demandes futures ; Transférabilité des modèles ; Veille sociale Rhodanienne) ;

Champ de compétence : Domaine dans lequel est compétente la personne (Climatologie, Droit et administration de l'environnement, Ecologie générale, Ecologie souterraine, Géomatique, Géomorphologie, Hydrobiologie, Hydroécologie, Hydrologie, Hydrologie urbaine, Sciences humaines).

Caractéristiques informatiques

Logiciel : Logiciel permettant de valider, stocker ou exploiter la donnée [*Nom, Version, Concepteur, Format, Conversion, Utilisation_logiciel* (La tâche effectuée par le logiciel), *Type_logiciel* (Exploitation, validation ou stockage)] ;

Utilisation de logiciel : La tâche effectuée par le logiciel (Aucune, Stockage, Traitement, Validation) ;

Type de logiciel : Exploitation, validation ou stockage (Aucun, Base de données, Modèle, Tableur, Validation de données).

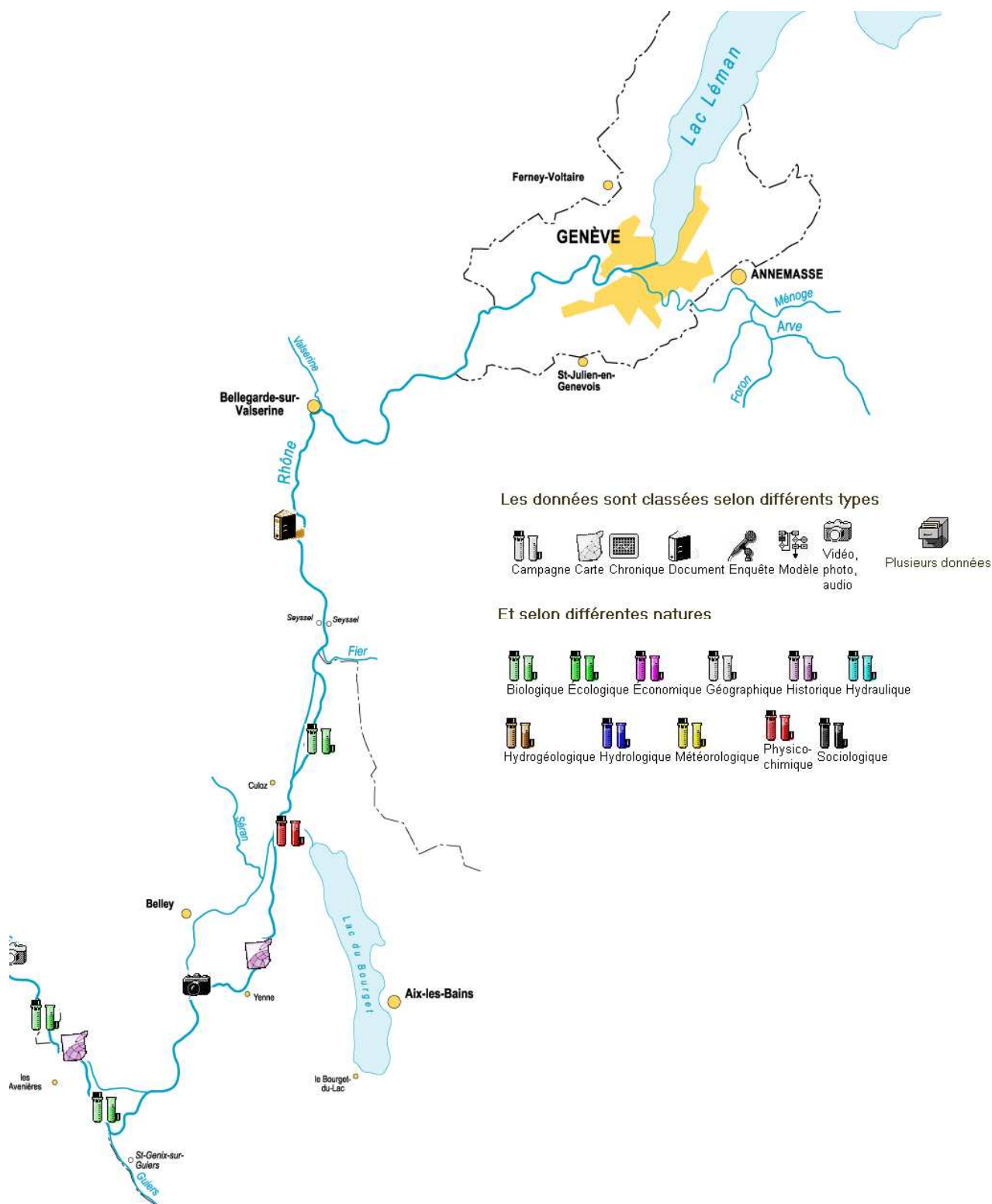
7.3. Ressources du géorépertoire et inventaire actuel

Les connaissances actuelles inventoriées, tant sur le plan hydraulique que biologique, sont intégrables dans le géorépertoire ZABR. Avant cela, il est nécessaire que chaque partenaire valide la façon dont les connaissances qu'il a transmises ont été saisies dans la base de données. Ensuite, chacune des connaissances sera entrée dans le géorépertoire et localisée sur une carte à l'aide d'un pictogramme approprié. Ceci nous permettra de cerner les zones les mieux couvertes. Un premier examen de la répartition montre que la densité d'information disponible est plus forte dans la région lyonnaise (Miribel-Jonage, Est-Lyonnais,...), la région d'Avignon, le secteur Jons/Brégnier-Cordon, le secteur de l'Île de La Platière. Au contraire, elle semble plus faible dans la région de la Plaine de Valence.

Il pourrait être pertinent de réfléchir à une extension du géorépertoire en améliorant le tri croisé des données, avec Access par exemple, pour mieux les identifier, et en réfléchissant à une indexation par emprise spatiale, par secteur ou par commune.

Annexe 8. Cartes du géorépertoire de la localisation des données selon leur nature

Annexe 8.1. De Genève à Brégny-Cordon

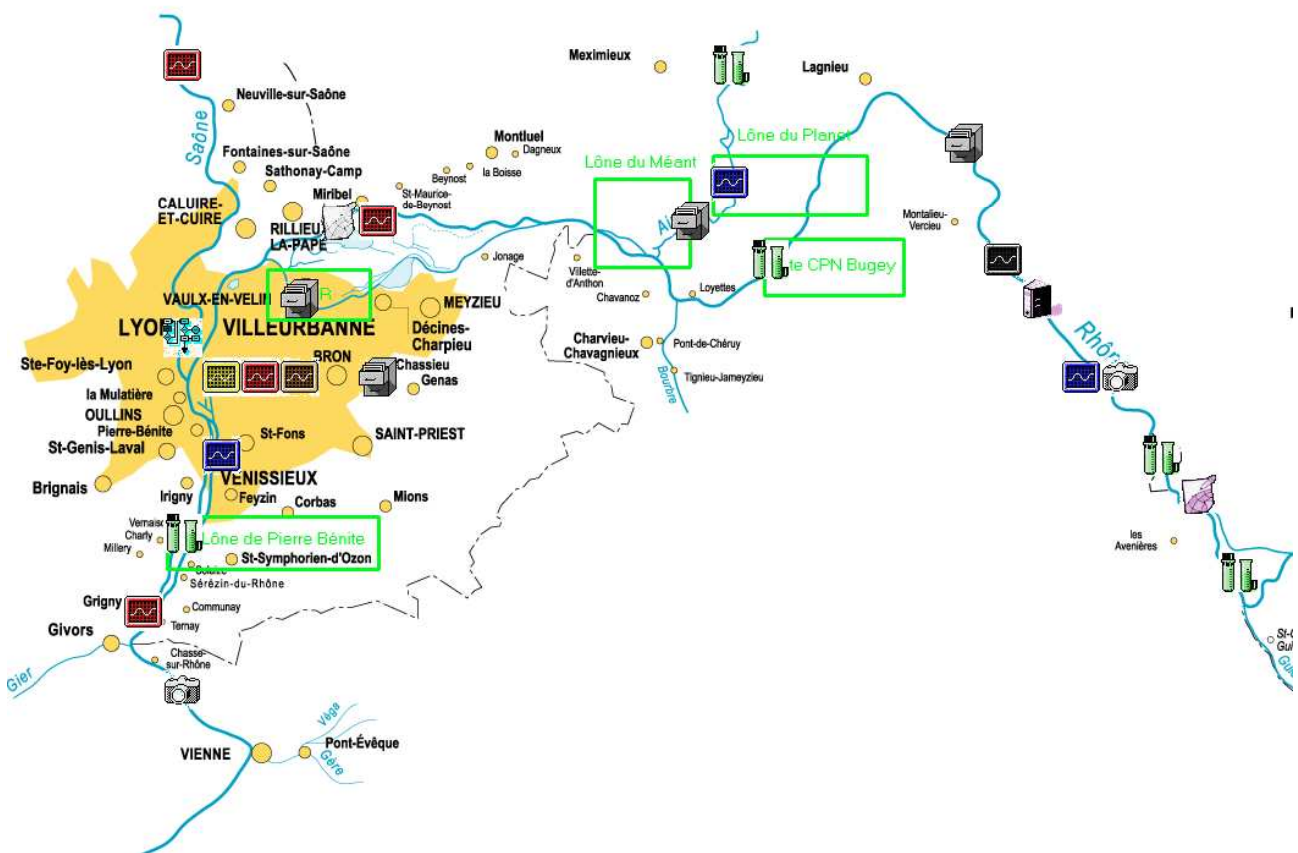
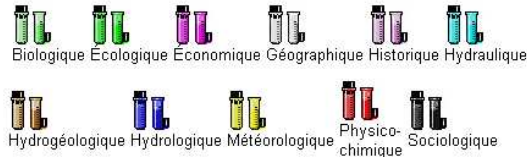


Annexe 8.2. De Brégnier-Cordon à Vienne

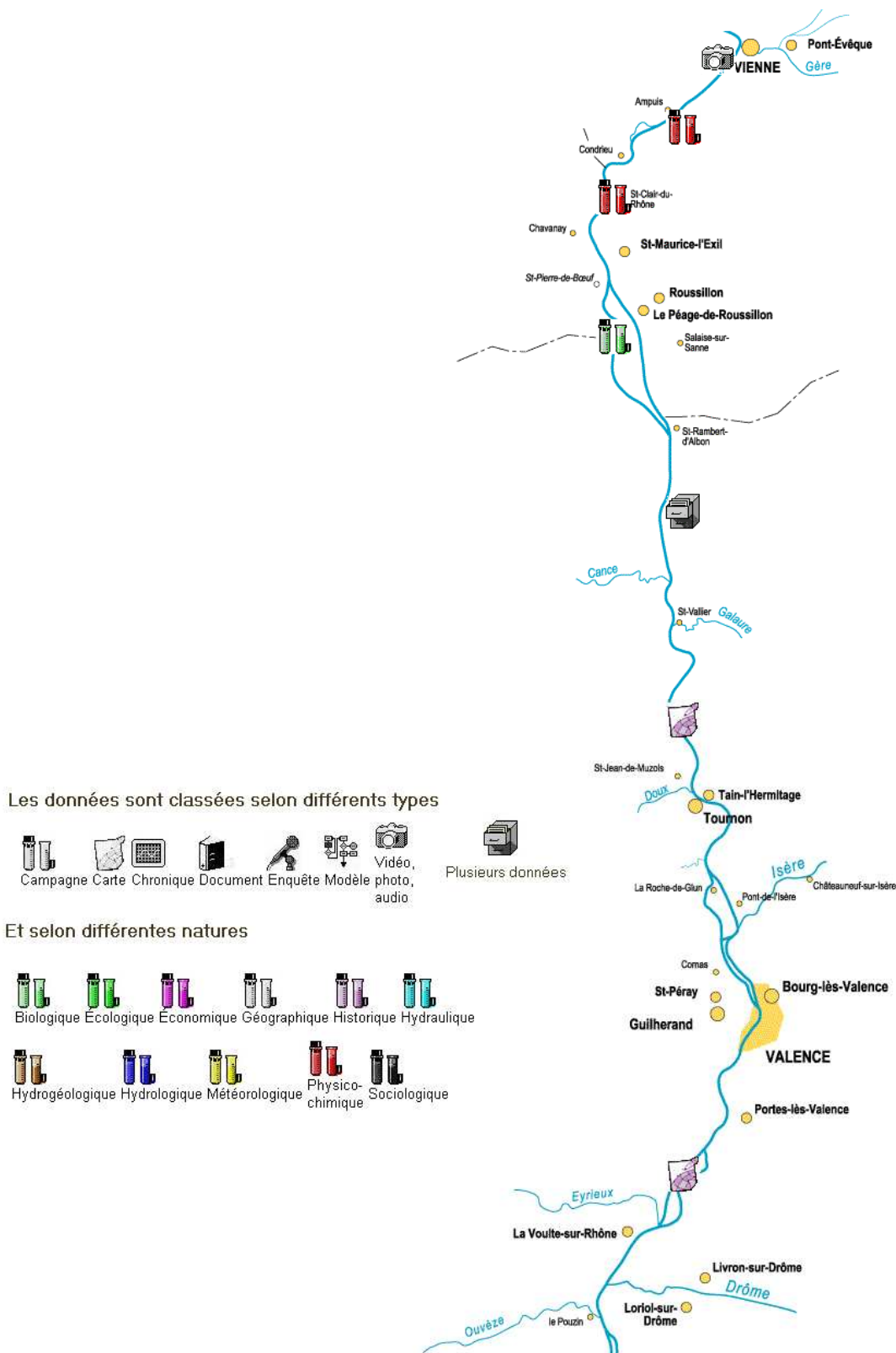
Les données sont classées selon différents types



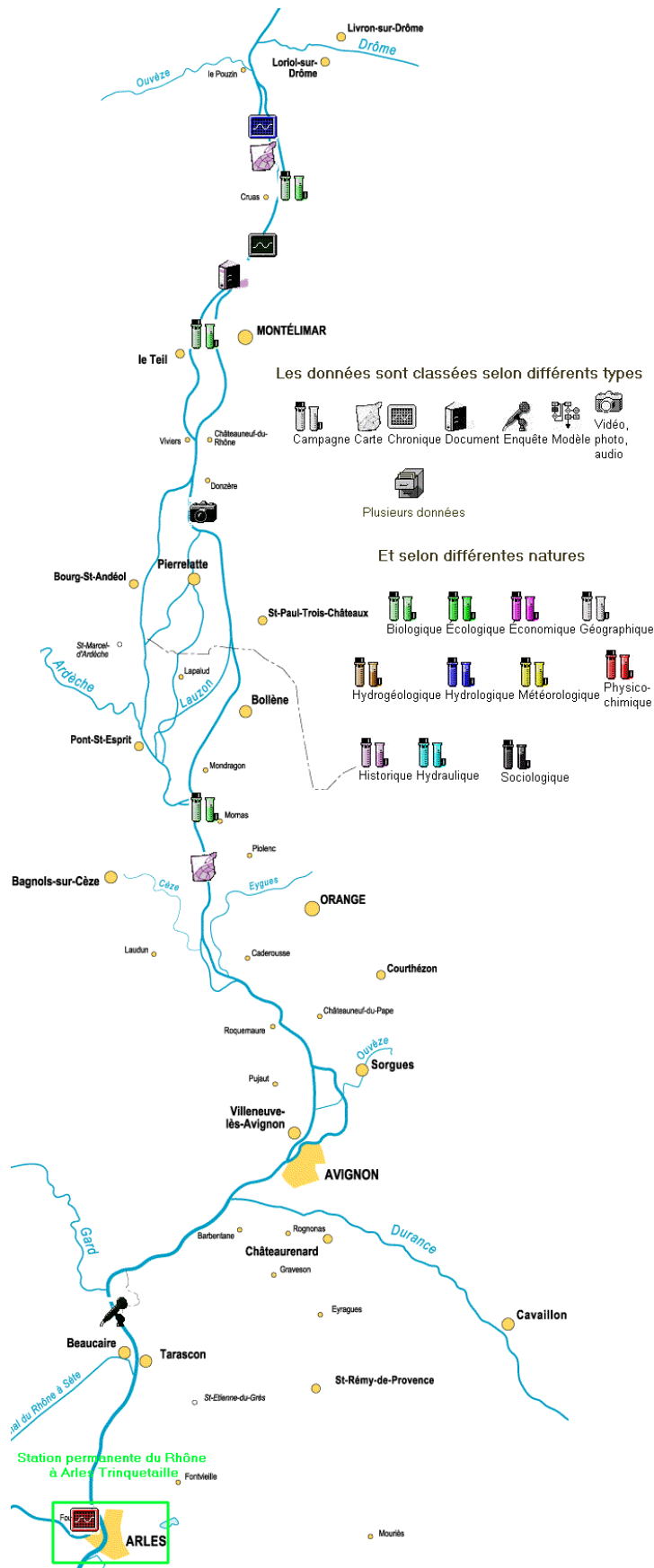
Et selon différentes natures



Annexe 8.3. De Vienne à Loriol-sur-drôme



Annexe 8.4. De Loriol-sur-Drôme à Arles

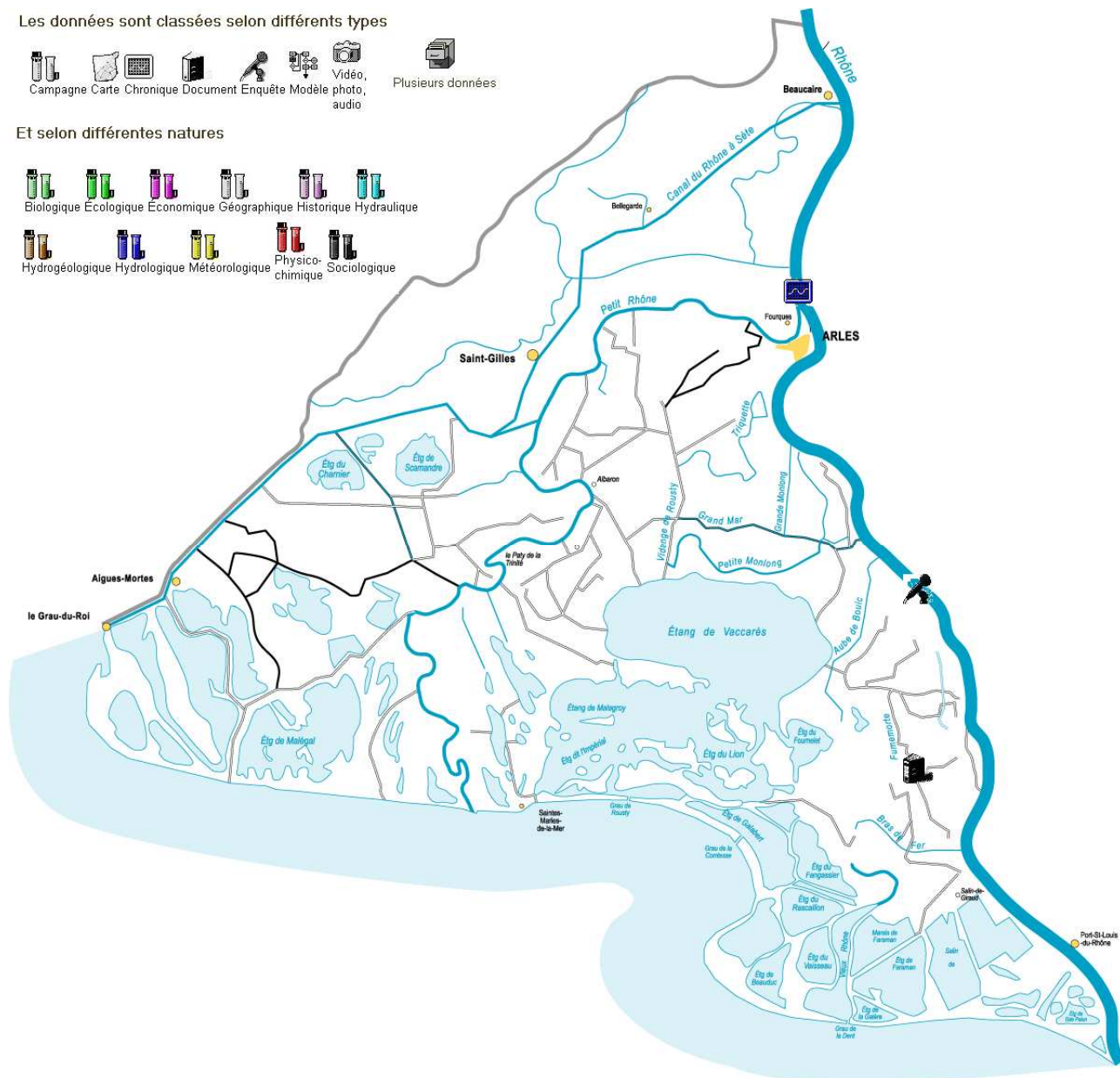


Annexe 8.5. D'Arles à la Méditerranée

Les données sont classées selon différents types



Et selon différentes natures



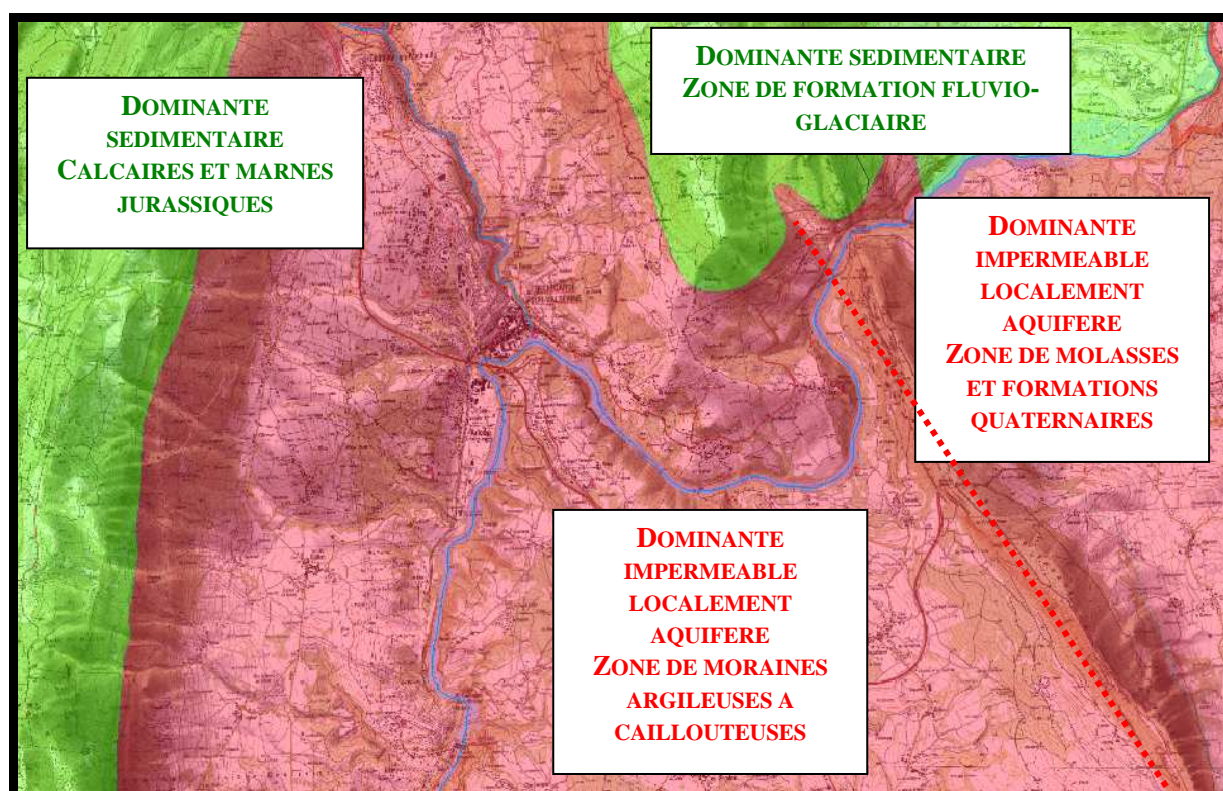
Annexe 9. Configurations hydrogéologiques sur le Haut-Rhône français

9.1. Sur le secteur de la frontière Suisse au barrage de Seyssel

9.1.1. Formations géologiques

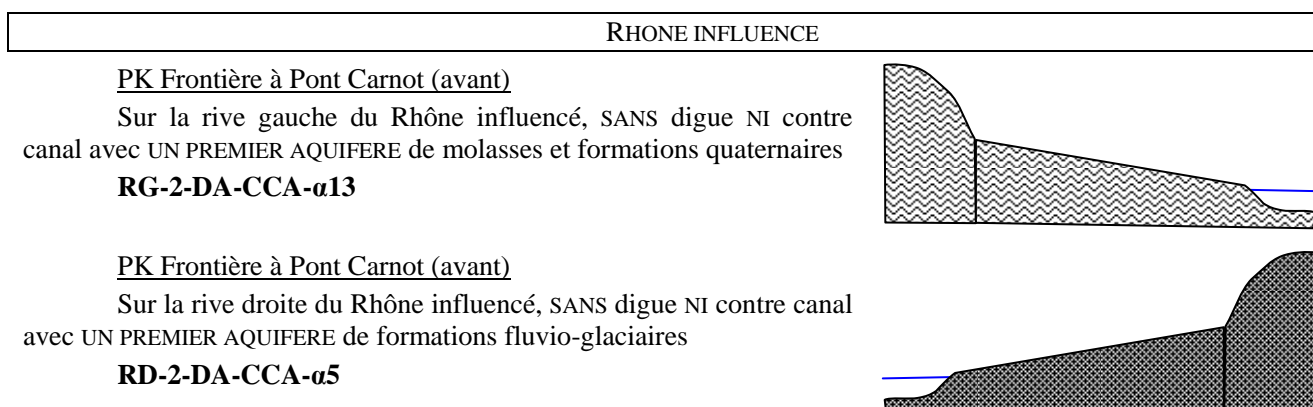
On retrouve quatre formations géologiques différentes sur le secteur :

- une zone de formation fluvio-glaciaire, située au nord du Rhône,
- une zone de moraines argileuses à caillouteuses, située de part et d'autres du Rhône,
- une zone de molasses et formations quaternaires commençant en Suisse et se situent au sud de Rhône
- une zone de calcaires et marnes jurassiques, située à l'ouest, au niveau de la rive droite du Rhône.



9.1.2. Schématisation le long du Rhône

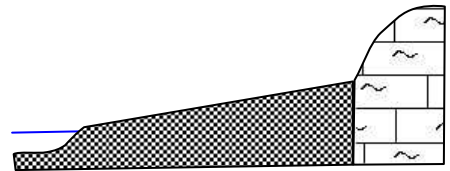
Le secteur de du Rhône amont, s'étend de la frontière suisse jusqu'au barrage de Seyssel qui influence fortement le Rhône



PK Pont Carnot (avant) à Pont Carnot (après)

Sur la rive droite du Rhône influencé, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de moraines argileuses à caillouteuses long et UN SECOND AQUIFERE de calcaires et marnes jurassiques

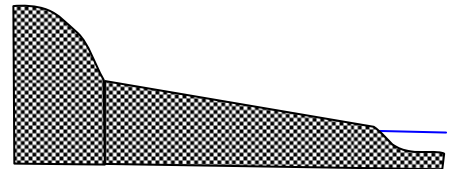
RD-2-DA-CCA- α 14a- β 10



PK Pont Carnot (avant) à A40 (autoroute)

Sur la rive gauche du Rhône influencé, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de moraines argileuses à caillouteuses

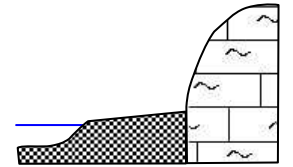
RG-2-DA-CCA- α 14



PK Pont Carnot (après) à Fort Ecluse

Sur la rive droite du Rhône influencé, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de moraines argileuses à caillouteuses court qui se rétrécit et UN SECOND AQUIFERE de calcaires et marnes jurassiques

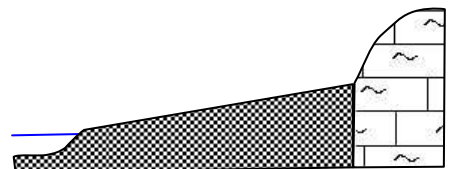
RD-2-DA-CCA- α 14b- β 10



PK Fort Ecluse à Les Munats

Sur la rive droite du Rhône influencé, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de moraines argileuses à caillouteuses long et UN SECOND AQUIFERE de calcaires et marnes jurassiques

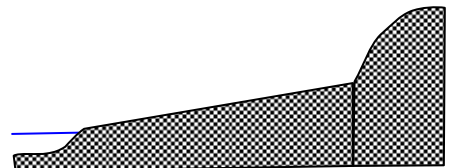
RD-2-DA-CCA- α 14a- β 10



PK les Munats à A40 (autoroute)

Sur la rive droite du Rhône influencé, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de moraines argileuses à caillouteuses

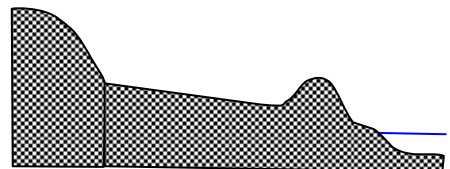
RD-2-DA-CCA- α 14



PK A40 (autoroute) à Essertoux

Sur la rive gauche du Rhône influencé, AVEC une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de moraines argileuses à caillouteuses

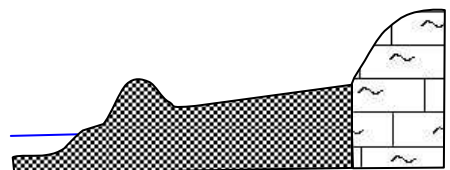
RG-2-DP-CCA- α 14



PK A40 (autoroute) à Essertoux

Sur la rive droite du Rhône influencé, AVEC une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de moraines argileuses à caillouteuses long et UN SECOND AQUIFERE de calcaires et marnes jurassiques

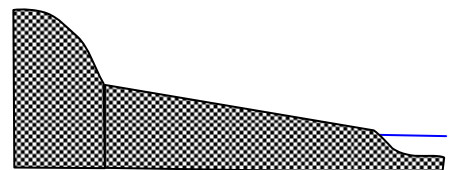
RD-2-DP-CCA- α 14a- β 10



PK Essertoux à La Crétaz

Sur la rive gauche du Rhône influencé, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de moraines argileuses à caillouteuses

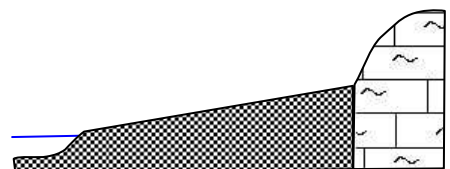
RG-2-DA-CCA- α 14



PK Essertoux au Barrage de Seyssel

Sur la rive droite du Rhône influencé, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de moraines argileuses à caillouteuses long et UN SECOND AQUIFERE de calcaires et marnes jurassiques

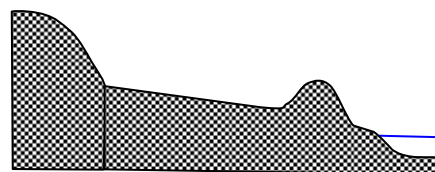
RD-2-DA-CCA- α 14a- β 10



PK La Crétaz à Beaumont

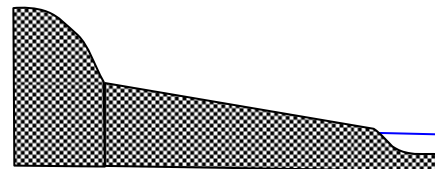
Sur la rive gauche du Rhône influencé, AVEC une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de moraines argileuses à caillouteuses

RG-2-DP-CCA-a14

PK Beaumont au Barrage de Seyssel

Sur la rive gauche du Rhône influencé, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de moraines argileuses à caillouteuses

RG-2-DA-CCA-a14

**Références :**

- Carte IGN 1/25000
N° 3330 OT : « Bellegarde-sur-Valserine, Grand Crêt d'Eau », Editions 2 – 2004
- Carte IGN 1/25000
N° 3331 OT : « Rumilly, Seyssel, Le Grand Colombier », Editions 2 – 2004
- Carte géologique du BRGM 1/50000
N° 653 : « Saint Julien en Genevoix », 1997
- Carte géologique du BRGM 1/50000,
N° XXXIII-30 « Seyssel », 1972

9.1.3. Distinction des différentes structures géologiques

Les schématisations présentes sur le secteur sont réparties en fonction des six catégories de matériaux parentaux principaux :

- Dépôts alluvions ou glaciaires (ou colluvions) : **all**
- Roches carbonatées (calcaires et dolomies) : **cal**
- Marnes et roches argileuses : **arg**
- Roches sableuses et formations détritiques : **sab**
- Roches limoneuses : **lim**
- Socles cristallins et cristallophylliens : **cri**

SUR LE RHONE INFLUENCE

Dépôts alluvions ou glaciaires (ou colluvions)

Sur la rive du Rhône, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de formations fluvio-glaciaires

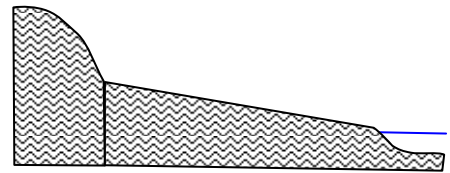
RX-0-DA-CCA-a5



Roches sableuses et formations détritiques

Sur la rive du Rhône, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de molasses et formations quaternaires

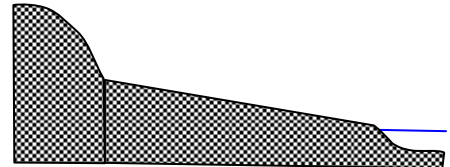
RX-0-DA-CCA- α 13



Marnes et roches argileuses ET roches sableuses et formations détritiques

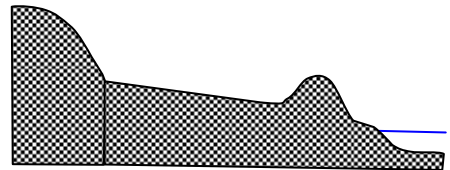
Sur la rive du Rhône, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de moraines argileuses à caillouteuses

RX-0-DA-CCA- α 14



Sur la rive du Rhône, AVEC une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de moraines argileuses à caillouteuses

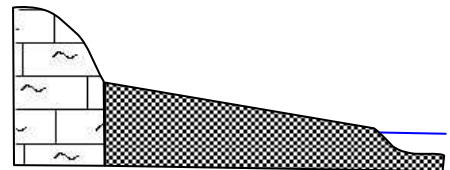
RX-0-DP-CCA- α 14



Roches carbonatées (calcaires et dolomies), marnes et roches argileuses ET roches sableuses et formations détritiques

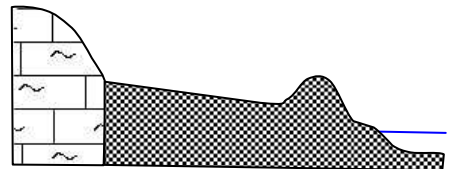
Sur la rive du Rhône, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de moraines argileuses à caillouteuses long et UN SECOND AQUIFERE de calcaires et marnes jurassiques

RX-0-DA-CCA- α 14a- β 10



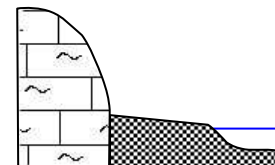
Sur la rive du Rhône, AVEC une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de moraines argileuses à caillouteuses long et UN SECOND AQUIFERE de calcaires et marnes jurassiques

RX-0-DP-CCA- α 14a- β 10



Sur la rive du Rhône, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de moraines argileuses à caillouteuses court et UN SECOND AQUIFERE de calcaires et marnes jurassiques

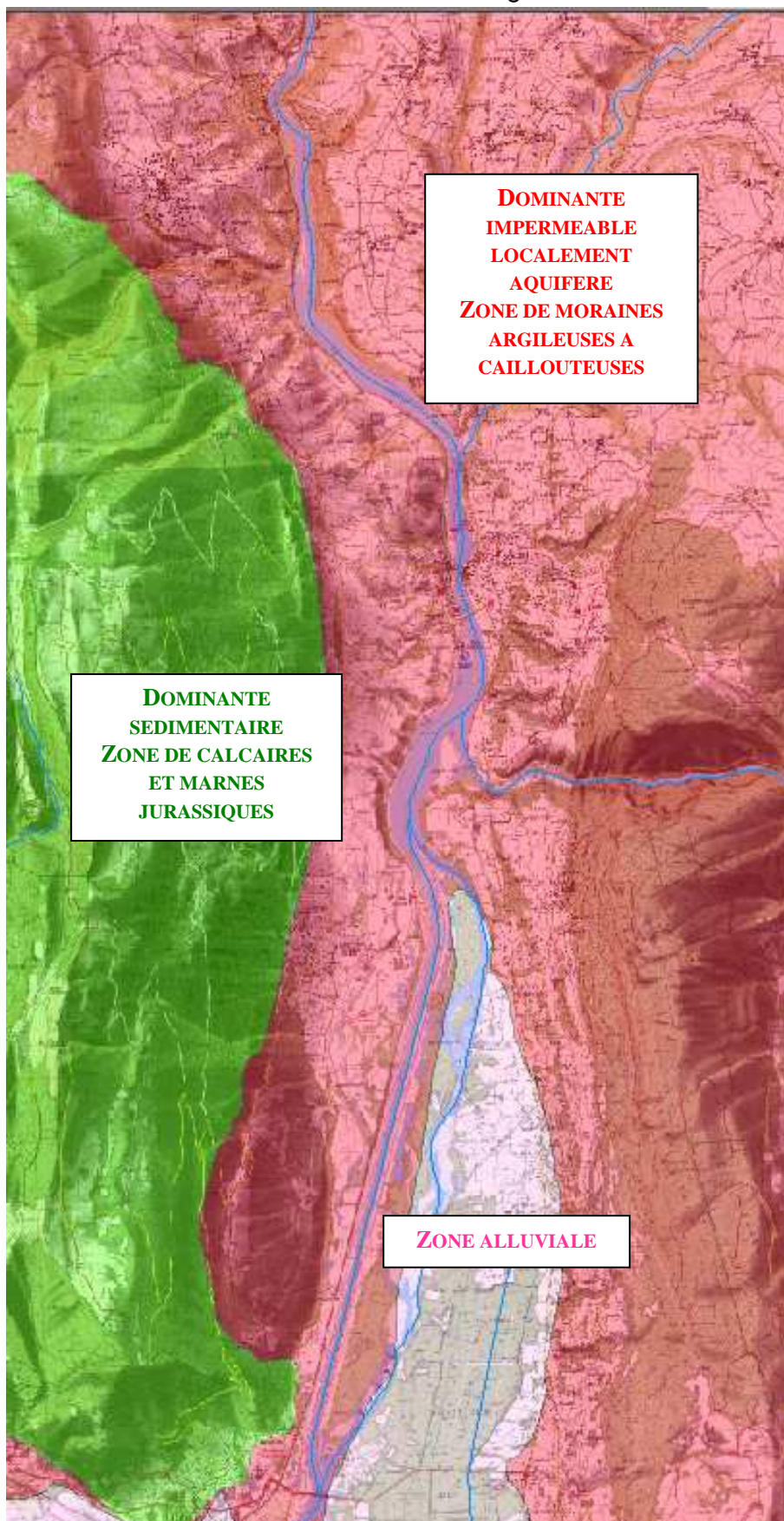
RX-0-DA-CCA- α 14b- β 10



9.1.4. Tableau récapitulatif :

TYPES DE STRUCTURES GEOLOGIQUES	SCHEMATISATIONS PRESENTES SUR LE SECTEUR
ALL Dépôts alluvions ou glaciaires (ou colluvions)	RX-0-DA-CCA- α 5
SAB Roches sableuses et formations détritiques	RX-0-DA-CCA- α 13
ARG / SAB Marnes et roches argileuses ET roches sableuses et formations détritiques	RX-0-DA-CCA- α 14 RX-0-DP-CCA- α 14
CAL / ARG / SAB Roches carbonatées (calcaires et dolomies), marnes et roches argileuses ET roches sableuses et formations détritiques	RX-0-DA-CCA- α 14a- β 10 RX-0-DA-CCA- α 14b- β 10 RX-0-DP-CCA- α 14a- β 10

9.2. Sur le secteur de la dérivation de Chautagne



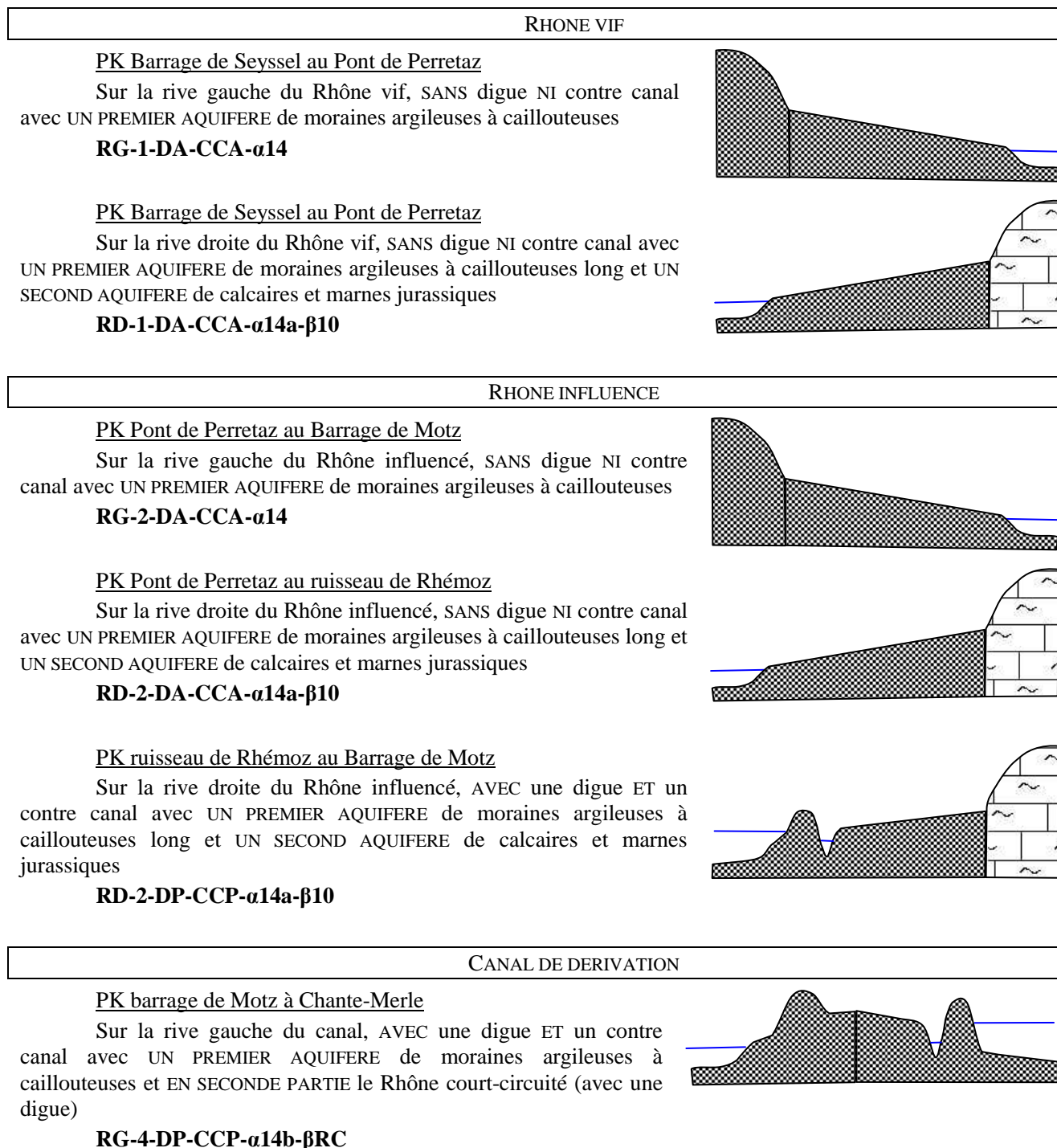
9.2.1. Formations géologiques

On retrouve trois formations géologiques différentes sur le secteur de la chute de Chautagne :

- une zone alluviale qui commence du Rhône court-circuité et dont la largeur augmente d'amont en aval,
- une zone de calcaires et marnes jurassiques, située à l'ouest, au niveau de la rive droite du canal de dérivation.
- une zone de moraines argileuses à caillouteuses, située le long du Rhône

9.2.2. Schématisation le long du Rhône

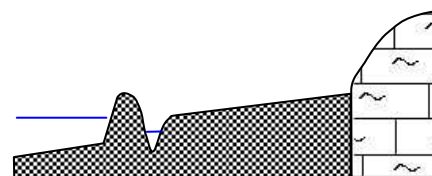
Le secteur de Chautagne, s'étend du barrage de Seyssel jusqu'au Pont de la Loi.



PK barrage de Motz à l'Usine Hydroélectrique

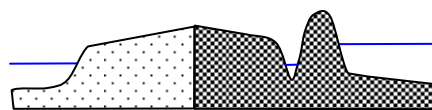
Sur la rive droite du canal, AVEC une digue ET un contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de moraines argileuses à caillouteuses long et UN SECOND AQUIFERE de calcaires et marnes jurassiques

RD-4-DP-CCP-α14a-β10

PK Chante-Merle à l'Usine Hydroélectrique

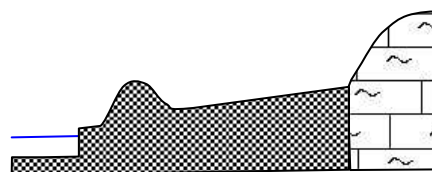
Sur la rive gauche du canal, AVEC une digue ET un contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de moraines argileuses à caillouteuses très court et UN SECOND AQUIFERE alluvial puis EN TROISIEME PARTIE le Rhône court-circuité

RG-4-DP-CCP-α14a-β1

PK Usine Hydroélectrique à Le Villard

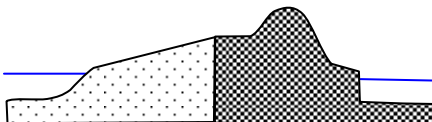
Sur la rive droite du canal, AVEC une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de moraines argileuses à caillouteuses assez long et UN SECOND AQUIFERE de calcaires et marnes jurassiques

RD-4-DP-CCA-α14a-β10

PK l'Usine Hydroélectrique à Chatel

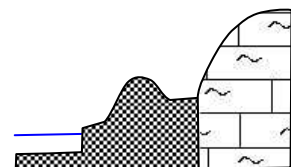
Sur la rive gauche du canal, AVEC une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de moraines argileuses à caillouteuses très court et UN SECOND AQUIFERE alluvial puis EN TROISIEME PARTIE le Rhône court-circuité

RG-4-DP-CCA-α14b-β1

PK Le Villard à La Loi

Sur la rive droite du canal, AVEC une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de moraines argileuses à caillouteuses court et UN SECOND AQUIFERE de calcaires et marnes jurassiques

RD-4-DP-CCA-α14b-β10

PK Le Chatel à La Loi

Sur la rive gauche du canal, AVEC une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de moraines argileuses à caillouteuses court et EN SECONDE PARTIE le Rhône court-circuité

RG-4-DP-CCA-α14b-βRC

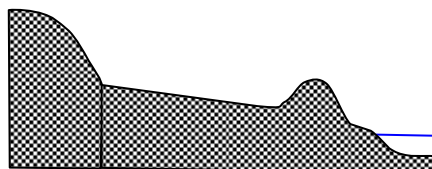


RHÔNE COURT-CIRCUITÉ

PK Barrage de Motz à Chante-Merle

Sur la rive gauche du Rhône court-circuité, AVEC une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de moraines argileuses à caillouteuses

RG-3-DP-CCA-α14

PK barrage de Motz au village de Chante-Merle

Sur la rive droite du Rhône court-circuité, AVEC une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de moraines argileuses à caillouteuses et EN SECONDE PARTIE le canal de dérivation (avec une digue)

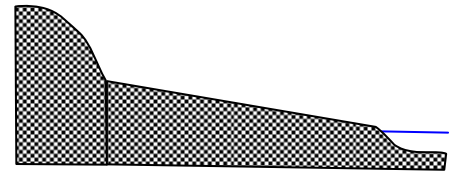
RD-3-DP-CCA-α14b-βCD



PK village de Chante-Merle à Sur Rhône

Sur la rive gauche du Rhône court-circuité, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de moraines argileuses à caillouteuses

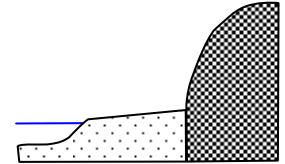
RG-3-DA-CCA- α 14



PK Chante-Merle à Crozan

Sur la rive droit du Rhône court-circuité, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial court et UN SECOND AQUIFERE de moraines argileuses à caillouteuses

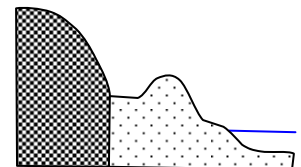
RD-3-DA-CCA- α 1b- β 14



PK village Sur Rhône à Mouton

Sur la rive gauche du Rhône court-circuité, AVEC une digue, appelée digue de Picolet, MAIS sans contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial court qui s'élargit et UN SECOND AQUIFERE de moraines argileuses à caillouteuses

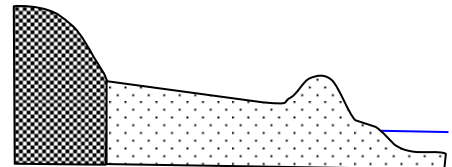
RG-3-DP-CCA- α 1b- β 14



PK village Mouton à La Chêtraz

Sur la rive gauche du Rhône court-circuité, AVEC une digue, appelée digue de Picolet, mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial long et UN SECOND AQUIFERE de moraines argileuses à caillouteuses

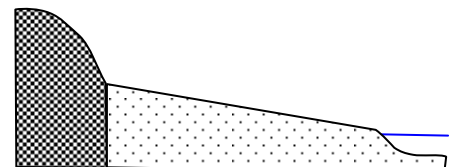
RG-3-DP-CCA- α 1a- β 14



PK La Chêtraz à Serrières en Chautagne

Sur la rive gauche du Rhône court-circuité, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial long et UN SECOND AQUIFERE de moraines argileuses à caillouteuses

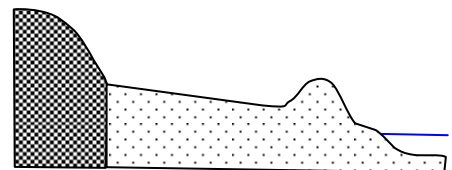
RG-3-DA-CCA- α 1a- β 14



PK Serrières en Chautagne à Chevignay

Sur la rive gauche du Rhône court-circuité, AVEC une digue, appelée digue de Serrières, mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial long et UN SECOND AQUIFERE de moraines argileuses à caillouteuses

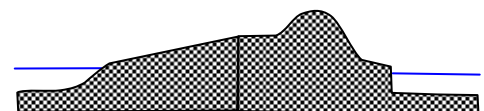
RG-3-DP-CCA- α 1a- β 14



PK Crozan à La Loi

Sur la rive droite du Rhône court-circuité, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de moraines argileuses à caillouteuses et EN SECONDE PARTIE le canal de dérivation (avec une digue)

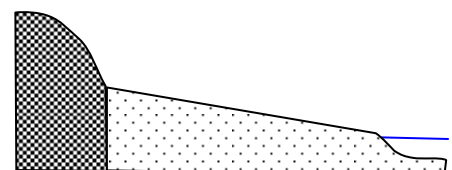
RD-3-DA-CCA- α 14b- β CD



PK Chevignay à La Loi

Sur la rive gauche du Rhône court-circuité, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial long et UN SECOND AQUIFERE de moraines argileuses à caillouteuses

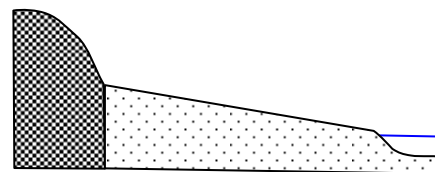
RG-3-DA-CCA- α 1a- β 14



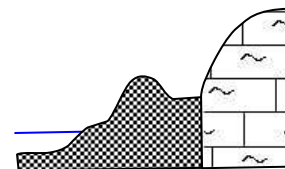
RESTITUTION

PK La Loi au Pont de la Loi

Sur la rive gauche du Rhône vif, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial long et UN SECOND AQUIFERE de moraines argileuses à caillouteuses

RG-1-DA-CCA-α1a-β14**PK La Loi au Pont de la Loi**

Sur la rive droite du Rhône vif, AVEC une digue, mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de moraines argileuses à caillouteuses court et UN SECOND AQUIFERE de calcaires et marnes jurassiques

RG-2-DP-CCA-α14b-β10**Références :**

- Carte IGN 1/25000
N° 3331 OT : « Rumilly, Seyssel, Le Grand Colombier », Editions 2 – 2004
- Carte géologique du BRGM 1/50000
N° XXXIII-30 « Seyssel », 1972

9.2.3. Distinction des différentes structures géologiques

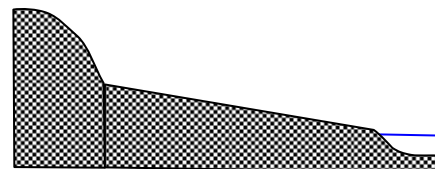
Les schématisations présentes sur le secteur sont réparties en fonction des six catégories de matériaux parentaux principaux :

- Dépôts alluvions ou glaciaires (ou colluvions) : **all**
- Roches carbonatées (calcaires et dolomies) : **cal**
- Marnes et roches argileuses : **arg**
- Roches sableuses et formations détritiques : **sab**
- Roches limoneuses : **lim**
- Socles cristallins et cristallophylliens : **cri**

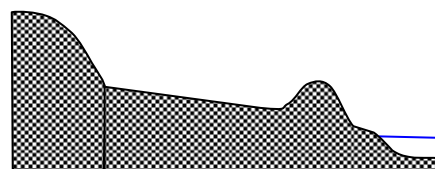
SUR LE RHONE VIF, INFLUENCE OU COURT-CIRCUITE

Marnes et roches argileuses ET roches sableuses et formations détritiques

Sur la rive du Rhône, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de moraines argileuses à caillouteuses

RX-0-DA-CCA-α14

Sur la rive du Rhône, AVEC une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de moraines argileuses à caillouteuses

RX-0-DP-CCA-α14

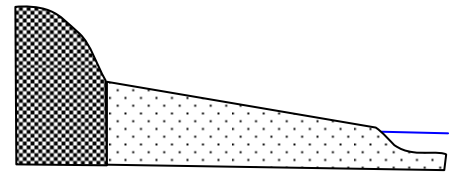
Sur la rive du Rhône court-circuité, AVEC une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de moraines argileuses à caillouteuses et EN SECONDE PARTIE le canal de dérivation (avec une digue)

RX-0-DP-CCA-α14b-βCD

Dépôts alluvions ou glaciaires (ou colluvions), marnes et roches argileuses ET roches sableuses et formations détritiques

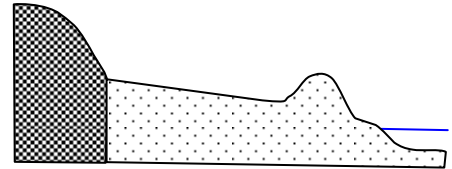
Sur la rive du Rhône, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial long et UN SECOND AQUIFERE de moraines argileuses à caillouteuses

RX-0-DA-CCA- α 1a- β 14



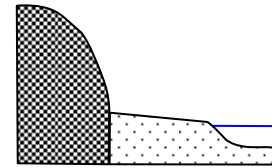
Sur la rive du Rhône, AVEC une digue, appelée digue de Picolet, mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial long et UN SECOND AQUIFERE de moraines argileuses à caillouteuses

RX-0-DP-CCA- α 1a- β 14



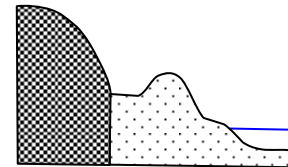
Sur la rive du Rhône, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial court et UN SECOND AQUIFERE de moraines argileuses à caillouteuses

RX-0-DA-CCA- α 1b- β 14



Sur la rive du Rhône, AVEC une digue, appelée digue de Picolet, MAIS sans contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial court et UN SECOND AQUIFERE de moraines argileuses à caillouteuses

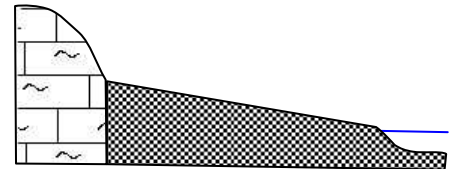
RX-0-DP-CCA- α 1b- β 14



Roches carbonatées (calcaires et dolomies), marnes et roches argileuses ET roches sableuses et formations détritiques

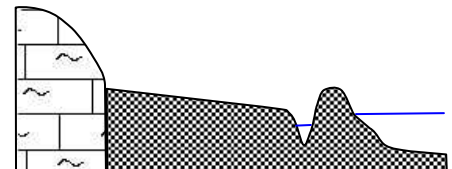
Sur la rive du Rhône, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de moraines argileuses à caillouteuses long et UN SECOND AQUIFERE de calcaires et marnes jurassiques

RX-0-DA-CCA- α 14a- β 10



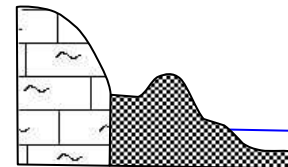
Sur la rive du Rhône, AVEC une digue ET un contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de moraines argileuses à caillouteuses long et UN SECOND AQUIFERE de calcaires et marnes jurassiques

RX-0-DP-CCP- α 14a- β 10



Sur la rive du Rhône, AVEC une digue, mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de moraines argileuses à caillouteuses court et UN SECOND AQUIFERE de calcaires et marnes jurassiques

RX-0-DP-CCA- α 14b- β 10

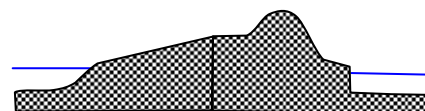


SUR LE CANAL DE DERIVATION

Marnes et roches argileuses ET roches sableuses et formations détritiques

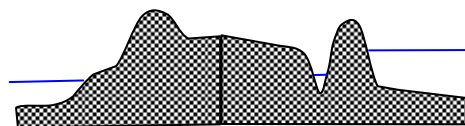
Sur la rive du canal, AVEC une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de moraines argileuses à caillouteuses court et EN SECONDE PARTIE le Rhône court-circuité

RX-4-DP-CCA- α 14b- β RC



Sur la rive du canal, AVEC une digue ET un contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de moraines argileuses à caillouteuses et EN SECONDE PARTIE le Rhône court-circuité (avec une digue)

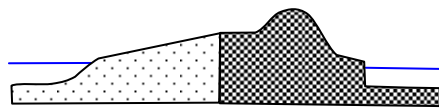
RX-4-DP-CCP- α 14b- β RC



Dépôts alluvions ou glaciaires (ou colluvions), marnes et roches argileuses ET roches sableuses et formations détritiques

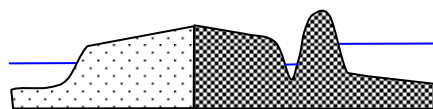
Sur la rive du canal, AVEC une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de moraines argileuses à caillouteuses court et UN SECOND AQUIFERE alluvial puis EN TROISIEME PARTIE le Rhône court-circuité

RX-4-DP-CCA- α 14b- β 1



Sur la rive du canal, AVEC une digue ET un contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de moraines argileuses à caillouteuses court et UN SECOND AQUIFERE alluvial puis EN TROISIEME PARTIE le Rhône court-circuité

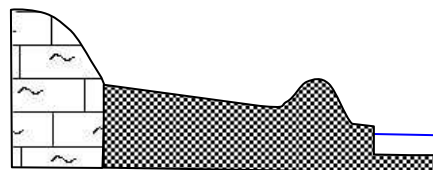
RX-4-DP-CCP- α 14b- β 1



Roches carbonatées (calcaires et dolomies) et marnes et roches argileuses ET roches sableuses et formations détritiques

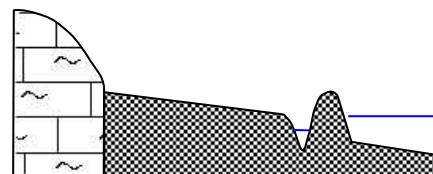
Sur la rive du canal, AVEC une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de moraines argileuses à caillouteuses long et UN SECOND AQUIFERE de calcaires et marnes jurassiques

RX-4-DP-CCA- α 14a- β 10



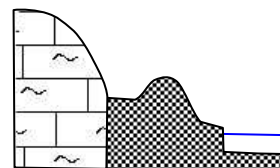
Sur la rive du canal, AVEC une digue ET un contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de moraines argileuses à caillouteuses long et UN SECOND AQUIFERE de calcaires et marnes jurassiques

RX-4-DP-CCP- α 14a- β 10



Sur la rive du canal, AVEC une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de moraines argileuses à caillouteuses court et UN SECOND AQUIFERE de calcaires et marnes jurassiques

RX-4-DP-CCA- α 14b- β 10



9.2.4. Tableau récapitulatif :

TYPES DE STRUCTURES GEOLOGIQUES	SCHEMATISATIONS PRESENTES SUR LE SECTEUR
SANS AMENAGEMENT	
ARG/SAB Marnes et roches argileuses et roches sableuses et formations détritiques	RX-0-DA-CCA- α 14 RX-0-DA-CCA- α 14 RX-0-DP-CCA- α 14- β CD
CAL / ARG / SAB Roches carbonatées (calcaires et dolomies), marnes et roches argileuses ET roches sableuses et formations détritiques	RX-0-DA-CCA- α 14a- β 10 RX-0-DP-CCA- α 14b- β 10 RX-0-DP-CCP- α 14a- β 10
ALL / ARG / SAB	RX-0-DA-CCA- α 1a- β 14

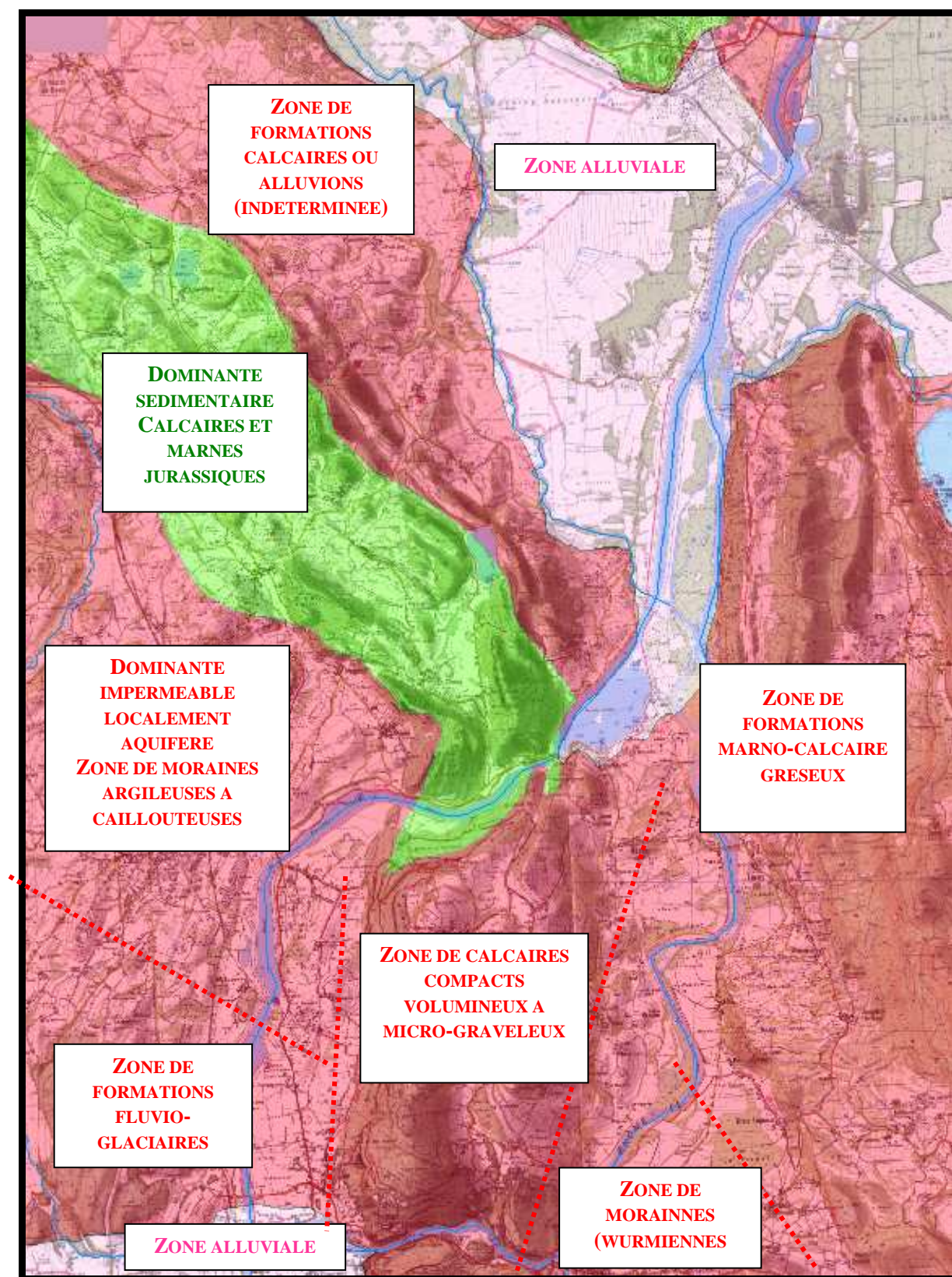
Dépôts alluvions ou glaciaires (ou colluvions), marnes et roches argileuses et roches sableuses et formations détritiques	RX-0-DA-CCA- α 1b- β 14 RX-0-DP-CCA- α 1a- β 14 RX-0-DP-CCA- α 1b- β 14
AVEC AMENAGEMENT	
ARG / SAB Marnes et roches argileuses et roches sableuses et formations détritiques	RX-4-DP-CCA- α 14b- β RC RX-4-DP-CCP- α 14- β RC
CAL / ARG / SAB Roches carbonatées (calcaires et dolomies), marnes et roches argileuses ET roches sableuses et formations détritiques	RX-4-DP-CCA- α 14a- β 10 RX-4-DP-CCA- α 14b- β 10 RX-4-DP-CCP- α 14a- β 10
ALL / ARG / SAB Dépôts alluvions ou glaciaires (ou colluvions), marnes et roches argileuses et roches sableuses et formations détritiques	RX-4-DP-CCA- α 14- β 1 RX-4-DP-CCP- α 14a- β 1

9.3. Sur le secteur de la dérivation de beley

9.3.1. Formations géologiques

On retrouve neuf formations géologiques différentes sur le secteur de la chute de Belley :

- une zone alluviale qui se situe sur une partie (nord) du cours d'eau dont la largeur est très variable,
- une zone de formations calcaires ou alluvions qui n'a pas pu être déterminée qui se situe au nord-ouest du fleuve court-circuité,
- une zone de calcaires et marnes jurassiques de même au nord-ouest,
- une zone marno-calcaires et gréseuse située sur la rive gauche du canal de dérivation,
- une zone de moraines argileuses à caillouteuses sur la rive droite du canal de dérivation,
- une zone de calcaires compacts à volumineux à micro graveleux, située entre le canal de dérivation et le Rhône court-circuité.
- une zone de moraines wurmiennes, un peu à l'écart au niveau de part et d'autres du Rhône court-circuité au sud.
- une zone de formation fluvio-glaciaire assez fine, située au niveau du canal de dérivation,
- et enfin une nouvelle zone alluviale qui se situe sur le fleuve.



9.3.2. Schématisation le long du Rhône

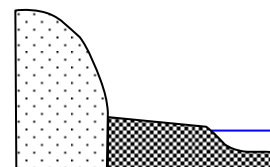
Le secteur de Beley, s'étend du Pont de la Loi jusqu'à la confluence entre le Rhône et le Furans, c'est à dire de pK ? à pK.114.5

RHONE ENDIGUE

PK Pont de la Loi à Mollard Dessus

Sur la rive gauche du Rhône endigué, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de moraines argileuses à caillouteuses court et qui rétrécit et UN SECOND AQUIFERE alluvial

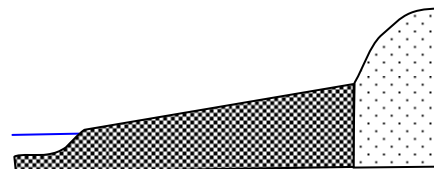
RG-2-DA-CCA- α 14b- β 1



PK Pont de la Loi à Culoz

Sur la rive droite du Rhône endigué, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de moraines argileuses à caillouteuses long et UN SECOND AQUIFERE alluvial (suivi rapidement de calcaires et marnes jurassiques)

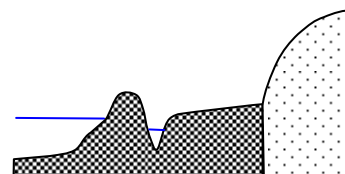
RD-2-DA-CCA- α 14a- β 1



PK Culoz à Mollard Dessus

Sur la rive droite du Rhône endigué, AVEC une digue ET un contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de moraines argileuses à caillouteuses court qui se rétrécit et UN SECOND AQUIFERE alluvial

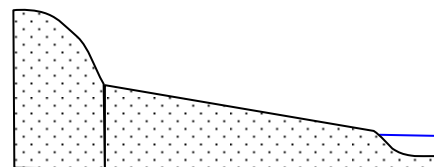
RD-2-DP-CCP- α 14b- β 1



PK Mollard Dessus à La Muraille

Sur la rive gauche du Rhône endigué, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial

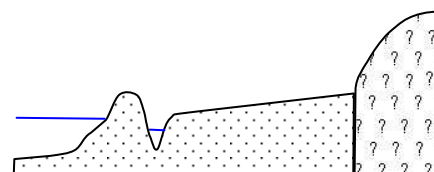
RG-2-DA-CCA- α 1



PK Mollard Dessus à La Palière (avant)

Sur la rive droite du Rhône endigué, AVEC une digue ET un contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial long et UN SECOND AQUIFERE de formation entre calcaire et alluvions (indéterminée)

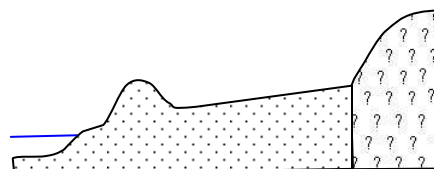
RD-2-DP-CCP- α 1a- β 6



PK La Palière (avant) à un peu après

Sur la rive droite du Rhône endigué, AVEC une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial long et UN SECOND AQUIFERE de formation entre calcaire et alluvions (indéterminée)

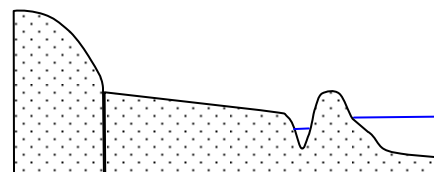
RD-2-DP-CCA- α 1a- β 6



PK La Muraille à Les Granges

Sur la rive gauche du Rhône endigué, AVEC une digue ET un contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial long

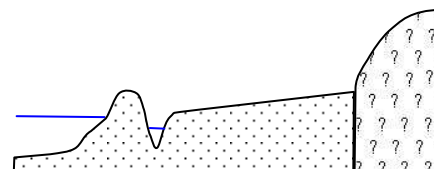
RG-2-DP-CCP- α 1



PK La Palière (un peu après) au Barrage de Lavour

Sur la rive droite du Rhône endigué, AVEC une digue ET un contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial long et UN SECOND AQUIFERE de formation entre calcaire et alluvions (indéterminée)

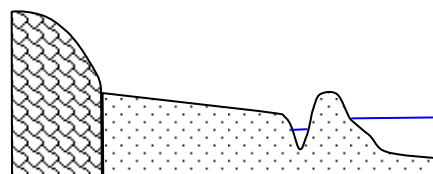
RD-2-DP-CCP- α 1a- β 6



PK Les Granges à l'Ecluse

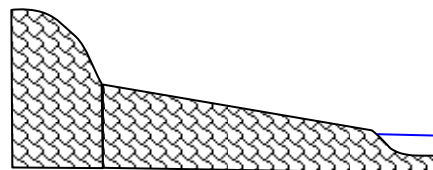
Sur la rive gauche du Rhône endigué, AVEC une digue ET un contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial long et UN SECOND AQUIFERE de formation marno-calcaire et gréseuse

RG-2-DP-CCP- α 1a- β 11

PK l'Ecluse au Barrage de Lavour

Sur la rive gauche du Rhône endigué, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de formation marno-calcaire et gréseuse

RG-2-DA-CCA- α 11

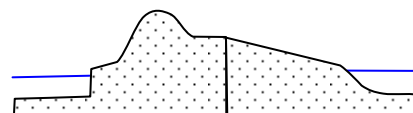


CANAL DE DERIVATION

PK Barrage de Lavour à La Tuillerie

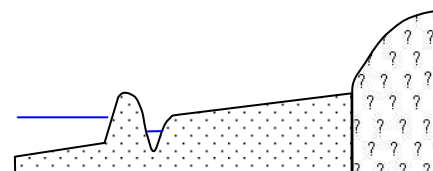
Sur la rive gauche du canal, AVEC une digue ET un contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial court et EN SECONDE PARTIE le Rhône court-circuité

RG-4-DP-CCP- α 1b- β RC

PK Barrage de Lavour à Rochefort

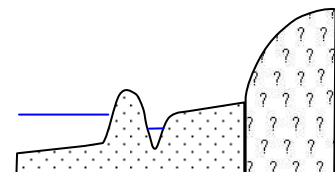
Sur la rive droite du canal, AVEC une digue ET un contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial long et UN SECOND AQUIFERE de formation entre calcaire et alluvions (indéterminée)

RD-4-DP-CCP- α 1a- β 6

PK Rochefort à Parissieu

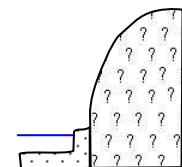
Sur la rive droite du canal, AVEC une digue ET un contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial court qui se rétrécit et UN SECOND AQUIFERE de formation entre calcaire et alluvions (indéterminée)

RD-4-DP-CCP- α 1b- β 6

PK Parissieu à Sur les Croix

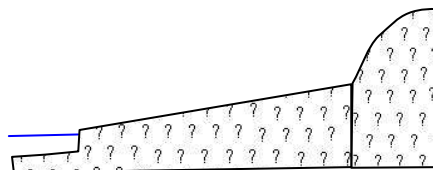
Sur la rive droite du canal, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial court qui se rétrécit et UN SECOND AQUIFERE de formation entre calcaire et alluvions (indéterminée)

RD-4-DA-CCA- α 1b- β 6

PK Sur les Croix à Embranchement D37 et D992

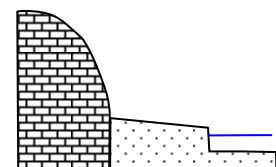
Sur la rive droite du canal, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de formation entre calcaire et alluvions (indéterminée)

RD-4-DA-CCA- α 6

PK La Tuillerie à Lit au Roy

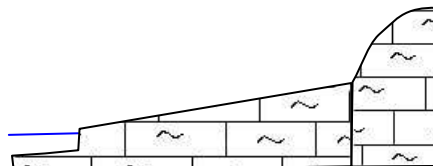
Sur la rive gauche du canal, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial court et UN SECOND AQUIFERE de calcaires compacts volumineux à micrograveleux

RG-4-DA-CCA- α 1b- β 7

PK Embranchement D37 et D992 à Pierre Sourde

Sur la rive droite du canal, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de calcaires et marnes jurassiques

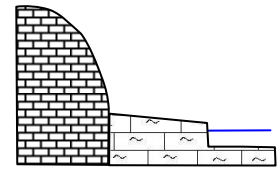
RD-4-DA-CCA- α 10



PK Lit au Roy à Pierre Sourde (avant)

Sur la rive gauche du canal, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de calcaires et marnes jurassiques court et UN SECOND AQUIFERE de calcaires compacts volumineux à micrograveleux

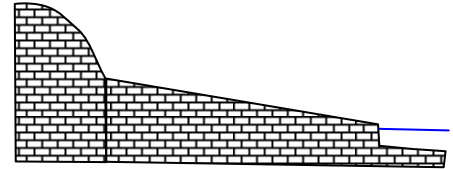
RG-4-DA-CCA- α 10b- β 7



PK Pierre Sourde (avant) à Pierre Sourde (après)

Sur la rive gauche du canal, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de calcaires compacts volumineux à micrograveleux

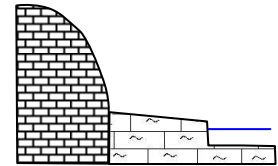
RG-4-DA-CCA- α 7



PK Pierre Sourde (après) à la Trouvière

Sur la rive gauche du canal, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de calcaires et marnes jurassiques court et UN SECOND AQUIFERE de calcaires compacts volumineux à micrograveleux

RG-4-DA-CCA- α 10b- β 7



PK Pierre Sourde à Mussin

Sur la rive droite du canal, AVEC une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de calcaires et marnes jurassiques

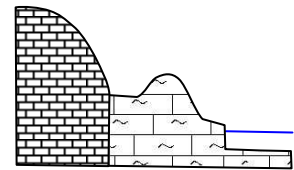
RD-4-DP-CCA- α 10



PK la Trouvière à Bassières

Sur la rive gauche du canal, AVEC une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de calcaires et marnes jurassiques court et UN SECOND AQUIFERE de calcaires compacts volumineux à micrograveleux

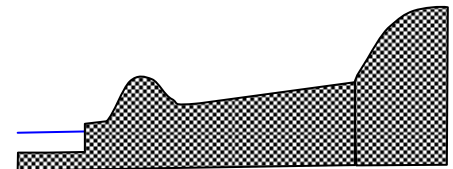
RG-4-DP-CCA- α 10b- β 7



PK Mussin à Port de Belley

Sur la rive droite du canal, AVEC une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de moraines argileuses à caillouteuses

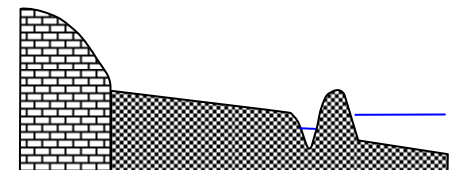
RD-4-DP-CCA- α 14



PK Bassières à St Germain

Sur la rive gauche du canal, AVEC une digue ET un contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de moraines argileuses à caillouteuses long et UN SECOND AQUIFERE de calcaires compacts volumineux à micrograveleux

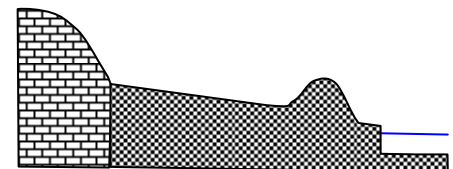
RG-4-DP-CCP- α 14a- β 7



PK St Germain au Port de Virignin

Sur la rive gauche du canal, AVEC une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de moraines argileuses à caillouteuses long et UN SECOND AQUIFERE de calcaires compacts volumineux à micrograveleux

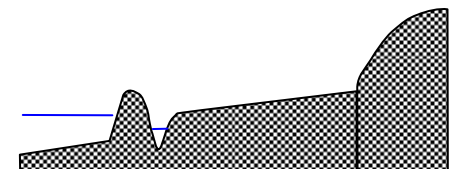
RG-4-DP-CCA- α 14a- β 7



PK Port de Belley au Port de Virignin

Sur la rive droite du canal, AVEC une digue ET un contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de moraines argileuses à caillouteuses

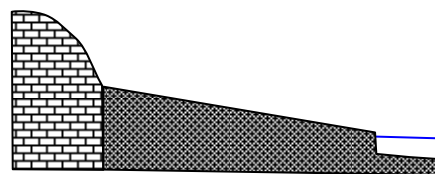
RD-4-DP-CCP- α 14



PK Port de Virignin au Gymnase le Content

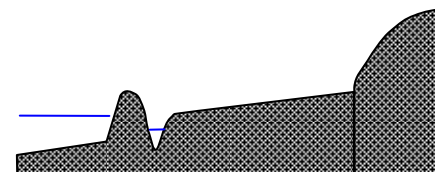
Sur la rive gauche du canal, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de formations fluvio-glaciaires long et UN SECOND AQUIFERE de calcaires compacts volumineux à micrograveleux

RG-4-DA-CCA- α 5a- β 7

PK Port de Virignin à la Marnise

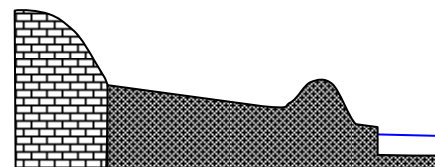
Sur la rive droite du canal, AVEC une digue ET un contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de formations fluvio-glaciaires

RD-4-DP-CCP- α 5

PK Gymnase le Content à la Marnise

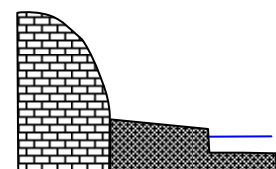
Sur la rive gauche du canal, AVEC une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de formations fluvio-glaciaires long et UN SECOND AQUIFERE de calcaires compacts volumineux à micrograveleux

RG-4-DP-CCA- α 5a- β 7

PK la Marnise à Bionne

Sur la rive gauche du canal, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de formations fluvio-glaciaires court et UN SECOND AQUIFERE de calcaires compacts volumineux à micrograveleux

RG-4-DA-CCA- α 5b- β 7

PK la Marnise à Bionne

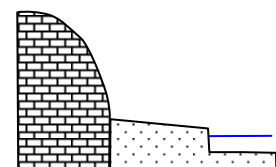
Sur la rive droite du canal, AVEC une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de formations fluvio-glacières

RD-4-DP-CCA- α 5

PK Bionne à PK 114.5

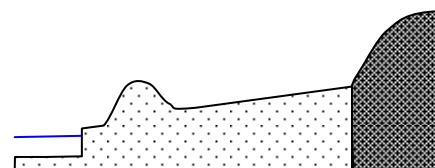
Sur la rive gauche du canal, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial court et UN SECOND AQUIFERE de calcaires compacts volumineux à micrograveleux

RG-4-DA-CCA- α 1b- β 7

PK Bionne à PK 114.5

Sur la rive droite du canal, AVEC une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial long qui s'agrandit et UN SECOND AQUIFERE de formations fluvio-glaciaires

RD-4-DP-CCA- α 1a- β 5

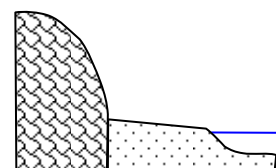


RHONE COURT-CIRCUITÉ

PK Barrage de Lavou à Les Galles

Sur la rive gauche du Rhône court-circuité, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial court et UN SECOND AQUIFERE de formation marno-calcaire et gréseuse

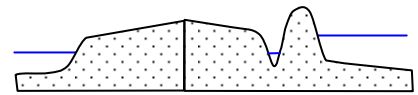
RG-3-DA-CCA- α 1b- β 11



PK Barrage de Lavou à Léchebeuf

Sur la rive droite du Rhône court-circuité, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial court et EN SECONDE PARTIE le canal (avec une digue et un contre canal)

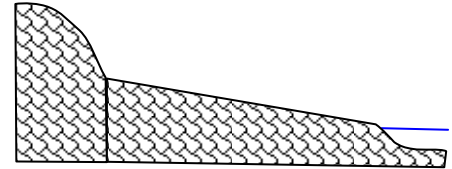
RD-3-DA-CCA- α 1b- β CD



PK Les Galles à Charbonnat

Sur la rive gauche du Rhône court-circuité, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de formation marno-calcaire et gréseuse

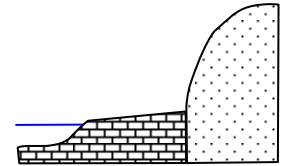
RG-3-DA-CCA- α 11



PK Léchebeuf à Le Mollard

Sur la rive droite du Rhône court-circuité, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de calcaires compacts volumineux à micrograveleux court et UN SECOND AQUIFERE alluvial

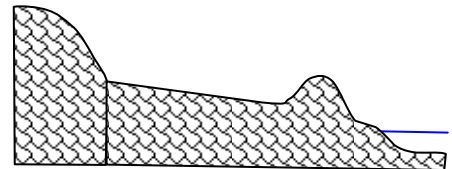
RD-3-DA-CCA- α 7b- β 1



PK Charbonnat à Rives

Sur la rive gauche du Rhône court-circuité, AVEC une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de formation marno-calcaire et gréseuse

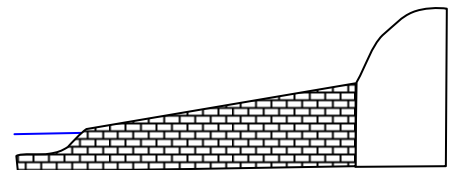
RG-3-DP-CCA- α 11



PK Le Mollard à Le Grand Ecrivain

Sur la rive droite du Rhône court-circuité, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de calcaires compacts volumineux à micrograveleux qui s'agrandit et UN SECOND AQUIFERE variable

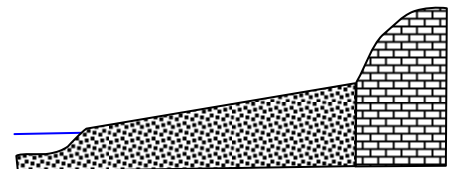
RD-3-DA-CCA- α 1b- β (1, 7 ou 10)



PK Le Grand Ecrivain à Lucey

Sur la rive droite du Rhône court-circuité, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de moraines wurmiennes long qui s'agrandit et UN SECOND AQUIFERE de calcaires compacts volumineux à micrograveleux

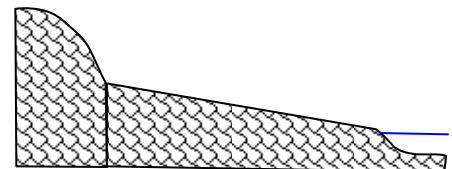
RD-3-DA-CCA- α 15a- β 7



PK Rives à La Linche

Sur la rive gauche du Rhône court-circuité, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de formation marno-calcaire et gréseuse

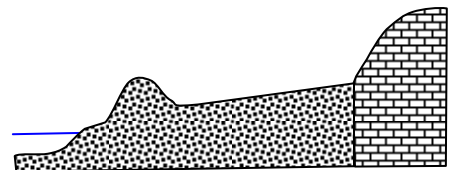
RG-3-DA-CCA- α 11



PK Lucey à Nattages

Sur la rive droite du Rhône court-circuité, AVEC une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de moraines wurmiennes long et UN SECOND AQUIFERE de calcaires compacts volumineux à micrograveleux

RD-3-DP-CCA- α 15a- β 7



PK La Linche à Yenne

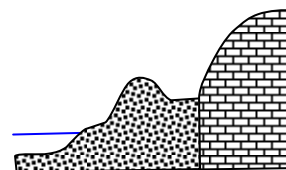
Sur la rive gauche du Rhône court-circuité, AVEC une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de moraines wurmiennes

RG-3-DP-CCA- α 15

PK Nattages à Chemillieu

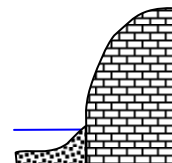
Sur la rive droite du Rhône court-circuité, AVEC une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE moraines wurmiennes court et qui rétrécit et UN SECOND AQUIFERE de calcaires compacts volumineux à micrograveleux

RD-3-DP-CCA- α 15b- β 7

PK Chemillieu à Yenne

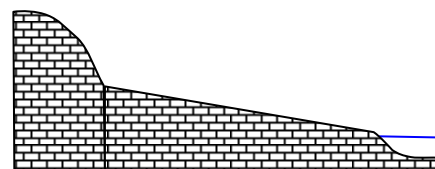
Sur la rive droite du Rhône court-circuité, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE moraines wurmiennes court et qui rétrécit et UN SECOND AQUIFERE de calcaires compacts volumineux à micrograveleux

RD-3-DA-CCA- α 15b- β 7

PK Yenne à La Balme

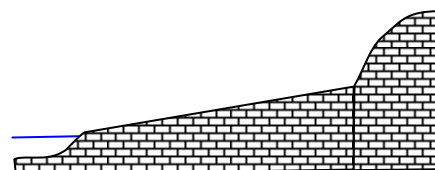
Sur la rive gauche du Rhône court-circuité, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de calcaires compacts volumineux à micrograveleux

RG-3-DA-CCA- α 7

PK Yenne à La Balme

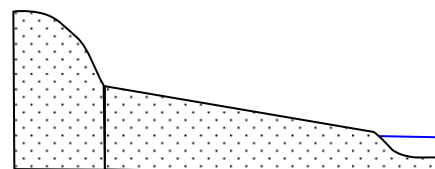
Sur la rive droite du Rhône court-circuité, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de calcaires compacts volumineux à micrograveleux

RD-3-DA-CCA- α 7

PK La Balme à PK 114.5

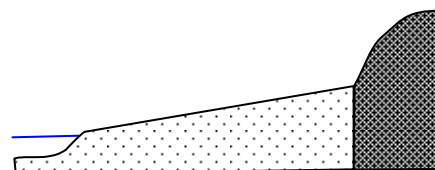
Sur la rive gauche du Rhône court-circuité, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial

RD-3-DA-CCA- α 1

PK La Balme à PK 114.5

Sur la rive gauche du Rhône court-circuité, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial long et UN SECOND AQUIFERE de formations fluvio-glaciaires

RD-3-DA-CCA- α 1a- β 5



RESTITUTION

Restitution directe où commence la chute de Brégner-Cordon

Références :

- Carte IGN 1/25000
N° 3331 OT : « Rumilly, Seyssel, Le Grand Colombier », Editions 2 – 2004
- Carte IGN 1/25000

N° 3332 OT : « Chambéry, Aix-les-Bains, Lac du Bourget », Editions 3 – 2004

- Carte IGN 1/25000

N° 3232 ET : « Belley, St Génix sur Guiers, Sud Bugey, Editions 1 – 1998

- Carte géologique du BRGM 1/50000

N° XXXIII-30 « Seyssel », 1972

- Carte géologique du BRGM 1/50000

N° XXXIII-31 : « Ruilly », 1970

- Carte géologique du BRGM 1/50000

N°700 : « Belley », 1990

9.3.4. Distinction des différentes structures géologiques

Les schématisations présentes sur le secteur sont réparties en fonction des six catégories de matériaux parentaux principaux :

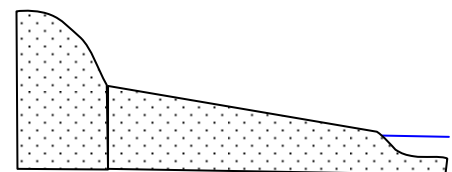
- Dépôts alluvions ou glaciaires (ou colluvions) : **all**
- Roches carbonatées (calcaires et dolomies) : **cal**
- Marnes et roches argileuses : **arg**
- Roches sableuses et formations détritiques : **sab**
- Roches limoneuses : **lim**
- Socles cristallins et cristallophylliens : **cri**

SUR LE RHONE ENDIGUE OU COURT-CIRCUITE

Dépôts alluvions ou glaciaires (ou colluvions)

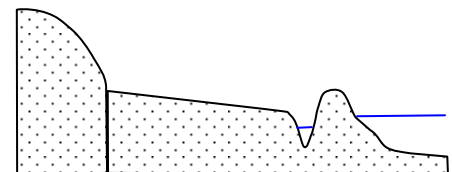
Sur la rive du Rhône, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial

RX-0-DA-CCA- α 1



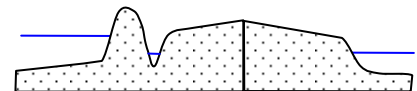
Sur la rive du Rhône, AVEC une digue ET un contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial long

RX-0-DP-CCP- α 1



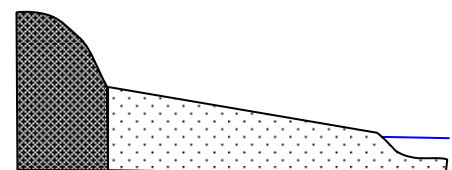
Sur la rive du Rhône, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial court et EN SECONDE PARTIE le canal (avec une digue et un contre canal)

RX-0-DA-CCA- α 1b- β CD



Sur la rive du Rhône, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial court et UN SECOND AQUIFERE de formations fluvio-glaciaires

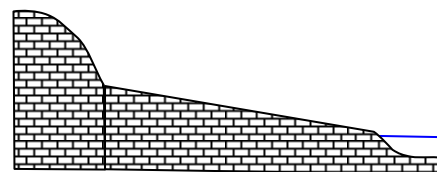
RX-0-DA-CCA- α 1b- β 5



Roches carbonatées (calcaires et dolomies)

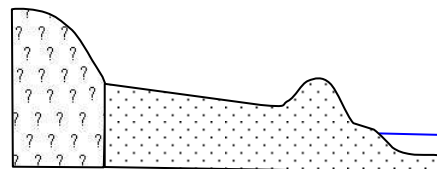
Sur la rive du Rhône, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de calcaires compacts volumineux à micrograveleux

RX-0-DA-CCA- α 7

**Dépôts alluvions ou glaciaires (ou colluvions), ET roches carbonatées (calcaires et dolomies)**

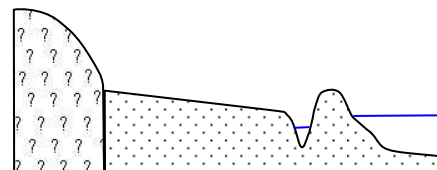
Sur la rive du Rhône, AVEC une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial long et UN SECOND AQUIFERE de formation entre calcaire et alluvions (indéterminée)

RX-0-DP-CCA- α 1a- β 6



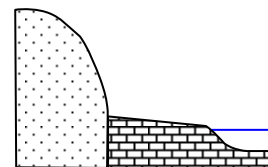
Sur la rive du Rhône, AVEC une digue ET un contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial long et UN SECOND AQUIFERE de formation entre calcaire et alluvions (indéterminée)

RX-0-DP-CCP- α 1a- β 6



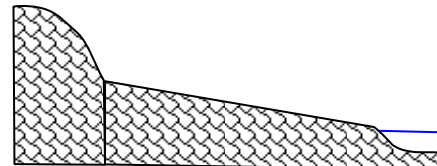
Sur la rive du Rhône, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de calcaires compacts volumineux à micrograveleux court et UN SECOND AQUIFERE alluvial

RX-0-DA-CCA- α 7b- β 1

**Roches carbonatées (calcaires et dolomies) ET marnes et roches argileuses**

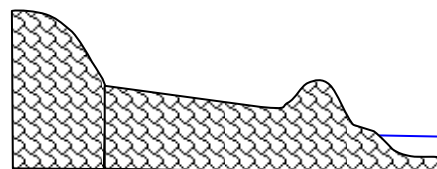
Sur la rive du Rhône, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de formation marno-calcaire et gréseuse

RX-0-DA-CCA- α 11



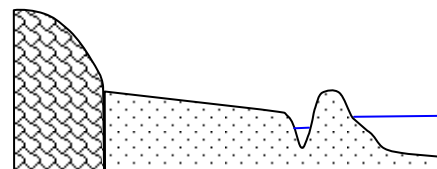
Sur la rive du Rhône, AVEC une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de formation marno-calcaire et gréseuse

RX-0-DP-CCA- α 11

**Dépôts alluvions ou glaciaires (ou colluvions), roches carbonatées (calcaires et dolomies) ET marnes et roches argileuses**

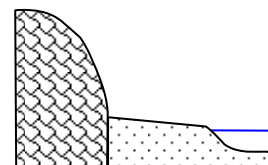
Sur la rive du Rhône, AVEC une digue ET un contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial long et UN SECOND AQUIFERE de formation marno-calcaire et gréseuse

RX-0-DP-CCP- α 1a- β 11



Sur la rive du Rhône, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial court et UN SECOND AQUIFERE de formation marno-calcaire et gréseuse

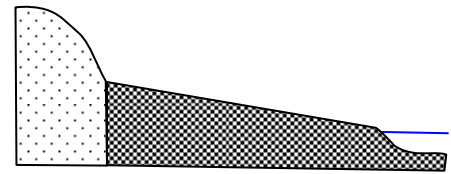
RX-0-DA-CCA- α 1b- β 11



Dépôts alluvions ou glaciaires (ou colluvions), marnes et roches argileuses ET roches sableuses et formations détritiques

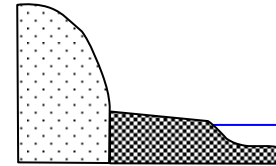
Sur la rive droite du Rhône, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de moraines argileuses à caillouteuses long et UN SECOND AQUIFERE alluvial

RX-0-DA-CCA-α14a-β1



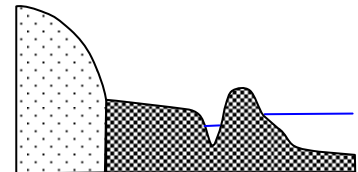
Sur la rive du Rhône, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de moraines argileuses à caillouteuses court et UN SECOND AQUIFERE alluvial

RX-0-DA-CCA-α14b-β1



Sur la rive du Rhône, AVEC une digue ET un contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de moraines argileuses à caillouteuses court et UN SECOND AQUIFERE alluvial

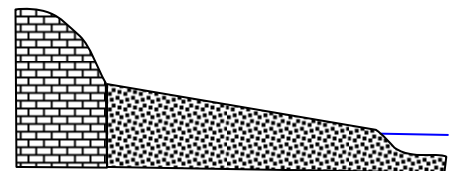
RX-0-DP-CCP-α14b-β1



Roches carbonatées (calcaires et dolomies), marnes et roches argileuses ET roches sableuses et formations détritiques

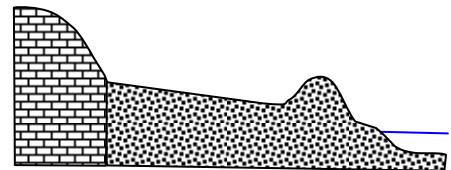
Sur la rive du Rhône, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE moraines wurmiennes long et UN SECOND AQUIFERE de calcaires compacts volumineux à micrograveleux

RX-0-DA-CCA-α15a-β7



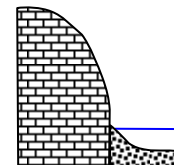
Sur la rive du Rhône, AVEC une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE moraines wurmiennes long et UN SECOND AQUIFERE de calcaires compacts volumineux à micrograveleux

RX-0-DP-CCA-α15a-β7



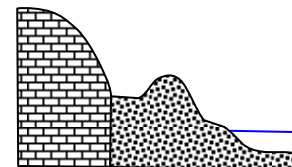
Sur la rive du Rhône, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE moraines wurmiennes court et UN SECOND AQUIFERE de calcaires compacts volumineux à micrograveleux

RX-0-DA-CCA-α15b-β7



Sur la rive du Rhône, AVEC une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE moraines wurmiennes court et UN SECOND AQUIFERE de calcaires compacts volumineux à micrograveleux

RX-0-DP-CCA-α15b-β7

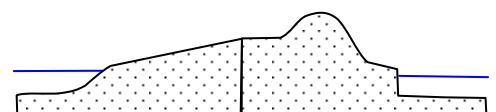


SUR LE CANAL DE DERIVATION

Dépôts alluvions ou glaciaires (ou colluvions)

Sur la rive du canal, AVEC une digue ET un contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial court et EN SECONDE PARTIE le Rhône court-circuité

RX-4-DP-CCP-α1b-βRC



Sur la rive du canal, AVEC une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de formations fluvio-glaciaires

RX-4-DP-CCA- α 5

Sur la rive du canal, AVEC une digue ET un contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de formations fluvio-glaciaires

RX-4-DP-CCP- α 5

Sur la rive du canal, AVEC une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial court et UN SECOND AQUIFERE de formations fluvio-glaciaires

RX-4-DP-CCA- α 1b- β 5

Roches carbonatées (calcaires et dolomies)

Sur la rive du canal, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de calcaires compacts volumineux à micrograveleux

RX-4-DA-CCA- α 7

Dépôts alluvions ou glaciaires (ou colluvions), ET roches carbonatées (calcaires et dolomies)

Sur la rive du canal, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de formation entre calcaire et alluvions (indéterminée)

RX-4-DA-CCA- α 6

Sur la rive du canal, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial court et UN SECOND AQUIFERE de formation entre calcaire et alluvions (indéterminée)

RX-4-DA-CCA- α 1b- β 6

Sur la rive du canal, AVEC une digue ET un contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial long et UN SECOND AQUIFERE de formation entre calcaire et alluvions (indéterminée)

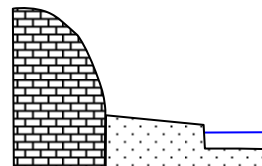
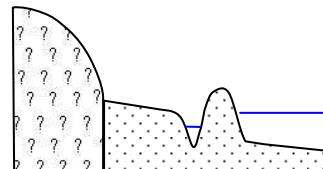
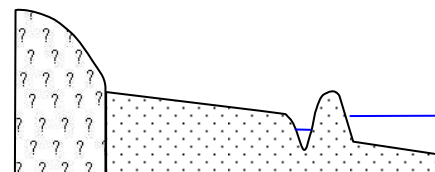
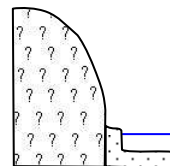
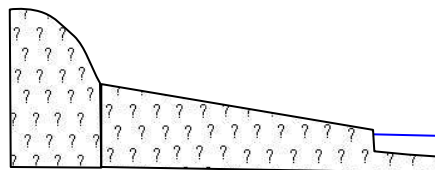
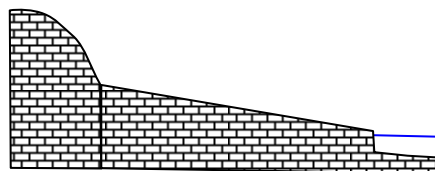
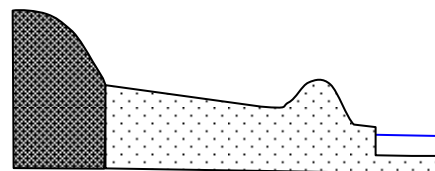
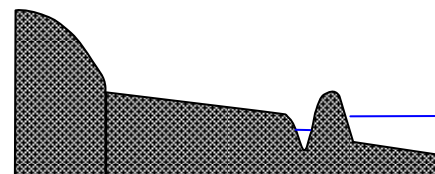
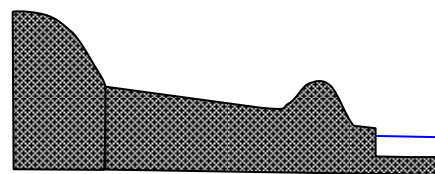
RX-4-DP-CCP- α 1a- β 6

Sur la rive du canal, AVEC une digue ET un contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial court et UN SECOND AQUIFERE de formation entre calcaire et alluvions (indéterminée)

RX-4-DP-CCP- α 1b- β 6

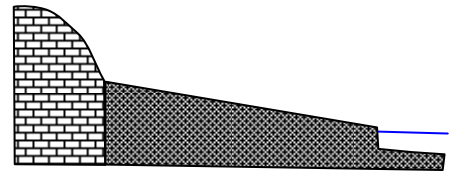
Sur la rive du canal, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial court et UN SECOND AQUIFERE de calcaires compacts volumineux à micrograveleux

RX-4-DA-CCA- α 1b- β 7



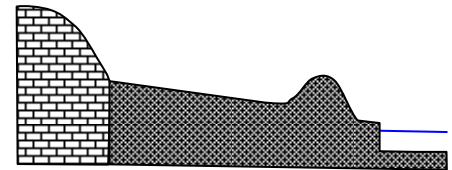
Sur la rive du canal, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de formations fluvio-glaciaires long et UN SECOND AQUIFERE de calcaires compacts volumineux à micrograveleux

RX-4-DA-CCA- α 5a- β 7



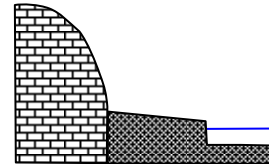
Sur la rive du canal, AVEC une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de formations fluvio-glaciaires long et UN SECOND AQUIFERE de calcaires compacts volumineux à micrograveleux

RX-4-DP-CCA- α 5a- β 7



Sur la rive du canal, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de formations fluvio-glaciaires court et UN SECOND AQUIFERE de calcaires compacts volumineux à micrograveleux

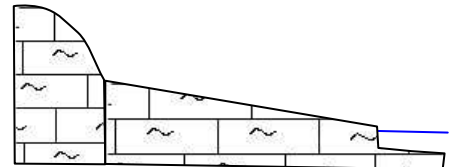
RX-4-DA-CCA- α 5b- β 7



Roches carbonatées (calcaires et dolomies) ET marnes et roches argileuses

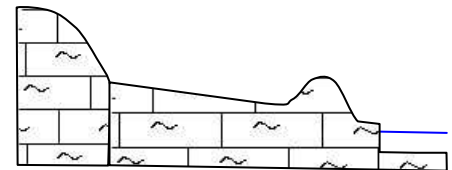
Sur la rive du canal, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de calcaires et marnes jurassiques

RX-4-DA-CCA- α 10



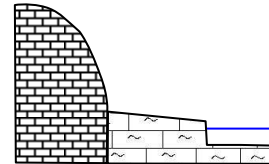
Sur la rive du canal, AVEC une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de calcaires et marnes jurassiques

RX-4-DP-CCA- α 10



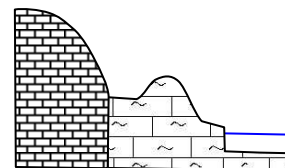
Sur la rive du canal, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de calcaires et marnes jurassiques court et UN SECOND AQUIFERE de calcaires compacts volumineux à micrograveleux

RX-4-DA-CCA- α 10b- β 7



Sur la rive du canal, AVEC une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de calcaires et marnes jurassiques court et UN SECOND AQUIFERE de calcaires compacts volumineux à micrograveleux

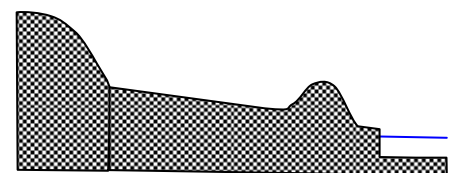
RGX-4-DP-CCA- α 10b- β 7



Marnes et roches argileuses ET roches sableuses et formations détritiques

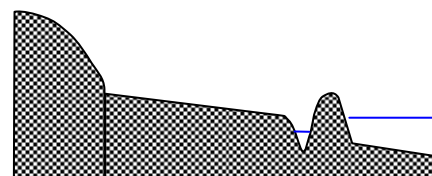
Sur la rive du canal, AVEC une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de moraines argileuses à caillouteuses

RX-4-DP-CCA- α 14



Sur la rive du canal, AVEC une digue ET un contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de moraines argileuses à caillouteuses

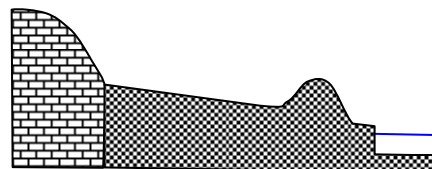
RX-4-DP-CCP- α 14



Roches carbonatées (calcaires et dolomies), marnes et roches argileuses ET roches sableuses et formations détritiques

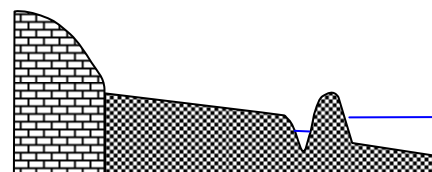
Sur la rive du canal, AVEC une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de moraines argileuses à caillouteuses long et UN SECOND AQUIFERE de calcaires compacts volumineux à micrograveleux

RX-4-DP-CCA- α 14a- β 7



Sur la rive du canal, AVEC une digue ET un contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de moraines argileuses à caillouteuses long et UN SECOND AQUIFERE de calcaires compacts volumineux à micrograveleux

RX-4-DP-CCP- α 14a- β 7



9.3.4. Tableau récapitulatif :

TYPES DE STRUCTURES GEOLOGIQUES	SCHEMATISATIONS PRESENTES SUR LE SECTEUR
SANS AMENAGEMENT	
ALL Dépôts alluvions ou glaciaires (ou colluvions)	RX-0-DA-CCA- α 1 RX-0-DP-CCP- α 1 RX-0-DA-CCA- α 1b- β CD RX-0-DA-CCA- α 1b- β 5
ARG / CAL Marnes et roches argileuses et roches carbonatées (calcaires et dolomies)	RX-0-DA-CCA- α 11 RX-0-DP-CCA- α 11
ALL / CAL / SAB Dépôts alluvions ou glaciaires (ou colluvions), roches carbonatées (calcaires et dolomies) et marnes et roches argileuses	RX-0-DA-CCA- α 1b- β 11 RX-0-DP-CCP- α 1a- β 11
CAL Roches carbonatées (calcaires et dolomies)	RX-0-DA-CCA- α 7
ALL / CAL Dépôts alluvions ou glaciaires (ou colluvions), et roches carbonatées (calcaires et dolomies)	RX-0-DP-CCA- α 1a- β 6 RX-0-DP-CCP- α 1a- β 16 RX-0-DA-CCA- α 7b- β 1
ALL / ARG / SAB Dépôts alluvions ou glaciaires (ou colluvions), marnes et roches argileuses et roches sableuses et formations détritiques	RX-0-DA-CCA- α 14a- β 1 RX-0-DA-CCA- α 14b- β 1 RX-0-DP-CCP- α 14b- β 1
CAL / ARG / SAB Roches carbonatées (calcaires et dolomies), marnes et roches argileuses et roches sableuses et formations détritiques	RX-0-DA-CCA- α 15a- β 7 RX-0-DA-CCA- α 15b- β 7 RX-0-DP-CCA- α 15a- β 7 RX-0-DP-CCA- α 15b- β 7
AVEC AMENAGEMENT	
ALL Dépôts alluvions ou glaciaires (ou colluvions)	RX-4-DP-CCP- α 1b- β RC RX-4-DP-CCA- α 5 RX-4-DP-CCP- α 5 RX-4-DP-CCA- α 1b- β 5
CAL Roches carbonatées (calcaires et dolomies)	RX-4-DA-CCA- α 7
ALL / CAL Dépôts alluvions ou glaciaires (ou colluvions), et roches carbonatées (calcaires et dolomies)	RX-4-DA-CCA- α 1b- β 7 RX-4-DA-CCA- α 6 RX-4-DA-CCA- α 1b- β 6

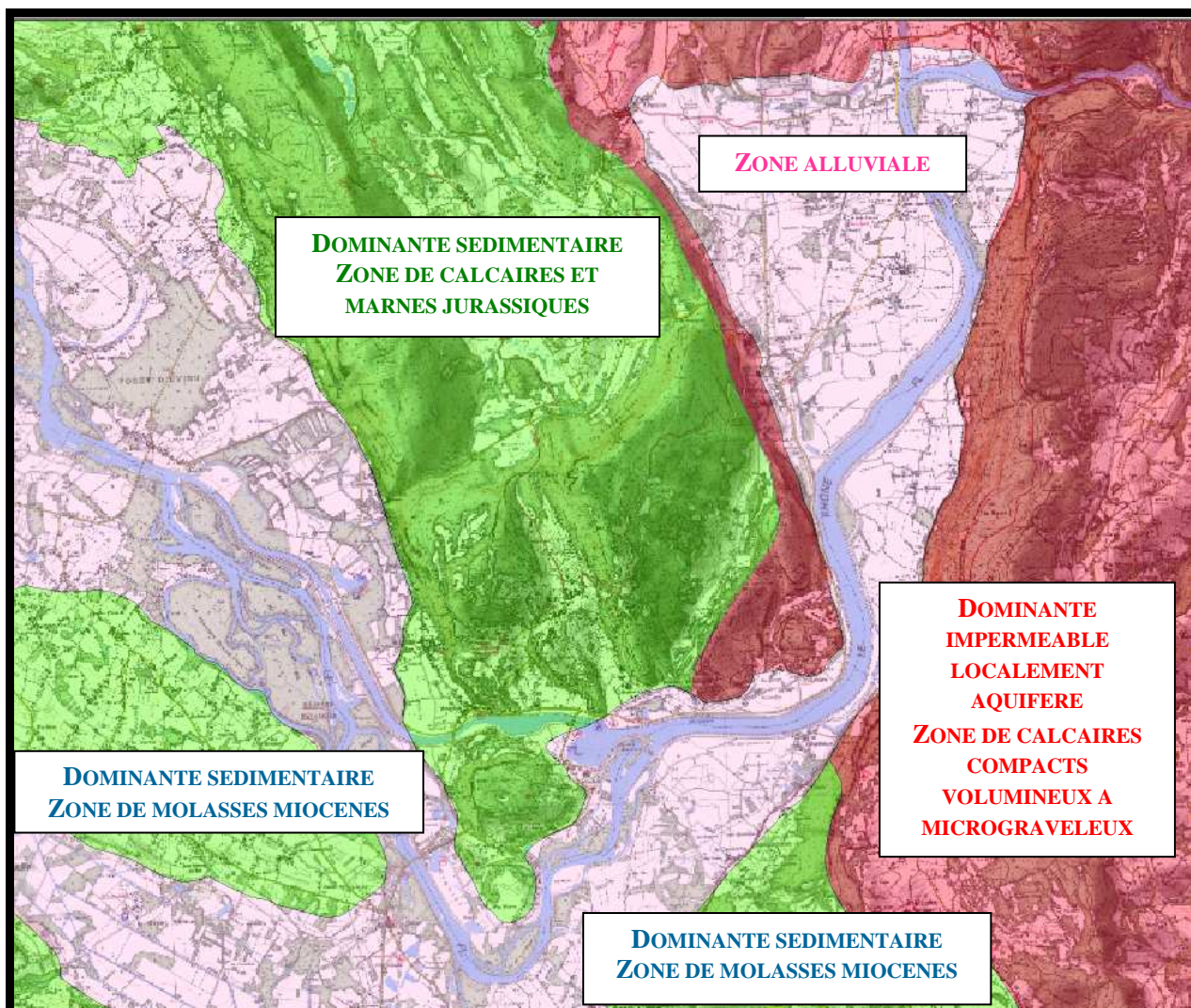
	RX-4-DP-CCP- α 1a- β 6 RX-4-DP-CCP- α 1b- β 6 RX-4-DA-CCA- α 5a- β 7 RX-4-DA-CCA- α 5b- β 7 RX-4-DP-CCA- α 5a- β 7
<p style="text-align: center;">CAL / ARG</p> Roches carbonatées (calcaires et dolomies) et marnes et roches argileuses	RX-4-DA-CCA- α 10 RX-4-DP-CCA- α 10 RX-4-DA-CCA- α 10b- β 7 RX-4-DP-CCA- α 10b- β 7
<p style="text-align: center;">ARG / SAB</p> Marnes et roches argileuses et roches sableuses et formations détritiques	RX-4-DP-CCA- α 14 RX-4-DP-CCP- α 14
<p style="text-align: center;">CAL / ARG / SAB</p> Roches carbonatées (calcaires et dolomies), marnes et roches argileuses et roches sableuses et formations détritiques	RX-4-DP-CCP- α 14a- β 7 RX-4-DP-CCA- α 14a- β 7

9.4. Sur le secteur la derivation de Brégnier-Cordon

9.4.1. Formations géologiques

On retrouve quatre formations géologiques différentes sur le secteur de la chute de Brégnier-Cordon :

- une zone alluviale qui se situe le long du cours du Rhône dont la largeur est très variable,
- une zone de calcaires compacts à volumineux à micro graveleux (zone karstique), située à l'est, au niveau de la rive gauche du fleuve. Cette zone est constituée de formations variées de l'avant pays savoyard dans le bassin versant.
- une zone de calcaires et marnes jurassiques au nord du Rhône et de son canal de dérivation
- une zone de molasses miocènes qui est fractionnée et se situe au sud du Rhône.



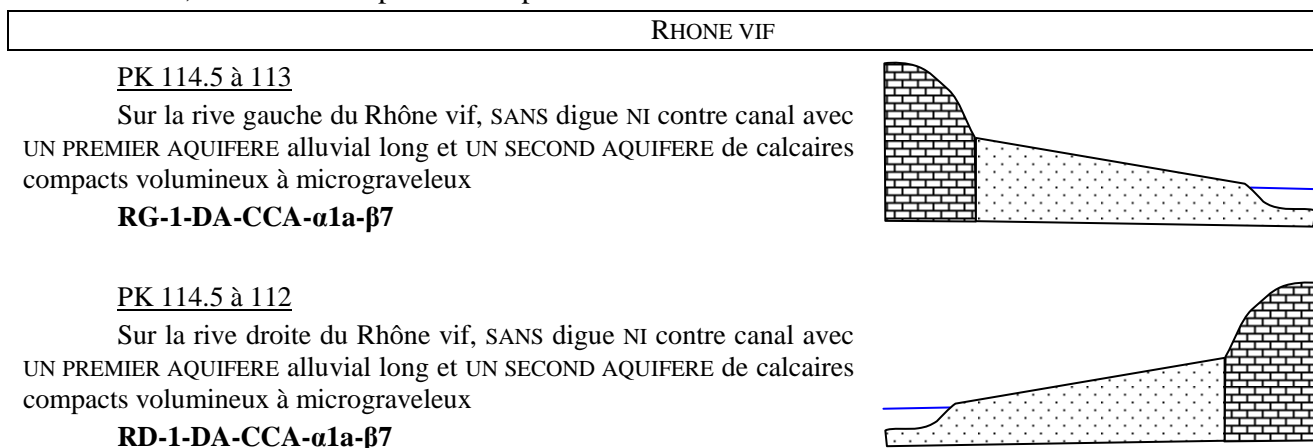
Les structures géologiques ont été déterminées à l'aide :

Données ArcMap des dominantes géologiques sur le bassin Rhône-Méditerranée-Corse de l'Agence de l'Eau RMC,

Des cartes géologiques au 1/50000 du BRGM.

9.4.2. Schématisation le long du Rhône

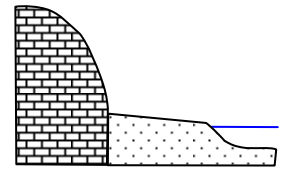
Le secteur de Brégnier-Cordon, s'étend de la confluence entre le Rhône et le Furans jusqu'au Pont d'Evieu, c'est à dire de pK 114.5 à pK 91.



PK 113 à 112

Sur la rive gauche du Rhône vif, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial court et qui rétrécit et UN SECOND AQUIFERE de calcaires compacts volumineux à micrograveleux

RD-1-DA-CCA- α 1b- β 7

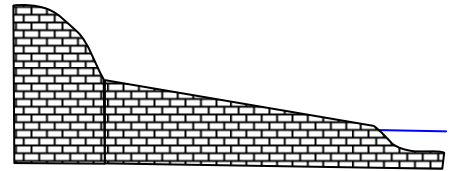


RHONE ENDIGUE

PK 112 à 110.5

Sur la rive gauche du Rhône endigué, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de calcaires compacts volumineux à micrograveleux

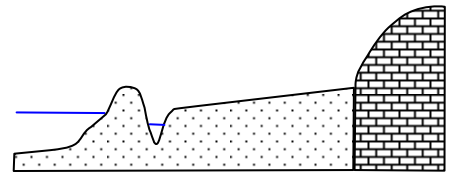
RG-2-DA-CCA- α 7



PK 112 à 109.5

Sur la rive droite du Rhône endigué, AVEC une digue ET un contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial long et UN SECOND AQUIFERE de calcaires compacts volumineux à micrograveleux

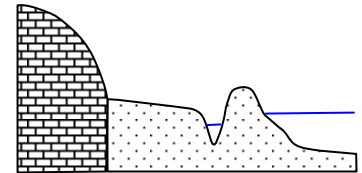
RD-2-DP-CCP- α 1a- β 7



PK 110.5 à 109.5

Sur la rive gauche du Rhône endigué, AVEC une digue ET un contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial court et qui s'agrandit et UN SECOND AQUIFERE de calcaires compacts volumineux à micrograveleux

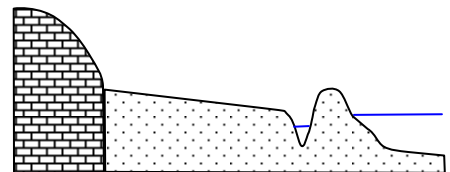
RG-2-DP-CCP- α 1b- β 7



PK 109.5 à 108

Sur la rive gauche du Rhône endigué, AVEC une digue ET un contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial long et UN SECOND AQUIFERE de calcaires compacts volumineux à micrograveleux

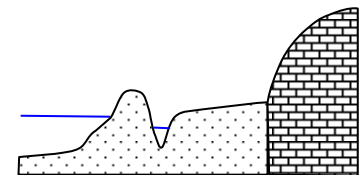
RG-2-DP-CCP- α 1a- β 7



PK 109.5 à 109

Sur la rive droite du Rhône endigué, AVEC une digue ET un contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial court et qui rétrécit et UN SECOND AQUIFERE de calcaires compacts volumineux à micrograveleux

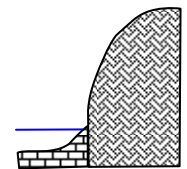
RD-2-DP-CCP- α 1b- β 7



PK 109 à 107

Sur la rive droite du Rhône endigué, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de calcaires compacts volumineux à micrograveleux très court et UN SECOND AQUIFERE de calcaires et marnes jurassiques

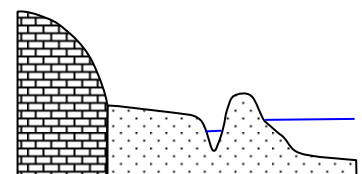
RD-2-DA-CCA- α 7b- β 10



PK 108 à 105

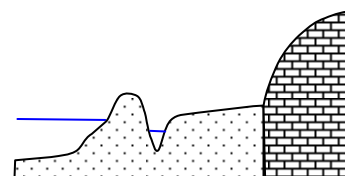
Sur la rive gauche du Rhône endigué, AVEC une digue ET un contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial court et qui rétrécit et UN SECOND AQUIFERE de calcaires compacts volumineux à micrograveleux

RG-2-DP-CCP- α 1b- β 7

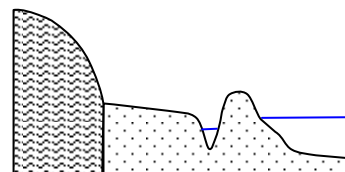


PK 107 à 103

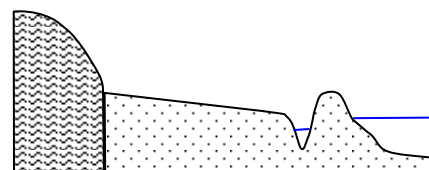
Sur la rive droite du Rhône endigué, AVEC une digue ET un contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial court et UN SECOND AQUIFERE de calcaires compacts volumineux à micrograveleux

RD-2-DP-CCP- α 1b- β 7PK 105 à 104.5

Sur la rive gauche du Rhône endigué, AVEC une digue ET un contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial court et qui s'agrandit et UN SECOND AQUIFERE de molasses miocènes

RG-2-DP-CCP α 1b- β 12PK 104.5 à 103

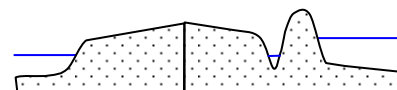
Sur la rive gauche du Rhône endigué, AVEC une digue ET un contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial long et UN SECOND AQUIFERE de molasses miocènes

RG-2-DP-CCP- α 1a- β 12

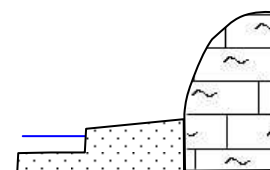
CANAL DE DERIVATION

PK 103 à 102.5

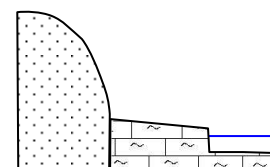
Sur la rive gauche du canal, AVEC une digue ET un contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial court et EN SECONDE PARTIE le Rhône court-circuité

RG-4-DP-CCP- α 1b- β RCPK 103 à 102.5

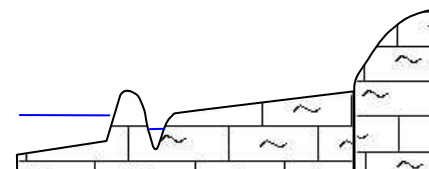
Sur la rive droite du canal, SANS digue NI un contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial court et UN SECOND AQUIFERE de calcaires et marnes jurassiques

RD-4-DA-CCA- α 1b- β 10PK 102.5 à 101.5

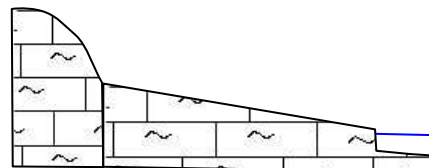
Sur la rive gauche du canal, SANS digue NI un contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de calcaires et marnes jurassiques court et UN SECOND AQUIFERE alluvial

RG-4-DA-CCA- α 10b- β 1PK 102.3 à 101.5

Sur la rive droite du canal, AVEC une digue ET un contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de calcaires et marnes jurassiques

RD-4-DP-CCP- α 10PK 101.5 à 100

Sur la rive gauche du canal, SANS digue NI un contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de calcaires et marnes jurassiques

RG-4-DA-CCA- α 10PK 101.5 à 100

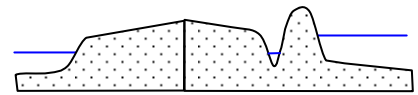
Sur la rive droite du canal, SANS digue NI un contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de calcaires et marnes jurassiques

RD-4-DA-CCA- α 10

PK 100 à 94

Sur la rive gauche du canal, AVEC une digue ET un contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial court et EN SECONDE PARTIE le Rhône court-circuité

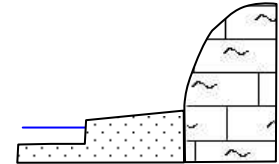
RG-4-DP-CCP- α 1b- β RC



PK 100 à 99.5

Sur la rive droite du canal, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial court et UN SECOND AQUIFERE de calcaires et marnes jurassiques

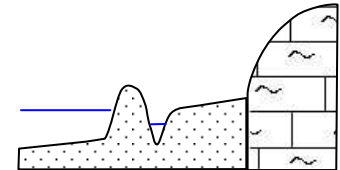
RD-4-DA-CCA- α 1b- β 10



PK 99.5 à 94

Sur la rive droite du canal, AVEC une digue ET un contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial court et UN SECOND AQUIFERE de calcaires et marnes jurassiques

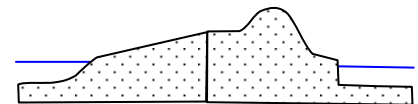
RD-4-DP-CCP- α 1b- β 10



PK 94 à 91.5

Sur la rive gauche du canal, AVEC une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial court et EN SECONDE PARTIE le Rhône court-circuité

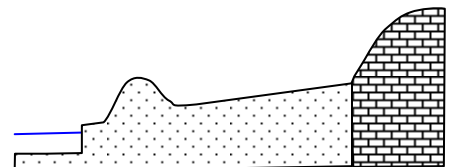
RG-4-DP-CCA- α 1b- β RC



PK 94 à 91.5

Sur la rive droite du canal, AVEC une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial assez long et UN SECOND AQUIFERE de calcaires et marnes jurassiques

RD-4-DP-CCA- α 1a- β 7

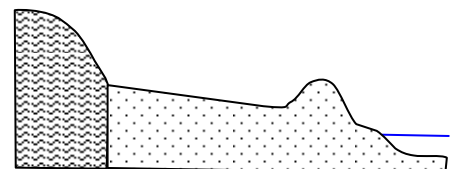


RHÔNE COURT-CIRCUITÉ

PK 103 à 102

Sur la rive gauche du Rhône court-circuité fait de quelques méandres, AVEC une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial assez long et UN SECOND AQUIFERE de molasses miocènes

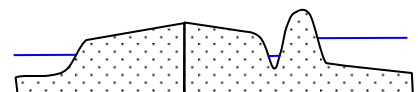
RG-3-DP-CCA- α 1a- β 12



PK 103 à 102

Sur la rive droite du Rhône court-circuité, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial court et EN SECONDE PARTIE le canal (avec une digue et un contre canal)

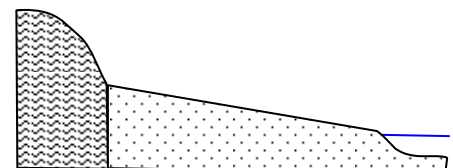
RD-3-DA-CCA- α 1b- β CD



PK 102 à 99

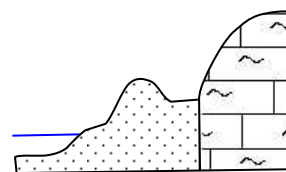
Sur la rive gauche du Rhône court-circuité, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial long et UN SECOND AQUIFERE de molasses miocènes

RG-3-DA-CCA- α 1a- β 12

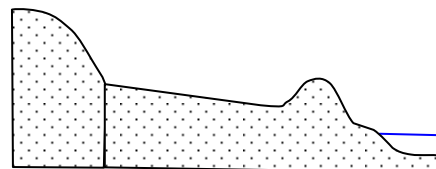


PK 102 à 99

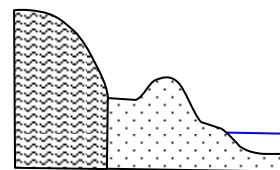
Sur la rive droite du Rhône court-circuité, AVEC une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial court et UN SECOND AQUIFERE de calcaires et marnes jurassiques

RD-3-DP-CCA- α 1a- β 10PK 99 à 98

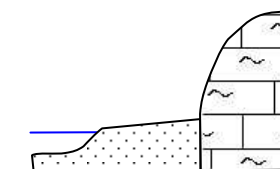
Sur la rive gauche du Rhône court-circuité, AVEC une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial

RG-3-DP-CCA- α 1PK 99 à 97

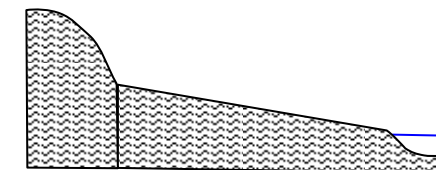
Sur la rive gauche du Rhône court-circuité, AVEC une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial court et qui rétrécit UN SECOND AQUIFERE de molasses miocènes

RG-3-DP-CCA- α 1b- β 12PK 99 à 96

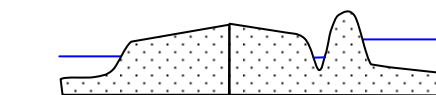
Sur la rive droite du Rhône court-circuité fait, SANS une digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial court et UN SECOND AQUIFERE de calcaires et marnes jurassiques

RD-3-DA-CCA- α 1b- β 10PK 97 à 93

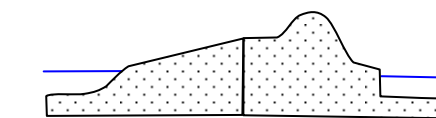
Sur la rive gauche du Rhône court-circuité, SANS une digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de molasses miocènes

RG-3-DA-CCA- α 12PK 96 à 94

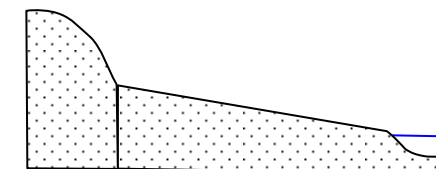
Sur la rive droite du Rhône court-circuité, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial très court et EN SECONDE PARTIE le canal (avec une digue et un contre canal)

RD-3-DA-CCA- α 1b- β CDPK 94 à 91.5

Sur la rive droite du Rhône court-circuité, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial très court et EN SECONDE PARTIE le canal (avec une digue)

RD-3-DA-CCA- α 1b- β CDPK 93 à 91.5

Sur la rive gauche du Rhône court-circuité fait de nombreux méandres, SANS une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial assez long

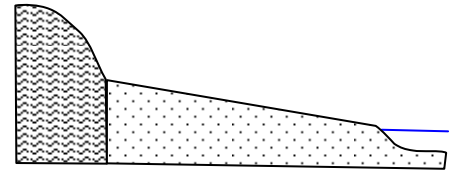
RG-3-DA-CCA- α 1

RESTITUTION

PK 91.5 à 91

Sur la rive gauche du Rhône vif, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial long et UN SECOND AQUIFERE de molasses miocènes

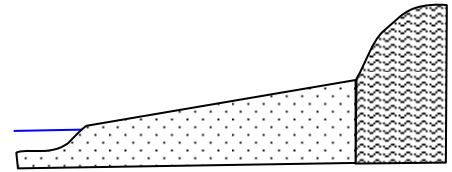
RG-1-DA-CCA- α 1a- β 12



PK 91.5 à 91

Sur la rive droite du Rhône vif, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial long et UN SECOND AQUIFERE de molasses miocènes

RD-1-DA-CCA- α 1a- β 12



Références :

- Carte IGN 1/25000
N° 3232 ET : « Belley, St Génix sur Guiers, Sud Bugey, Editions 1 – 1998
- Carte géologique du BRGM 1/50000
N° 724 : « La Tour du Pin »

9.4.3. Distinction des différentes structures géologiques

Les schématisations présentes sur le secteur sont réparties en fonction des six catégories de matériaux parentaux principaux :

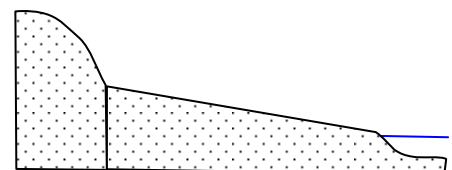
- Dépôts alluvions ou glaciaires (ou colluvions) : **all**
- Roches carbonatées (calcaires et dolomies) : **cal**
- Marnes et roches argileuses : **arg**
- Roches sableuses et formations détritiques : **sab**
- Roches limoneuses : **lim**
- Socles cristallins et cristallophylliens : **cri**

SUR LE RHONE VIF OU ENDIGUE

Dépôts alluvions ou glaciaires (ou colluvions)

Sur la rive du Rhône, SANS une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial assez long

RX-0-DA-CCA- α 1



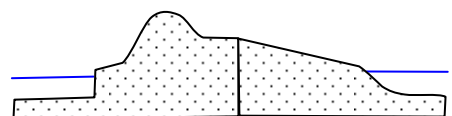
Sur la rive du Rhône, AVEC une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial assez long

RX-0-DP-CCA- α 1



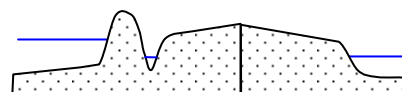
Sur la rive du Rhône, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial court et EN SECONDE PARTIE le canal (possédant digue)

RX-0-DA-CCA- α 1b- β CD



Sur la rive du Rhône, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial court et EN SECONDE PARTIE le canal (possédant digue et contre canal)

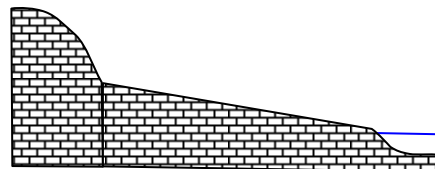
RX-0-DA-CCA- α 1b- β CD



Roches carbonatées (calcaires et dolomies)

Sur la rive du Rhône, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de calcaires compacts volumineux à micrograveleux

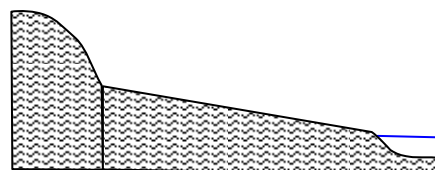
RX-0-DA-CCA- α 7



Roches sableuses et formations détritiques

Sur la rive du Rhône, SANS une digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de molasses miocènes

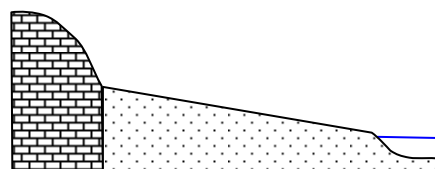
RX-0-DA-CCA- α 12



Dépôts alluvions ou glaciaires (ou colluvions) ET roches carbonatées (calcaires et dolomies)

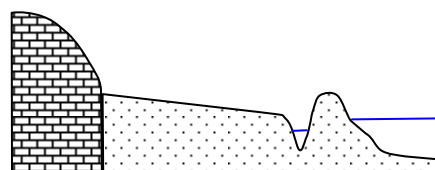
Sur la rive du Rhône, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial long et UN SECOND AQUIFERE de calcaires compacts volumineux à micrograveleux

RX-0-DA-CCA- α 1a- β 7



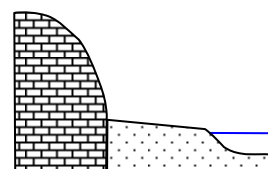
Sur la rive du Rhône, AVEC une digue ET un contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial long et UN SECOND AQUIFERE de calcaires compacts volumineux à micrograveleux

RX-0-DP-CCP- α 1a- β 7



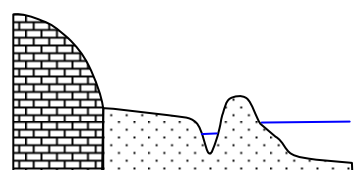
Sur la rive du Rhône, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial et UN SECOND AQUIFERE de calcaires compacts volumineux à micrograveleux

RX-0-DA-CCA- α 1b- β 7



Sur la rive du Rhône, AVEC une digue ET un contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial et UN SECOND AQUIFERE de calcaires compacts volumineux à micrograveleux

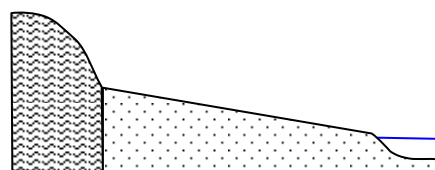
RX-0-DP-CCP- α 1b- β 7



Dépôts alluvions ou glaciaires (ou colluvions) ET roches sableuses et formations détritiques

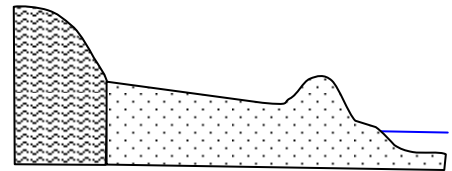
Sur la rive DU Rhône, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial long et UN SECOND AQUIFERE de molasses miocènes

RX-0-DA-CCA- α 1a- β 12



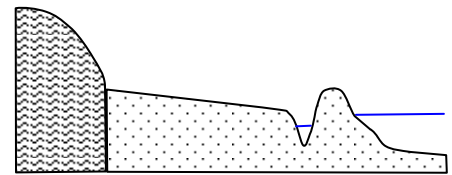
Sur la rive du Rhône, AVEC une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial long et UN SECOND AQUIFERE de molasses miocènes

RX-0-DA-CCA- α 1a- β 12



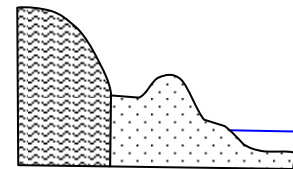
Sur la rive du Rhône, AVEC une digue ET un contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial long et UN SECOND AQUIFERE de molasses miocènes

RX-0-DP-CCP- α 1a- β 12



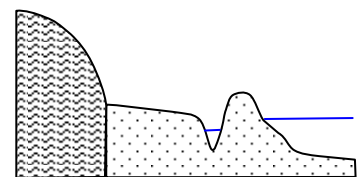
Sur la rive du Rhône, avec une digue mais sans contre canal avec un premier aquifère alluvial UN SECOND AQUIFERE de molasses miocènes

RX-0-DP-CCA- α 1b- β 12



Sur la rive du Rhône, AVEC une digue ET un contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial court et UN SECOND AQUIFERE de molasses miocènes

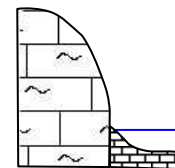
RX-0-DP-CCP α 1b- β 12



Roches carbonatées (calcaires et dolomies) ET marnes et roches argileuses

Sur la rive du Rhône, sans digue ni contre canal avec un premier aquifère de calcaires compacts volumineux à micrograveleux très court et UN SECOND AQUIFERE de calcaires et marnes jurassiques

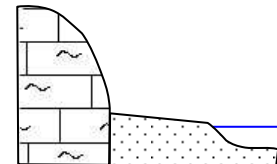
RX-0-DA-CCA- α 7b- β 10



Dépôts alluvions ou glaciaires (ou colluvions), roches carbonatées (calcaires et dolomies) ET marnes et roches argileuses

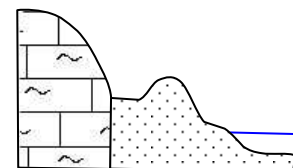
Sur la rive du Rhône, SANS une digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial court et UN SECOND AQUIFERE de calcaires et marnes jurassiques

RX-0-DA-CCA- α 1b- β 10



Sur la rive du Rhône, AVEC une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial court et UN SECOND AQUIFERE de calcaires et marnes jurassiques

RX-0-DP-CCA- α 1b- β 10

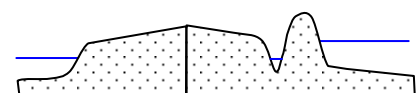


SUR LE CANAL DE DERIVATION

Dépôts alluvions ou glaciaires (ou colluvions)

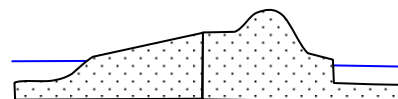
Sur la rive du canal, AVEC une digue ET un contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial court et EN SECONDE PARTIE le Rhône court-circuité

RX-4-DP-CCP- α 1b- β RC



Sur la rive du canal, AVEC une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial court et EN SECONDE PARTIE le Rhône court-circuité

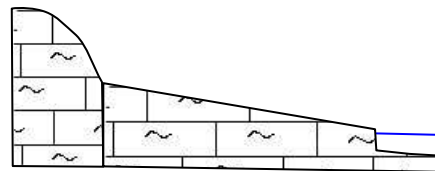
RX-4-DP-CCA- α 1b- β RC



Roches carbonatées (calcaires et dolomies) et marnes et roches argileuses

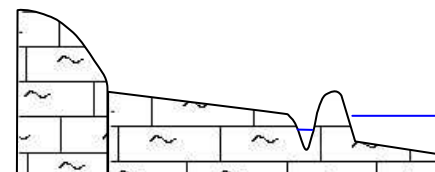
Sur la rive du canal, SANS digue NI un contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de calcaires et marnes jurassiques

RX-4-DA-CCA- α 10



Sur la rive du canal, AVEC une digue ET un contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de calcaires et marnes jurassiques

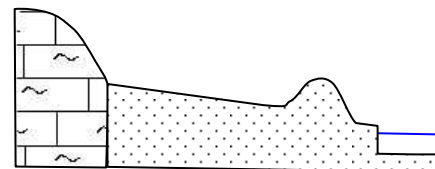
RX-4-DP-CCP- α 10



Dépôts alluvions ou glaciaires (ou colluvions), roches carbonatées (calcaires et dolomies) ET marnes et roches argileuses

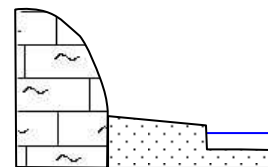
Sur la rive du canal, AVEC une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial long et UN SECOND AQUIFERE de calcaires et marnes jurassiques

RX-4-DP-CCA- α 1a- β 10



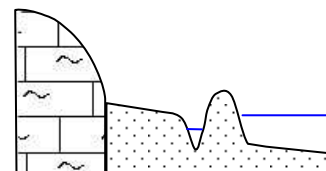
Sur la rive du canal, SANS digue NI un contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial court et UN SECOND AQUIFERE de calcaires et marnes jurassiques

RX-4-DA-CCA- α 1b- β 10



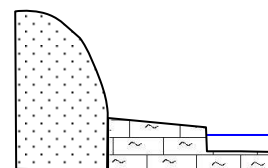
Sur la rive du canal, AVEC une digue ET un contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial court et UN SECOND AQUIFERE de calcaires et marnes jurassiques

RX-4-DP-CCP- α 1b- β 10



Sur la rive du canal, SANS digue NI un contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de calcaires et marnes jurassiques court et UN SECOND AQUIFERE alluvial

RX-4-DA-CCA- α 10b- β 1



9.4.4. Tableau récapitulatif

TYPES DE STRUCTURES GEOLOGIQUES	SCHEMATISATIONS PRESENTES SUR LE SECTEUR
SANS AMENAGEMENT	
ALL Dépôts alluvions ou glaciaires (ou colluvions)	RX-0-DA-CCA- α 1 RX-0-DP-CCA- α 1a RX-0-DA-CCA- α 1b- β CD RX-0-DA-CCA- α 1b- β CD
CAL Roches carbonatées (calcaires et dolomies)	RX-0-DA-CCA- α 7
ALL / CAL Dépôts alluvions ou glaciaires (ou colluvions), et roches	RX-0-DA-CCA- α 1a- β 7 RX-0-DA-CCA- α 1b- β 7

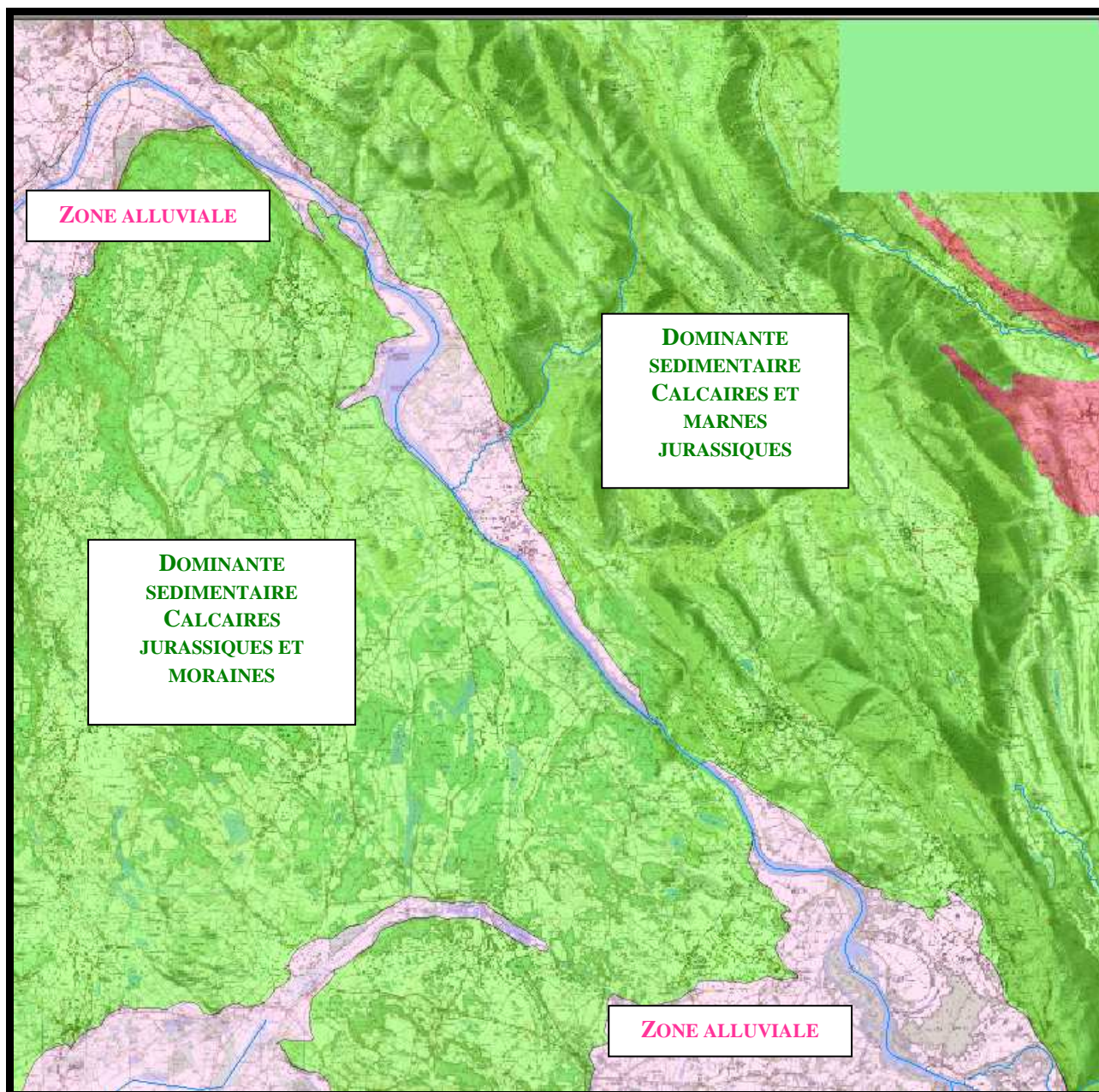
carbonatées (calcaires et dolomies)	RX-0-DP-CCP- α 1a- β 7 RX-0-DP-CCP- α 1b- β 7
SAB Roches sableuses et formations détritiques	RX-0-DA-CCA- α 12
ALL / SAB Dépôts alluvions ou glaciaires (ou colluvions) et marnes et roches argileuses	RX-0-DA-CCA- α 1a- β 10 RX-0-DA-CCA- α 1a- β 12 RX-0-DP-CCA- α 1b- β 12 RX-0-DP-CCP- α 1a- β 12 RX-0-DP-CCP α 1b- β 12
ALL / CAL / ARG Dépôts alluvions ou glaciaires (ou colluvions), roches carbonatées (calcaires et dolomies) et marnes et roches argileuses	RX-0-DA-CCA- α 1a- β 10 RX-0-DA-CCA- α 1a- β 12 RX-0-DP-CCA- α 1b- β 12 RX-0-DP-CCP- α 1a- β 12 RX-0-DP-CCP α 1b- β 12
CAL / ARG Roches carbonatées (calcaires et dolomies) et marnes et roches argileuses	RX-0-DA-CCA- α 7b- β 10
AVEC AMENAGEMENT	
ALL Dépôts alluvions ou glaciaires (ou colluvions)	RX-4-DP-CCP- α 1b- β RC RX-4-DP-CCA- α 1b- β RC
CAL / ARG Roches carbonatées (calcaires et dolomies) et marnes et roches argileuses	RX-4-DA-CCA- α 10 RX-4-DP-CCP- α 10
ALL / CAL / ARG Dépôts alluvions ou glaciaires (ou colluvions), roches carbonatées (calcaires et dolomies) et marnes et roches argileuses	RX-4-DA-CCA- α 1a- β 10 RX-4-DA-CCA- α 1b- β 10 RX-4-DP-CCP- α 1b- β 10 RX-4-DA-CCA- α 10b- β 1

9.5. Sur le secteur du pont d'Evieu à Sault-Brenaz (Port Lagnieux)

9.5.1. Formations géologiques

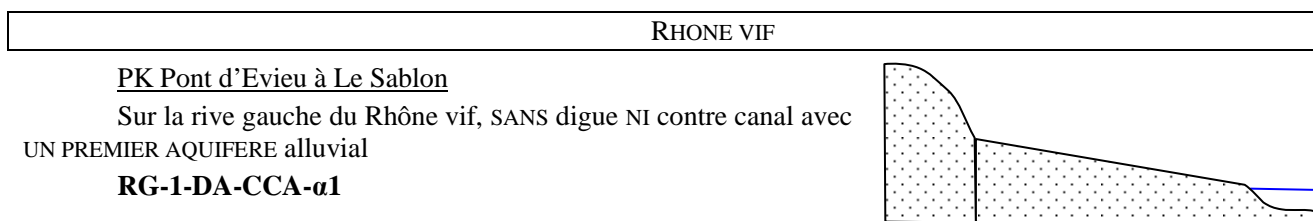
On retrouve trois formations géologiques différentes sur le secteur :

- une zone alluviale qui se situe le long du Rhône dont la largeur est très variable,
- une zone de calcaires et marnes jurassiques en rive droite très étendue,
- une zone de calcaires jurassiques et moraines en rive gauche et de même très étendue.



9.5.2. Schématisation le long du Rhône

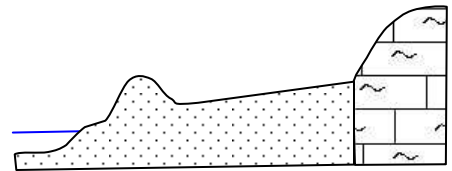
Ce secteur s'étend de la fin de la chute de Brégnier-Cordon (Pont d'Evieu) en aval de la chute de Sault-Brénaz (Port Lagnieux), c'est à dire de pK 114.5 à pK ??



PK Pont d'Evieu à Le Sauget

Sur la rive droite du Rhône vif, AVEC une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial long et UN SECOND AQUIFERE de calcaires et marnes jurassiques

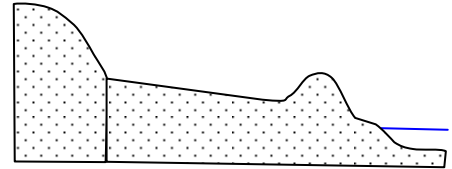
RD-1-DP-CCA- α 1a- β 10



PK Le Sablon à Brangues

Sur la rive gauche du Rhône vif, AVEC une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial

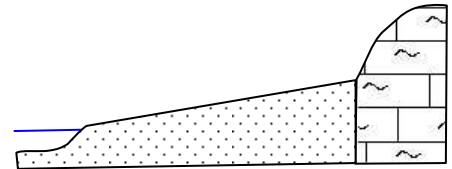
RG-1-DP-CCA- α 1



PK Le Sauget à Lepieu

Sur la rive droite du Rhône vif, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial long et UN SECOND AQUIFERE de calcaires et marnes jurassiques

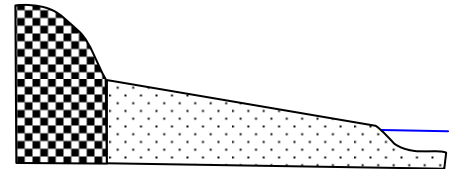
RD-1-DA-CCA- α 1a- β 10



PK Brangues au Pont Suspendu

Sur la rive gauche du Rhône vif, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial long et UN SECOND AQUIFERE de calcaires jurassiques et de moraines

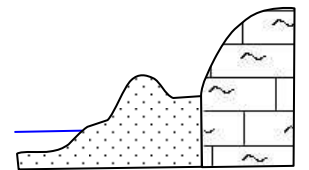
RG-1-DA-CCA- α 1a- β 9



PK Lepieu à Petit Port

Sur la rive droite du Rhône vif, AVEC une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial court qui rétrécit et UN SECOND AQUIFERE de calcaires et marnes jurassiques

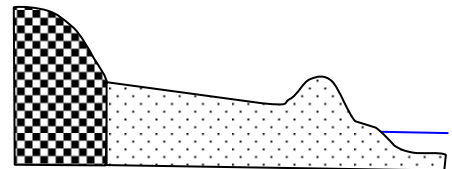
RD-1-DP-CCA- α 1b- β 10



PK Pont Suspendu à Tours

Sur la rive gauche du Rhône vif, AVEC une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial long et UN SECOND AQUIFERE de calcaires jurassiques et de moraines

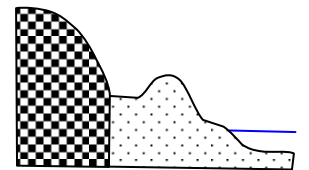
RG-1-DP-CCA- α 1a- β 9



PK Tours à Le Chêne

Sur la rive gauche du Rhône vif, AVEC une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial court qui rétrécit et UN SECOND AQUIFERE de calcaires jurassiques et de moraines

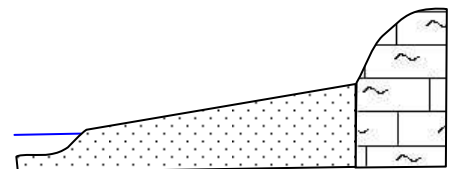
RG-1-DP-CCA- α 1b- β 9



PK Petit Port à la Plaine

Sur la rive droite du Rhône vif, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial long qui s'agrandit et UN SECOND AQUIFERE de calcaires et marnes jurassiques

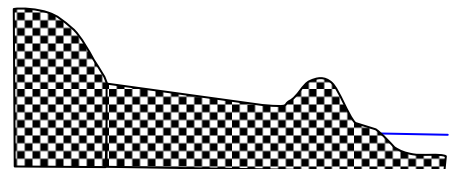
RD-1-DA-CCA- α 1a- β 10



PK Le Chêne à la Cabiotte

Sur la rive gauche du Rhône vif, AVEC une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de calcaires jurassiques et de moraines

RG-1-DP-CCA- α 9



PK la Cabiote à Belvédère

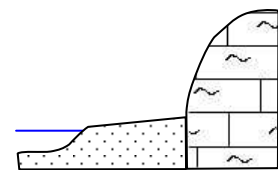
Sur la rive gauche du Rhône vif, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de calcaires jurassiques et de moraines

RG-1-DA-CCA- α 9

PK la Plaine à le Fallet

Sur la rive droite du Rhône vif, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial court qui rétrécit et UN SECOND AQUIFERE de calcaires et marnes jurassiques

RD-1-DA-CCA- α 1b- β 10

PK le Fallet à le Pré du Loup

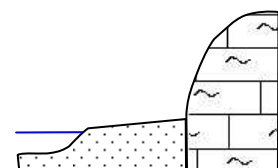
Sur la rive droite du Rhône vif, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de calcaires et marnes jurassiques

RD-1-DA-CCA- α 10

PK le Pré du Loup à L'Épinier

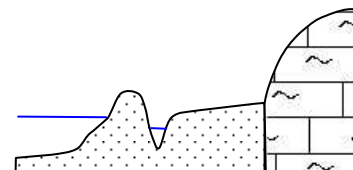
Sur la rive droite du Rhône vif, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial court et UN SECOND AQUIFERE de calcaires et marnes jurassiques

RD-1-DA-CCA- α 1b- β 10

PK L'Épinier à Allégny

Sur la rive droite du Rhône vif, AVEC une digue ET un contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial court et UN SECOND AQUIFERE de calcaires et marnes jurassiques

RD-1-DP-CCP- α 1b- β 7

PK Belvédère à la Centrale Hydroélectrique

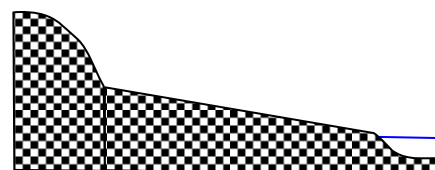
Sur la rive gauche du Rhône vif, AVEC une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de calcaires jurassiques et de moraines

RG-1-DP-CCA- α 9

PK la Centrale Hydroélectrique à Mermont

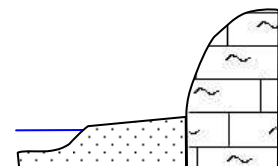
Sur la rive gauche du Rhône vif, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de calcaires jurassiques et de moraines

RG-1-DA-CCA- α 9

PK Allégny à la route D19

Sur la rive droite du Rhône vif, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial court et UN SECOND AQUIFERE de calcaires et marnes jurassiques

RD-1-DA-CCA- α 1b- β 10



RHONE ENDIGUE

PK Mermont à Bourchanin

Sur la rive gauche du Rhône endigué, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de calcaires jurassiques et de moraines

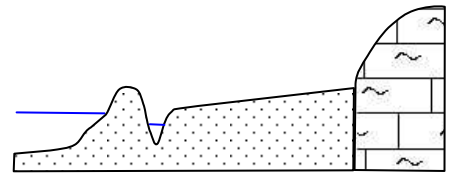
RG-2-DA-CCA- α 9



PK la route D19 à Le Chanet

Sur la rive droite du Rhône endigué, AVEC une digue ET un contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial long et UN SECOND AQUIFERE de calcaires et marnes jurassiques

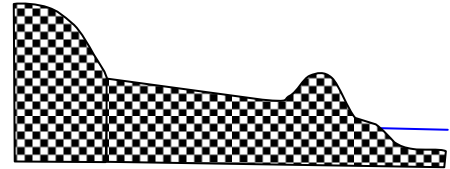
RD-2-DP-CCP- α 1a- β 10



PK Bourchanin à Montalieu-Vercieu

Sur la rive gauche du Rhône endigué, AVEC une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de calcaires jurassiques et de moraines

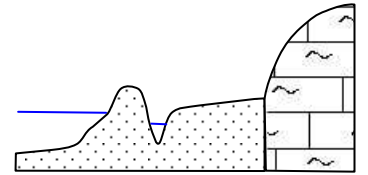
RG-2-DP-CCA- α 9



PK Le Chanet à Les Terres Rondes

Sur la rive droite du Rhône endigué, AVEC une digue ET un contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial court qui rétrécit et UN SECOND AQUIFERE de calcaires et marnes jurassiques

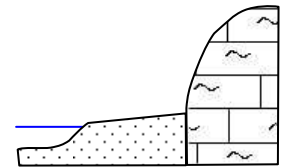
RD-2-DP-CCP- α 1b- β 10



PK Les Terres Rondes à Les Terres Rondes (peu après)

Sur la rive droite du Rhône endigué, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial court et UN SECOND AQUIFERE de calcaires et marnes jurassiques

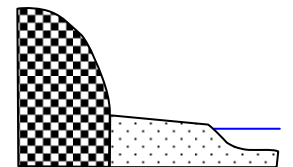
RD-2-DA-CCA- α 1b- β 10



PK Montalieu-Vercieu au Camping

Sur la rive gauche du Rhône endigué, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial court et UN SECOND AQUIFERE de calcaires jurassiques et de moraines

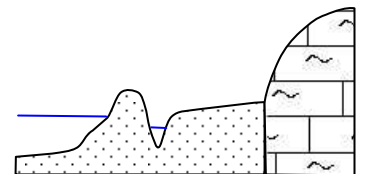
RG-2-DA-CCA- α 1b- β 9



PK Les Terres Rondes (peu après) à Pompière

Sur la rive droite du Rhône endigué, AVEC une digue ET un contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial court et UN SECOND AQUIFERE de calcaires et marnes jurassiques

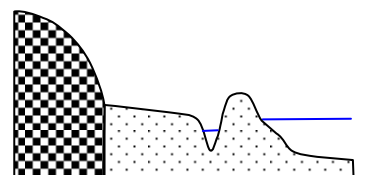
RD-2-DP-CCP- α 1b- β 10



PK Camping à Port Briand

Sur la rive gauche du Rhône endigué, AVEC une digue ET un contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial court et UN SECOND AQUIFERE de calcaires jurassiques et de moraines

RG-2-DP-CCP- α 1b- β 9



PK Port Briand au Barrage Villebois

Sur la rive gauche du Rhône endigué, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de calcaires jurassiques et de moraines

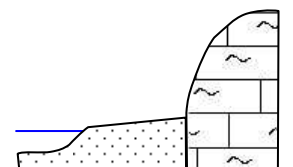
RG-2-DA-CCA- α 9



PK Pompière au Barrage Villebois

Sur la rive droite du Rhône endigué, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial court et UN SECOND AQUIFERE de calcaires et marnes jurassiques

RD-2-DA-CCA- α 1b- β 10

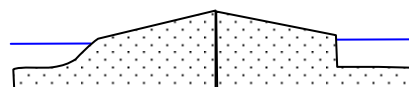


CANAL DE DERIVATION

PK Barrage de Villebois à La Pérolière

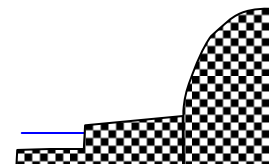
Sur la rive gauche du canal, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial très court et EN SECONDE PARTIE le Rhône court-circuité

RG-4-DA-CCA- α 1b- β RC

PK Barrage de Villebois à La Pérolière

Sur la rive droite du canal, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de calcaires jurassiques et de moraines

RD-4-DA-CCA- α 9

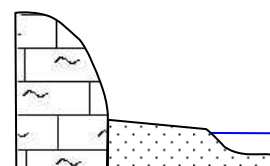


RHONE COURT-CIRCUITE

PK Barrage de Villebois à La Pérolière

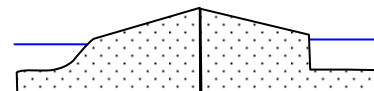
Sur la rive gauche du Rhône court-circuité, SANS digue NI un contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial court et UN SECOND AQUIFERE de calcaires et marnes jurassiques

RG-3-DA-CCA- α 1b- β 10

PK Barrage de Villebois à La Pérolière

Sur la rive droite du Rhône court-circuité, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial très court et EN SECONDE PARTIE le canal de dérivation

RD-3-DA-CCA- α 1b- β CD

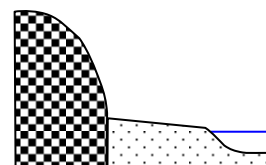


RESTITUTION

PK La Pérolière à Le Saule

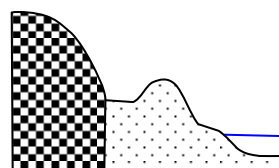
Sur la rive gauche du Rhône vif, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial court, et UN SECOND AQUIFERE de calcaires jurassiques et de moraines

RG-1-DA-CCA- α 1b- β 9

PK Le Saule (lieu dit) à Le Bois Brûlé

Sur la rive gauche du Rhône vif, AVEC une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial court et qui rétrécit UN SECOND AQUIFERE de calcaires jurassiques et de moraines

RG-1-DP-CCA- α 1b- β 9

PK Le Bois Brûlé à Vetrieu

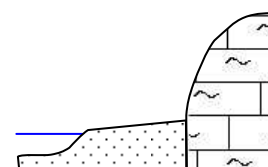
Sur la rive gauche du Rhône vif, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial de calcaires jurassiques et de moraines

RG-1-DA-CCA- α 9

PK La Pérolière à La Loye

Sur la rive droite du Rhône vif, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial court qui s'agrandit, et UN SECOND AQUIFERE de calcaires et marnes jurassiques

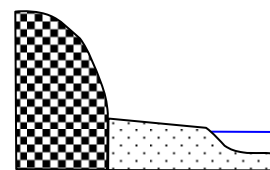
RD-1-DA-CCA- α 1b- β 10



PK Vetrieu à Port Lagnieu

Sur la rive gauche du Rhône vif, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial court, et UN SECOND AQUIFERE de calcaires jurassiques et de moraines

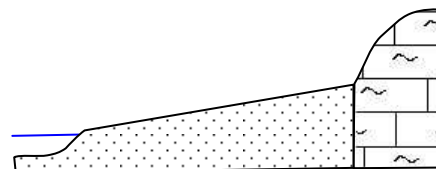
RG-1-DA-CCA- α 1b- β 9



PK La Loye à Port Lagnieu

Sur la rive droite du Rhône vif, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial long et UN SECOND AQUIFERE de calcaires et marnes jurassiques

RD-1-DA-CCA- α 1a- β 10



Références :

- Carte IGN 1/25000
N° 3232 ET : « Belley, St Génix sur Guiers, Sud Bugey », Editions 1 – 1998
- Carte IGN 1/25000
N° 3231 O : « Montalieu-Vercieu », Editions 1 – 1998
- Carte IGN 1/25000
N° 3231 OT : « Ambérieu-en Bugey, Champagne-en-Valromey, Massif du Bugey », Editions 2 – 2004
- Carte IGN 1/25000
N° 3131 E : « Crémieu », Editions 3 – 1991
- Carte géologique du BRGM 1/50000, N° 724 : « La Tour du Pin »

9.5.3. Distinction des différentes structures géologiques

Les schématisations présentes sur le secteur sont réparties en fonction des six catégories de matériaux parentaux principaux :

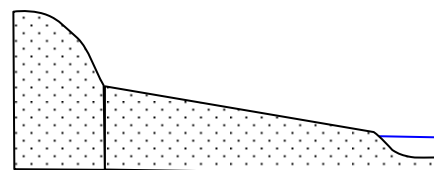
- Dépôts alluvions ou glaciaires (ou colluvions) : **all**
- Roches carbonatées (calcaires et dolomies) : **cal**
- Marnes et roches argileuses : **arg**
- Roches sableuses et formations détritiques : **sab**
- Roches limoneuses : **lim**
- Socles cristallins et cristallophylliens : **cri**

SUR LE RHONE VIF OU ENDIGUE

Dépôts alluvions ou glaciaires (ou colluvions)

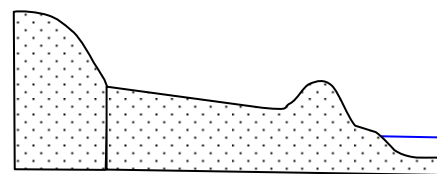
Sur la rive du Rhône, SANS une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial

RX-0-DA-CCA- α 1



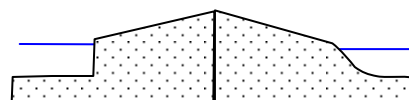
Sur la rive du Rhône, AVEC une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial

RX-0-DP-CCA- α 1a



Sur la rive du Rhône, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial court et EN SECONDE PARTIE le canal de dérivation

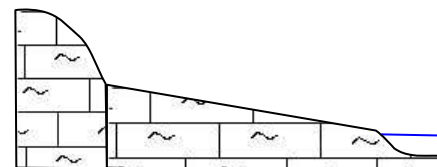
RX-0-DA-CCA- α 1b- β CD



Roches carbonatées (calcaires et dolomies) ET marnes et roches argileuses

Sur la rive du Rhône, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de calcaires et marnes jurassiques

RX-0-DA-CCA- α 10



Roches carbonatées (calcaires et dolomies) ET roches sableuses et formations détritiques

Sur la rive du Rhône, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de calcaires jurassiques et de moraines

RX-0-DA-CCA- α 9



Sur la rive du Rhône, AVEC une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de calcaires jurassiques et de moraines

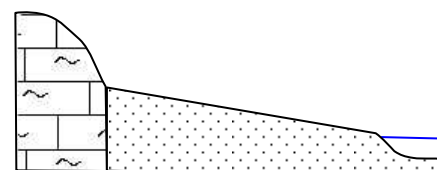
RX-0-DP-CCA- α 9



Dépôts alluvions ou glaciaires (ou colluvions), roches carbonatées (calcaires et dolomies) ET marnes et roches argileuses

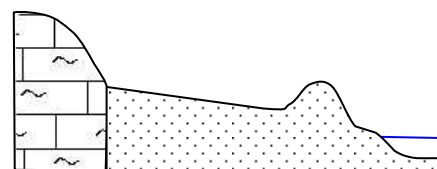
Sur la rive du Rhône, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial long et UN SECOND AQUIFERE de calcaires et marnes jurassiques

RX-0-DA-CCA- α 1a- β 10



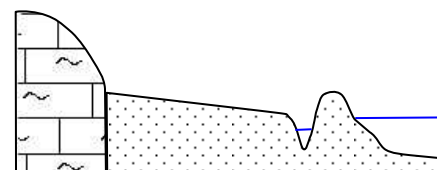
Sur la rive du Rhône, AVEC une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial long et UN SECOND AQUIFERE de calcaires et marnes jurassiques

RX-0-DP-CCA- α 1a- β 10



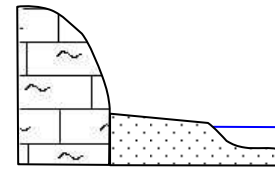
Sur la rive du Rhône, AVEC une digue ET un contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial long et UN SECOND AQUIFERE de calcaires et marnes jurassiques

RX-0-DP-CCP- α 1a- β 10



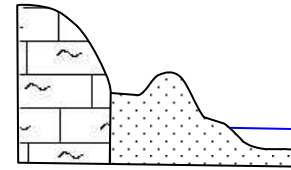
Sur la rive du Rhône, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial court et UN SECOND AQUIFERE de calcaires et marnes jurassiques

RX-0-DA-CCA- α 1b- β 10



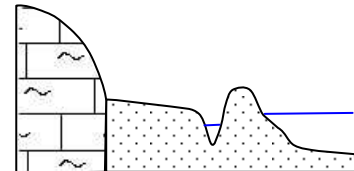
Sur la rive du Rhône, AVEC une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial court et UN SECOND AQUIFERE de calcaires et marnes jurassiques

RX-0-DP-CCA- α 1b- β 10



Sur la rive du Rhône, AVEC une digue ET un contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial court et UN SECOND AQUIFERE de calcaires et marnes jurassiques

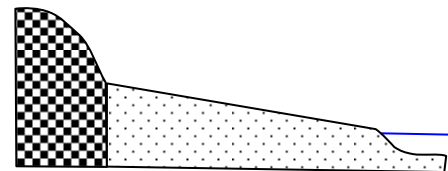
RX-0-DP-CCP- α 1b- β 10



Dépôts alluvions ou glaciaires (ou colluvions), roches carbonatées (calcaires et dolomies) ET roches sableuses et formations détritiques

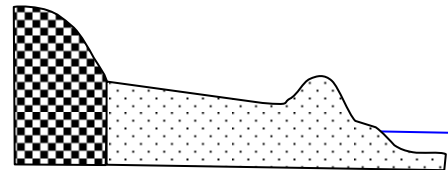
Sur la rive du Rhône, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial long et UN SECOND AQUIFERE de calcaires jurassiques et de moraines

RX-0-DA-CCA- α 1a- β 9



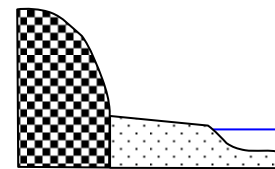
Sur la rive du Rhône, AVEC une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial long et UN SECOND AQUIFERE de calcaires jurassiques et de moraines

RX-0-DP-CCA- α 1a- β 9



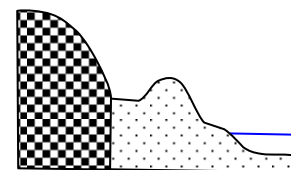
Sur la rive du Rhône, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial court et UN SECOND AQUIFERE de calcaires jurassiques et de moraines

RX-0-DA-CCA- α 1b- β 9



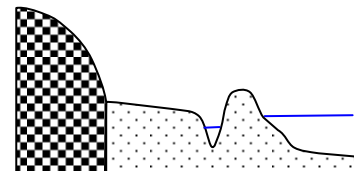
Sur la rive du Rhône, AVEC une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial court et UN SECOND AQUIFERE de calcaires jurassiques et de moraines

RX-0-DP-CCA- α 1b- β 9



Sur la rive du Rhône, AVEC une digue ET un contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial court et UN SECOND AQUIFERE de calcaires jurassiques et de moraines

RX-0-DP-CCP- α 1b- β 9

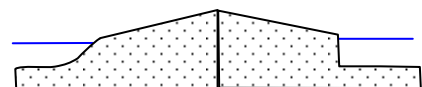


SUR LE CANAL DE DERIVATION

Dépôts alluvions ou glaciaires (ou colluvions)

Sur la rive du canal, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial court et EN SECONDE PARTIE le Rhône court-circuité

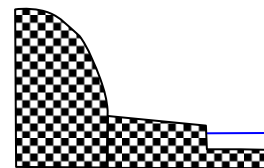
RX-4-DA-CCA- α 1b- β RC



Roches carbonatées (calcaires et dolomies) ET roches sableuses et formations détritiques

Sur la rive du canal, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de calcaires jurassiques et de moraines

RX-4-DA-CCA-α9



9.5.4. Tableau récapitulatif

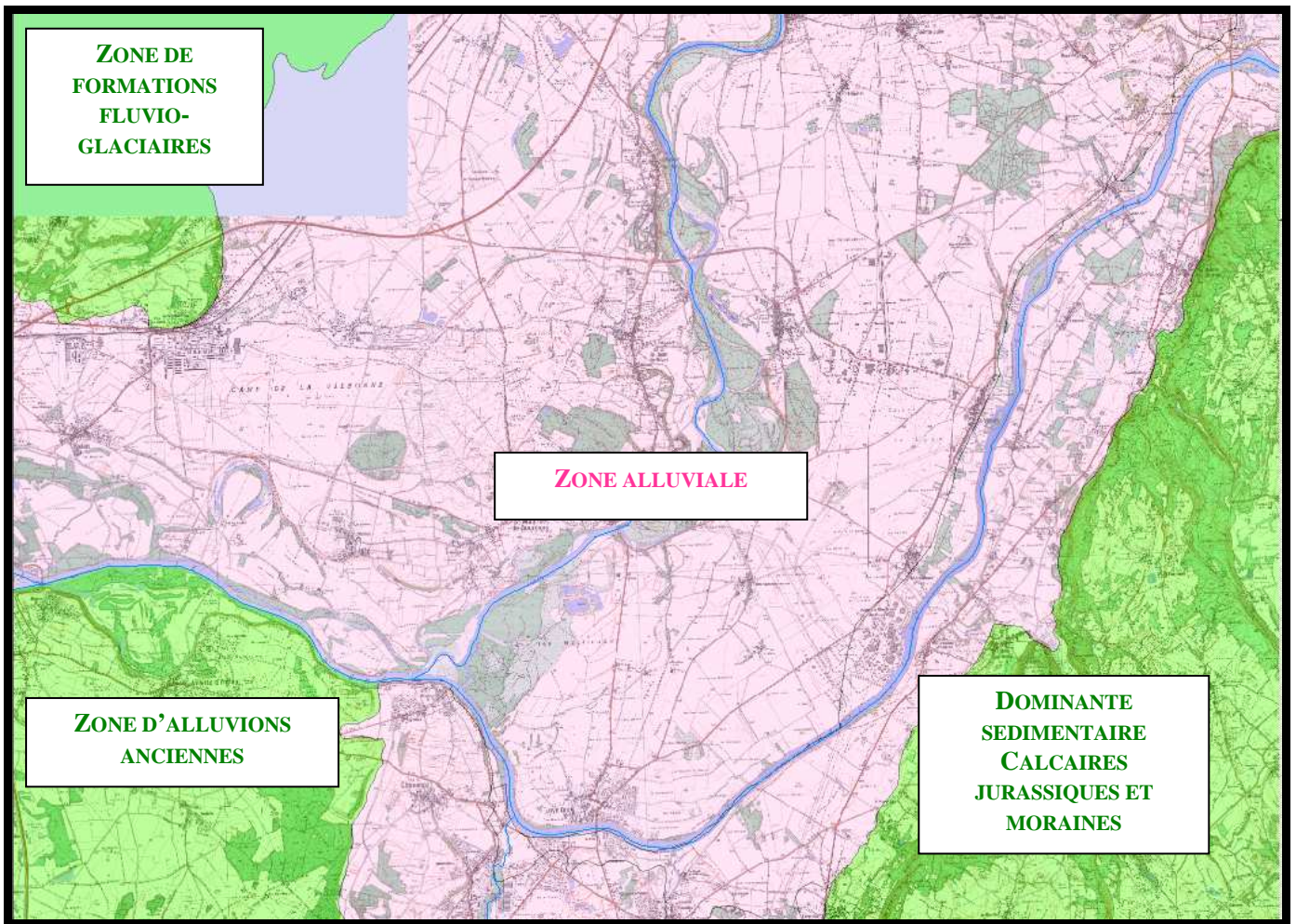
TYPES DE STRUCTURES GEOLOGIQUES	SCHEMATISATIONS PRESENTES SUR LE SECTEUR
SANS AMENAGEMENT	
ALL Dépôts alluvions ou glaciaires (ou colluvions)	RX-0-DA-CCA-α1 RX-0-DP-CCA-α1a RX-0-DA-CCA-α1b-βCD
CAL / SAB Roches carbonatées (calcaires et dolomies) et roches sableuses et formations détritiques	RX-0-DA-CCA-α1 RX-0-DP-CCA-α1a RX-0-DA-CCA-α1b-βCD
ALL / CAL / SAB Dépôts alluvions ou glaciaires (ou colluvions), roches carbonatées (calcaires et dolomies) et roches sableuses et formations détritiques	RX-0-DA-CCA-α1a-β9 RX-0-DA-CCA-α1b-β9 RX-0-DP-CCA-α1a-β9 RX-0-DP-CCA-α1b-β9 RX-0-DP-CCP-α1b-β9
CAL / ARG Roches carbonatées (calcaires et dolomies) et marnes et roches argileuses	RX-0-DA-CCA-α10
ALL / CAL / ARG Dépôts alluvions ou glaciaires (ou colluvions), roches carbonatées (calcaires et dolomies) et marnes et roches argileuses	RX-0-DA-CCA-α1a-β10 RX-0-DA-CCA-α1b-β10 RX-0-DP-CCA-α1a-β10 RX-0-DP-CCA-α1b-β10 RX-0-DP-CCP-α1a-β10 RX-0-DP-CCP-α1b-β7
AVEC AMENAGEMENT	
ALL Dépôts alluvions ou glaciaires (ou colluvions)	RX-4-DA-CCA-α1b-βRC
CAL / SAB Roches carbonatées (calcaires et dolomies) et roches sableuses et formations détritiques	RX-4-DA-CCA-α9

9.6. Sur le secteur de Port Lagnieux au Pont de Jonc

9.6.1. Formations géologiques

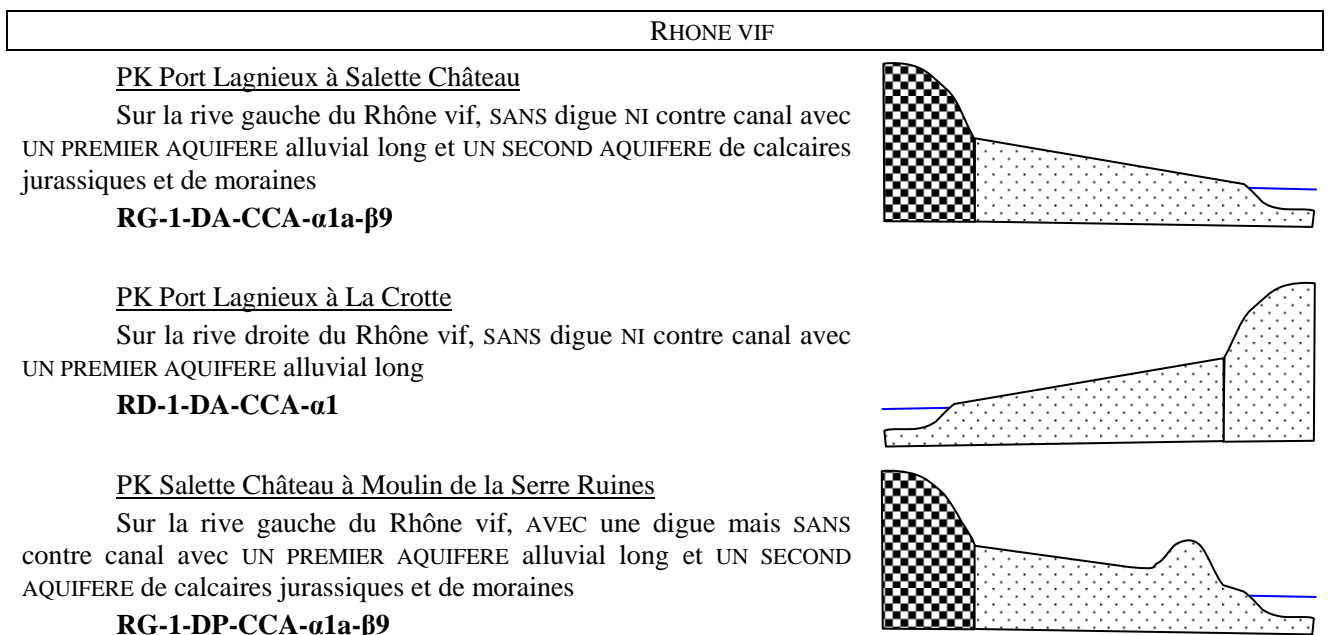
On retrouve quatre formations géologiques différentes sur le secteur :

- une zone alluviale qui se situe le long du Rhône dont la largeur est assez grande,
- une zone de calcaires et marnes jurassiques en rive gauche, à l'est de fleuve,
- une zone d'alluvions anciennes d'après les cartes géologiques,
- une zone de formations fluvio-glaciaires située au nord du cours d'eau.



9.6.2. Schématisation le long du Rhône

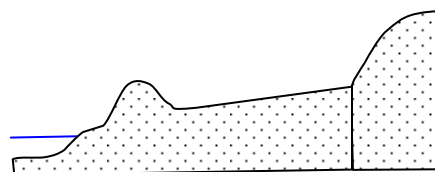
Ce secteur s'étend de la fin de la chute de Sault-Brenaz, c'est-à-dire au Port Lagnieux au Pont de Jonc. Il ne semble pas y avoir d'influence des canaux du secteur de Jons. Le Rhône est donc considéré comme vif.



PK La Crotte à Montaplan

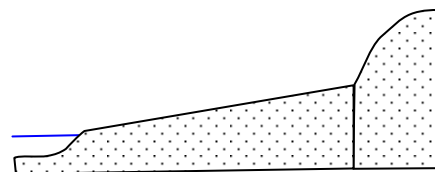
Sur la rive droite du Rhône vif, AVEC une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial

RD-1-DP-CCA- α 1

PK Montaplan à St Vulbas

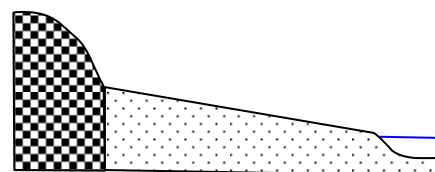
Sur la rive droite du Rhône vif, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial

RD-1-DA-CCA- α 1

PK Moulin de la Serre Ruines à Grand Molard

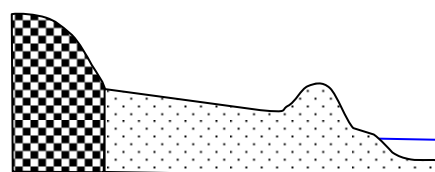
Sur la rive gauche du Rhône vif, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial long et UN SECOND AQUIFERE de calcaires jurassiques et de moraines

RG-1-DA-CCA- α 1a- β 9

PK Grand Molard à Le Moulin Peillard

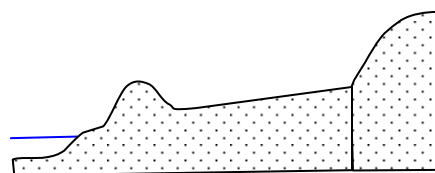
Sur la rive gauche du Rhône vif, AVEC une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial long et UN SECOND AQUIFERE de calcaires jurassiques et de moraines

RG-1-DP-CCA- α 1a- β 9

PK St Vulbas à Le Moulin Peillard

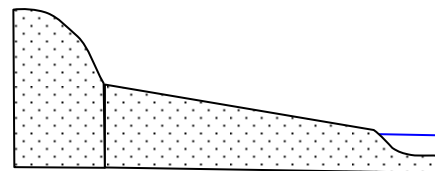
Sur la rive droite du Rhône vif, AVEC une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial

RD-1-DP-CCA- α 1

PK Le Moulin Peillard à la Grande Vigne

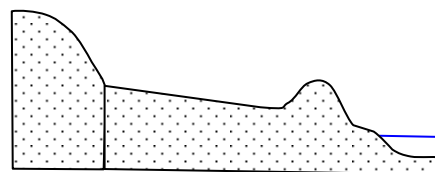
Sur la rive gauche du Rhône vif, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial

RG-1-DA-CCA- α 1

PK la Grande Vigne à Montet

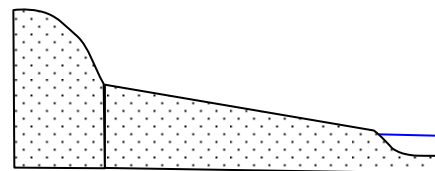
Sur la rive gauche du Rhône vif, AVEC une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial

RG-1-DP-CCA- α 1

PK Montet à Anthon

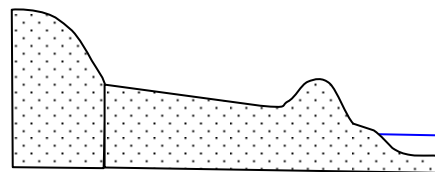
Sur la rive gauche du Rhône vif, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial

RG-1-DA-CCA- α 1

PK Anthon à le Clos

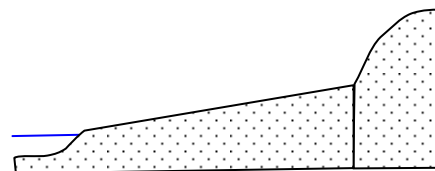
Sur la rive gauche du Rhône vif, AVEC une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial

RG-1-DP-CCA- α 1

PK Le Moulin Peillard à les Vorges

Sur la rive droite du Rhône vif, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial long

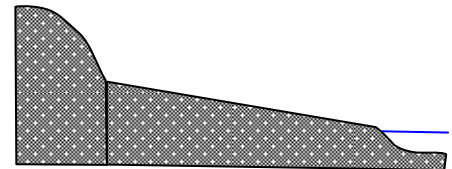
RD-1-DA-CCA- α 1



PK le Clos à Pont de Jons

Sur la rive gauche ET le Rhône vif, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE d'alluvions anciennes

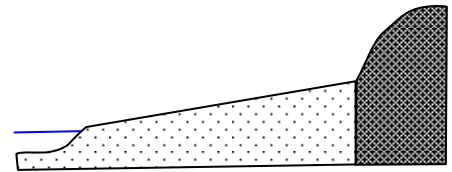
RG-1-DA-CCA-α3



PK les Vorges à Pont de Jons

Sur la rive droite du Rhône vif, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial long et UN SECOND AQUIFERE de formations fluvio-glaciaires

RD-1-DA-CCA-α1a-β5



Références :

- Carte IGN 1/25000
N° 3131 E : « Crémieu », Editions 3 – 1991
- Carte IGN 1/25000
N° 3131 O : « Meyzieu, Montluel », Editions 4 – 1995
- Carte géologique Les Mines 1/320000
Feuille 23, 1939

9.6.3. Distinction des différentes structures géologiques

Les schématisations présentes sur le secteur sont réparties en fonction des six catégories de matériaux parentaux principaux :

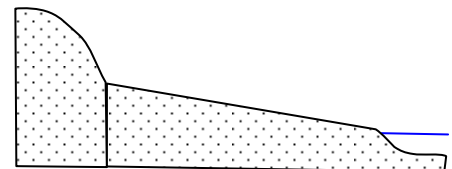
- Dépôts alluvions ou glaciaires (ou colluvions) : **all**
- Roches carbonatées (calcaires et dolomies) : **cal**
- Marnes et roches argileuses : **arg**
- Roches sableuses et formations détritiques : **sab**
- Roches limoneuses : **lim**
- Socles cristallins et cristallophylliens : **cri**

SUR LE RHONE VIF

Dépôts alluvions ou glaciaires (ou colluvions)

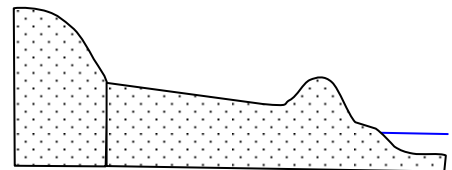
Sur la rive du Rhône, SANS une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial

RX-0-DA-CCA-α1



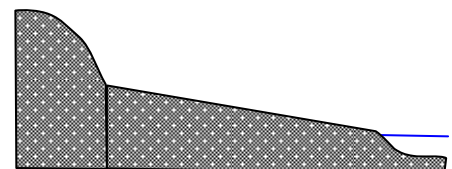
Sur la rive du Rhône, AVEC une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial

RX-0-DP-CCA-α1a



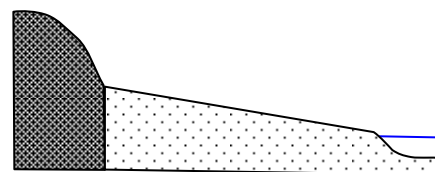
Sur la rive du Rhône, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE d'alluvions anciennes

RX-0-DA-CCA-α3



Sur la rive du Rhône, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial long et UN SECOND AQUIFERE de formations fluvio-glaciaires

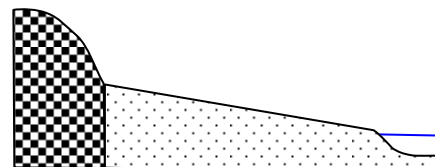
RX-0-DA-CCA- α 1a- β 5



Dépôts alluvions ou glaciaires (ou colluvions), roches carbonatées (calcaires et dolomies) ET roches sableuses et formations détritiques

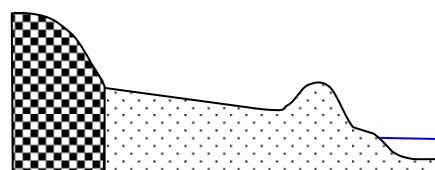
Sur la rive du Rhône, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial long et UN SECOND AQUIFERE de calcaires jurassiques et de moraines

RX-0-DA-CCA- α 1a- β 9



Sur la rive du Rhône, AVEC une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial long et UN SECOND AQUIFERE de calcaires jurassiques et de moraines

RX-0-DP-CCA- α 1a- β 9



9.6.4. Tableau récapitulatif

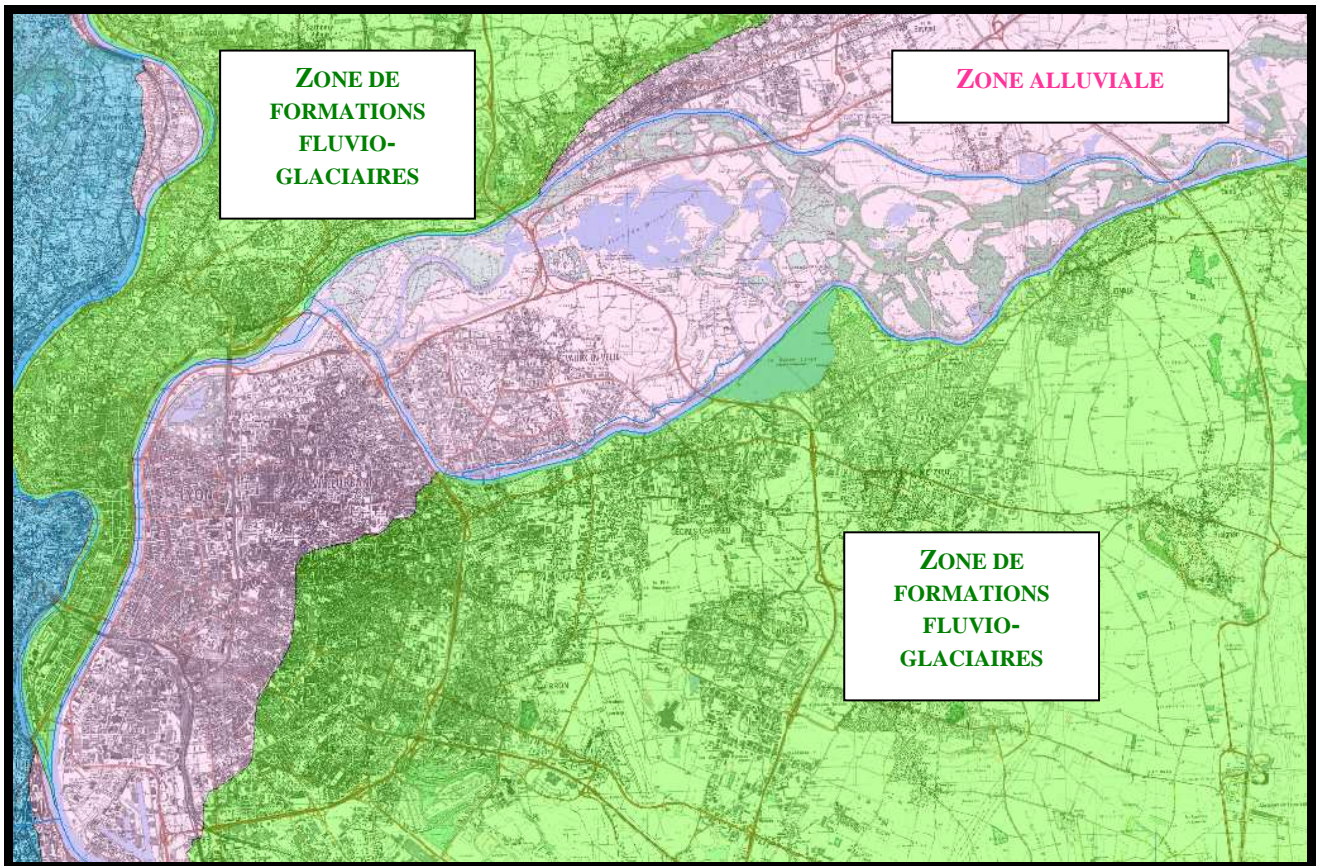
TYPES DE STRUCTURES GEOLOGIQUES	SCHEMATISATIONS PRESENTES SUR LE SECTEUR
<p>ALL Dépôts alluvions ou glaciaires (ou colluvions)</p>	<p>RX-0-DA-CCA-α1 RX-0-DP-CCA-α1a RX-0-DA-CCA-α3 RX-0-DA-CCA-α1a-β5</p>
<p>ALL / CAL Dépôts alluvions ou glaciaires (ou colluvions), et roches carbonatées (calcaires et dolomies)</p>	<p>RX-0-DA-CCA-α1a-β9 RX-0-DP-CCA-α1a-β9</p>

9.7. Sur le secteur du Pont de Jonc à la confluence Rhône Saône

9.7.1. Formations géologiques

On retrouve seulement deux formations géologiques différentes sur le secteur :

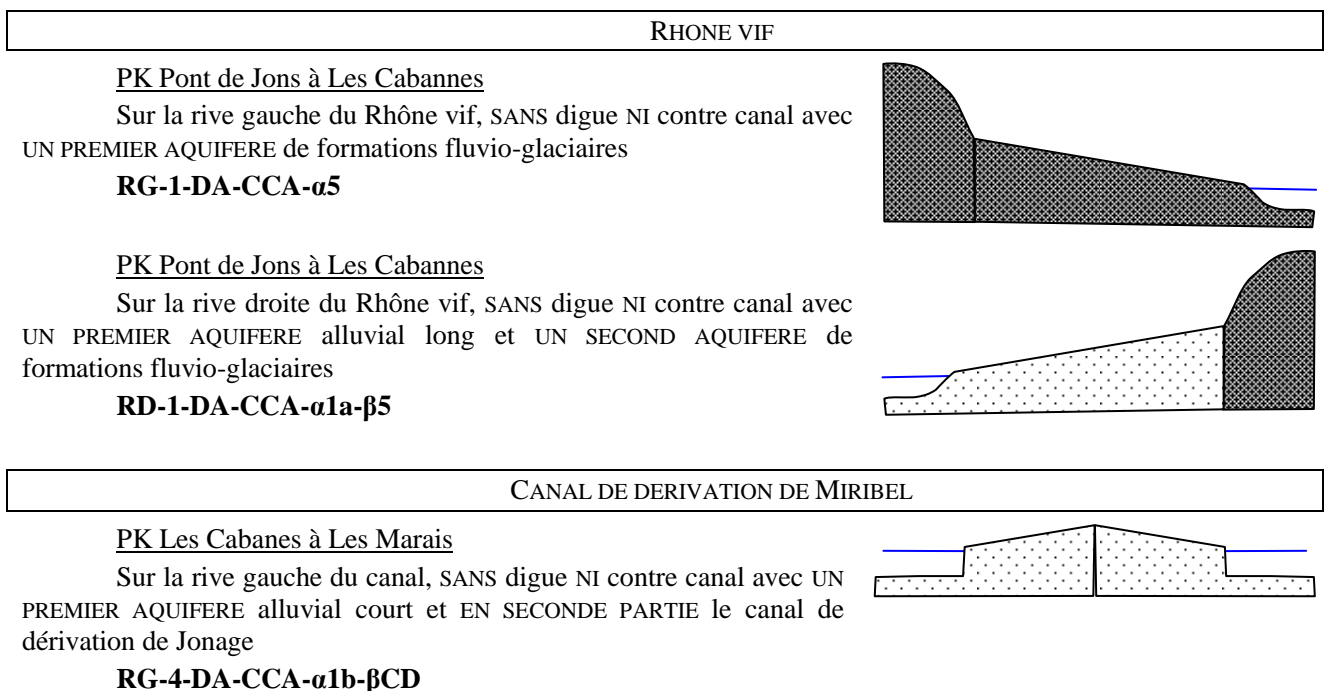
- une zone alluviale qui se situe le long du Rhône dont la largeur est assez grande,
- une zone de formations fluvio-glaciaires située au nord et au sud du cours d'eau, notifié comme formation plioquaternaire,



On remarquera que les couches géologiques présentes dans cette zone sont de nature fluvio-glaciaire. Cependant, il est à noter qu'en rive gauche cette formation est de type pontienne et en rive droite de type mindélienne.

9.7.2. Schématisation le long du Rhône

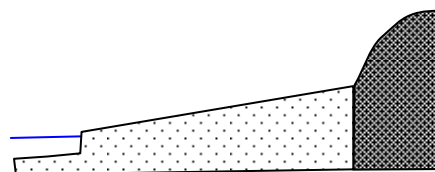
Ce secteur s'étend du début de la dérivation de Jons à la confluence entre le Rhône et la Saône dans l'agglomération Lyonnaise.



PK Les Cabanes à Les Marais

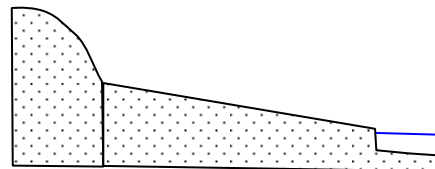
Sur la rive droite du canal, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial long et UN SECOND AQUIFERE de formations fluvio-glaciaires

RD-4-DA-CCA- α 1a- β 5

PK Les Marais à Le Gravier Isard

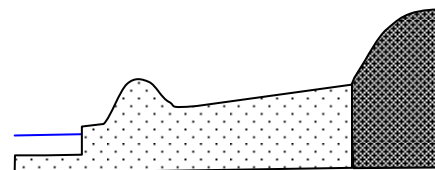
Sur la rive gauche du canal, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial

RG-4-DA-CCA- α 1

PK Les Marais à Les Tuilleries

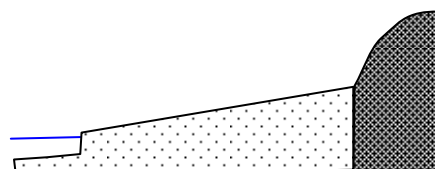
Sur la rive droite du canal, AVEC une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial long et UN SECOND AQUIFERE de formations fluvio-glaciaires

RD-4-DP-CCA- α 1a- β 5

PK Les Tuilleries à Le Besson

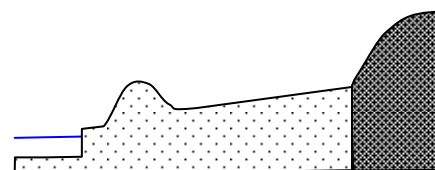
Sur la rive droite du canal, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial long et UN SECOND AQUIFERE de formations fluvio-glaciaires

RD-4-DA-CCA- α 1a- β 5

PK Le Besson à Les Ecufiges

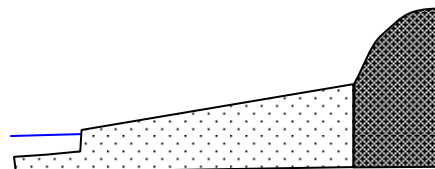
Sur la rive droite du canal, AVEC une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial long et UN SECOND AQUIFERE de formations fluvio-glaciaires

RD-4-DP-CCA- α 1a- β 5

PK Les Ecufiges à Les Brotteaux de St Maurice

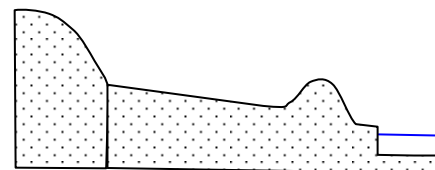
Sur la rive droite du canal, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial long et UN SECOND AQUIFERE de formations fluvio-glaciaires

RD-4-DA-CCA- α 1a- β 5

PK Le Gravier Isard à Neyron

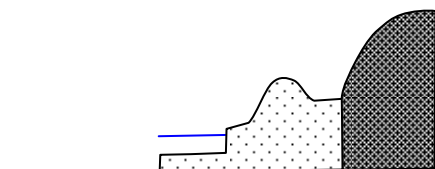
Sur la rive gauche du canal, AVEC une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial

RG-4-DP-CCA- α 1

PK Les Brotteaux de St Maurice à Neyron

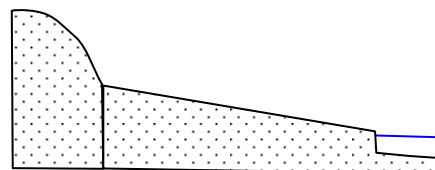
Sur la rive droite du canal, AVEC une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial court qui rétrécit et UN SECOND AQUIFERE de formations fluvio-glaciaires

RD-4-DP-CCA- α 1b- β 5

PK Neyron à A46 (autoroute)

Sur la rive gauche du canal, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial

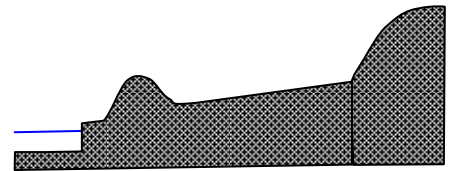
RG-4-DA-CCA- α 1



PK Neyron à La Californie

Sur la rive droite du canal, AVEC une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de formations fluvio-glaciaires

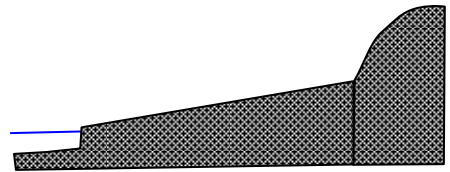
RD-4-DP-CCA- α 5



PK La Californie à Le Château

Sur la rive droite du canal, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de formations fluvio-glaciaires

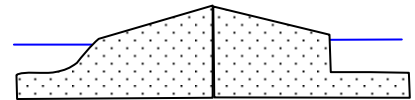
RD-4-DA-CCA- α 5



PK A46 (autoroute) à Confluence Vieux Rhône

Sur la rive gauche du canal, AVEC une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial court et EN SECONDE PARTIE le Vieux Rhône

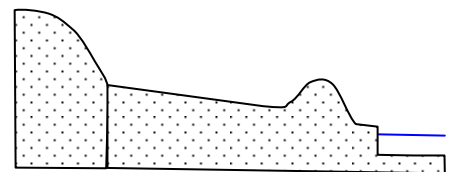
RG-4-DP-CCA- α 1b- β RC



PK Confluence Vieux Rhône à Crépieux

Sur la rive gauche du canal, AVEC une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial

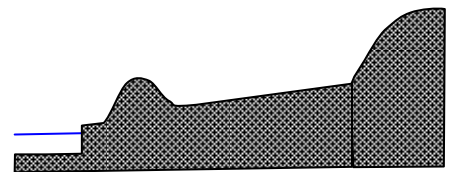
RG-4-DP-CCA- α 1



PK Le Château à Crépieux

Sur la rive droite du canal, AVEC une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de formations fluvio-glaciaires

RD-4-DP-CCA- α 5

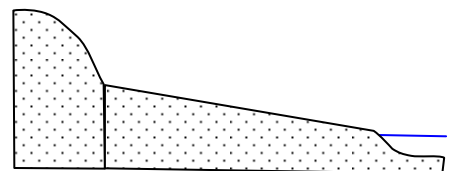


CANAL DE DERIVATION VIEUX RHONE OU RHONE COURT-CIRCUITE

PK A46 à Confluence Vieux Rhône canal de Miribel

Sur la rive gauche du Vieux Rhône AVEC une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial

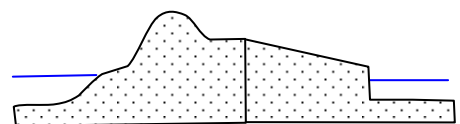
RG-3-DP-CCA- α 1



PK A46 à Confluence Vieux Rhône canal de Miribel

Sur la rive droite du Vieux Rhône AVEC une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial et EN SECONDE PARTIE le canal de dérivation de Miribel

RD-3-DP-CCA- α 1b- β CD

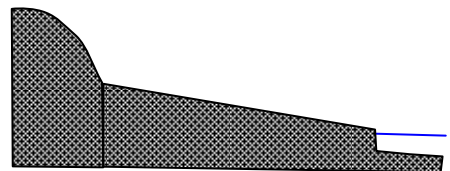


CANAL DE DERIVATION DE JONAGE

PK Les Cabanes à Rue Neuve

Sur la rive gauche du canal, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de formations fluvio-glaciaires

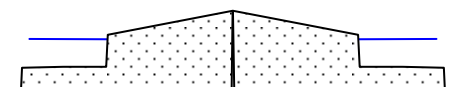
RG-4-DA-CCA- α 5



PK Les Cabanes à Jons

Sur la rive droite du canal, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial et EN SECONDE PARTIE le canal de dérivation de Miribel

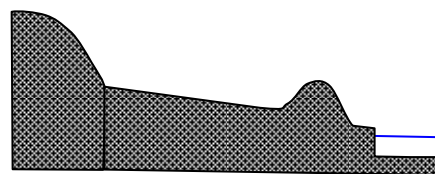
RD-4-DA-CCA- α 1b- β CD



PK Rue Neuve à La Dent

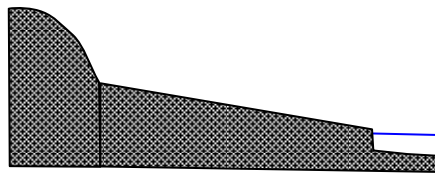
Sur la rive gauche du canal, AVEC une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de formations fluvio-glaciaires

RG-4-DP-CCA- α 5

PK La Dent à Pont de Décines

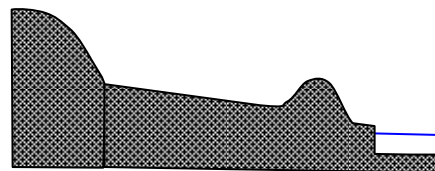
Sur la rive gauche du canal, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de formations fluvio-glaciaires

RG-4-DA-CCA- α 5

PK Pont de Décines à Montaberlet

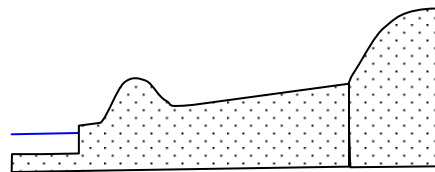
Sur la rive gauche du canal, AVEC une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de formations fluvio-glaciaires

RG-4-DP-CCA- α 5

PK Jons à Les Jonchères

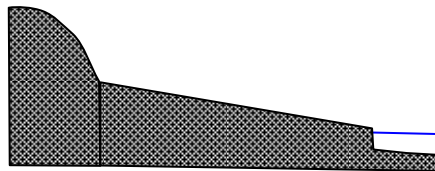
Sur la rive droite du canal, AVEC une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial

RD-4-DP-CCA- α 1

PK Montaberlet à Centrale électrique

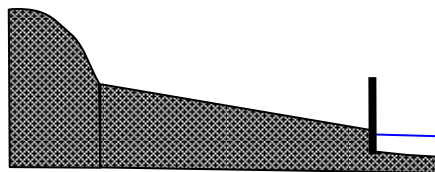
Sur la rive gauche du canal, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de formations fluvio-glaciaires

RG-4-DA-CCA- α 5

PK Centrale électrique à Crépieux

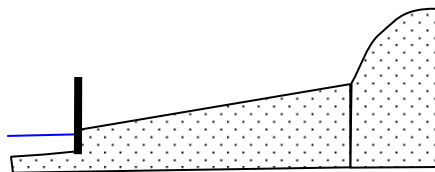
Sur la rive gauche du canal en zone urbaine, d'où la PRESENCE de quais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de formations fluvio-glaciaires

RG-4-QP-CCA- α 5

PK Les Jonchères à Crépieux

Sur la rive droite du canal en zone urbaine, d'où la PRESENCE de quais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial

RD-4-QP-CCA- α 1

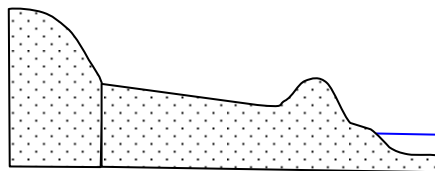


RESTITUTION

PK Crépieux à Pont Raymond Poincaré

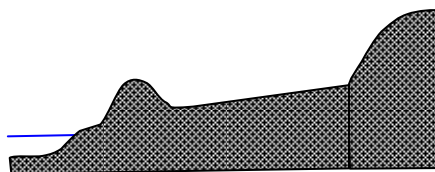
Sur la rive gauche du Rhône vif, AVEC une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial

RG-1-DP-CCA- α 1

PK Crépieux à Pont Raymond Poincaré

Sur la rive droite du Rhône vif, AVEC une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de formations fluvio-glaciaires

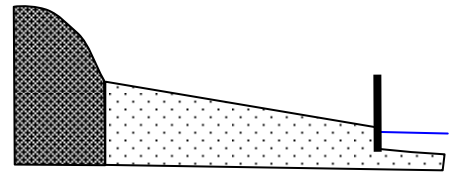
RD-1-DP-CCA- α 5



PK Pont Raymond Poincaré à Confluence Rhône Saône

Sur la rive gauche du Rhône vif en zone urbaine, d'où la PRESENCE de quais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial long et UN SECOND AQUIFERE de formations fluvio-glaciaires

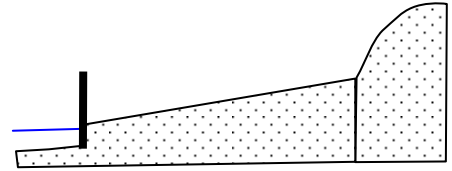
RG-1-QP-CCA-α1a-β5



PK Pont Raymond Poincaré à Confluence Rhône Saône

Sur la rive droite du Rhône vif en zone urbaine, d'où la PRESENCE de quais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de formations fluvio-glaciaires

RD-1-QP-CCA-α4



Références :

- Carte IGN 1/25000
N° 3131 O : « Meyzieu, Montluel », Editions 4 – 1995
- Carte IGN 1/25000
N° 3031 O : « Lyon », Editions 6 – 1998
- Carte IGN 1/25000
N° 3031 OT : « Lyon, Villeurbanne, Mont d'Or », Editions 1 – 2001
- Carte géologique Les Mines 1/320000,
Feuille 23, 1939
- Carte géologique du BRGM 1/50000
N° XXX-32 : « Givors », 1968

9.7.3. Distinction des différentes structures géologiques

Les schématisations présentes sur le secteur sont réparties en fonction des six catégories de matériaux parentaux principaux :

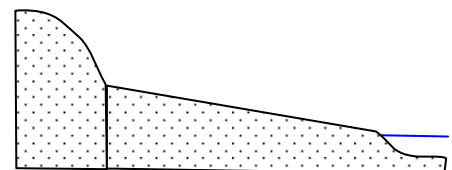
- Dépôts alluvions ou glaciaires (ou colluvions) : **all**
- Roches carbonatées (calcaires et dolomies) : **cal**
- Marnes et roches argileuses : **arg**
- Roches sableuses et formations détritiques : **sab**
- Roches limoneuses : **lim**
- Socles cristallins et cristallophylliens : **cri**

SUR LE RHONE VIF ET COURT-CIRCUITE

Dépôts alluvions ou glaciaires (ou colluvions)

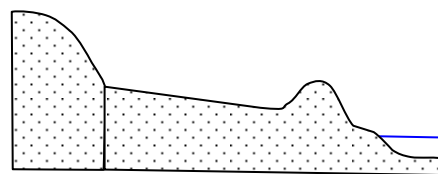
Sur la rive du Rhône, SANS une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial

RX-0-DA-CCA-α1



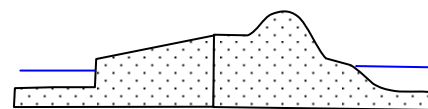
Sur la rive du Rhône, AVEC une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial

RX-0-DP-CCA- α 1a



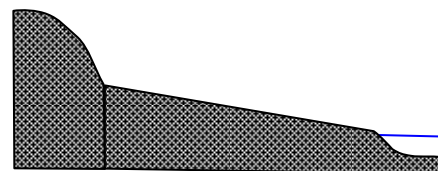
Sur la rive du Rhône AVEC une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial et EN SECONDE PARTIE le canal de dérivation

RX-0-DP-CCA- α 1b- β CD



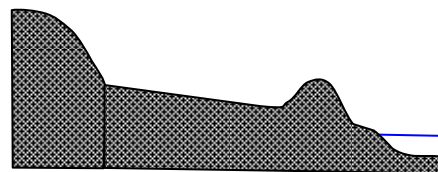
Sur la rive du Rhône, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de formations fluvio-glaciaires

RX-0-DA-CCA- α 5



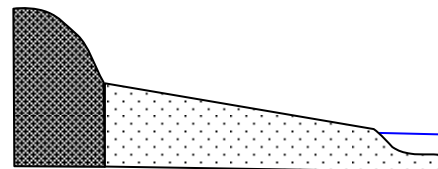
Sur la rive du Rhône vif, AVEC une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de formations fluvio-glaciaires

RX-0-DP-CCA- α 5



Sur la rive du Rhône, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial long et UN SECOND AQUIFERE de formations fluvio-glaciaires

RX-0-DA-CCA- α 1a- β 5

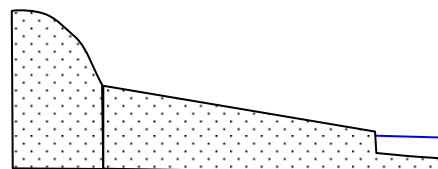


SUR LES DEUX CANAUX DE DERIVATION

Dépôts alluvions ou glaciaires (ou colluvions)

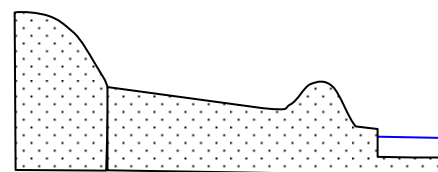
Sur la rive du canal, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial

RX-4-DA-CCA- α 1



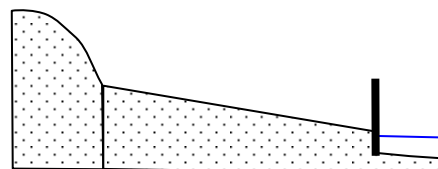
Sur la rive du canal, AVEC une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial

RX-4-DP-CCA- α 1



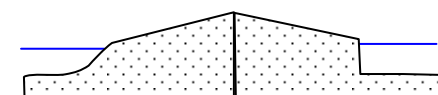
Sur la rive du Rhône ou le canal en zone urbaine, d'où la PRESENCE de quais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial

RX-4-QP-CCA- α 1



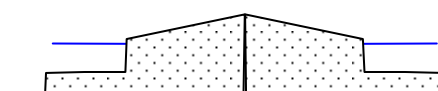
Sur la rive du canal, AVEC une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial court et EN SECONDE PARTIE le Rhône court-circuité

RX-4-DP-CCA- α 1b- β RC



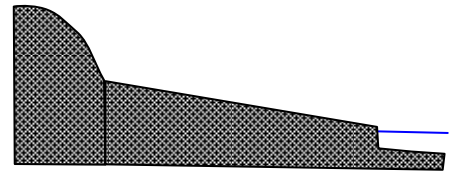
Sur la rive du canal, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial court et EN SECONDE PARTIE le canal de dérivation

RX-4-DA-CCA- α 1b- β CD



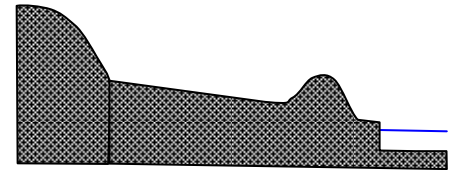
Sur la rive du canal, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de formations fluvio-glaciaires

RX-4-DA-CCA-α5



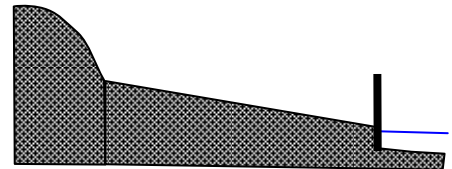
Sur la rive du canal, AVEC une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de formations fluvio-glaciaires

RX-4-DP-CCA-α5



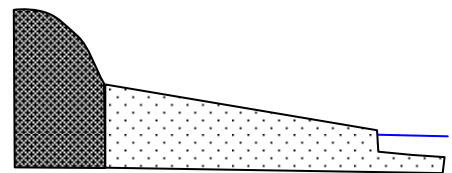
Sur la rive du Rhône ou le canal en zone urbaine, d'où la PRESENCE de quais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE de formations fluvio-glaciaires

RX-4-QP-CCA-α5



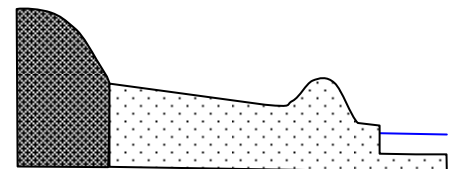
Sur la rive du canal, SANS digue NI contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial long et UN SECOND AQUIFERE de formations fluvio-glaciaires

RX-4-DA-CCA-α1a-β5



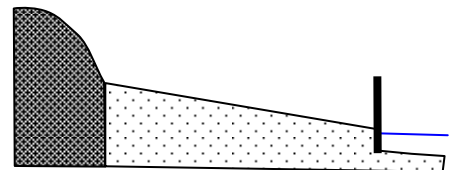
Sur la rive du canal, AVEC une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial long et UN SECOND AQUIFERE de formations fluvio-glaciaires

RX-4-DP-CCA-α1a-β5



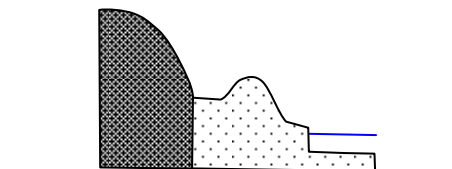
Sur la rive du Rhône ou le canal en zone urbaine, d'où la PRESENCE de quais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial long et UN SECOND AQUIFERE de formations fluvio-glaciaires

RX-4-QP-CCA-α1a-β5



Sur la rive du canal, AVEC une digue mais SANS contre canal avec UN PREMIER AQUIFERE alluvial court et UN SECOND AQUIFERE de formations fluvio-glaciaires

RX-4-DP-CCA-α1b-β5



9.7.4. Tableau récapitulatif

TYPES DE STRUCTURES GEOLOGIQUES	SCHEMATISATIONS PRESENTES SUR LE SECTEUR
SANS AMENAGEMENT	
<p style="text-align: center;">ALL</p> <p>Dépôts alluvions ou glaciaires (ou colluvions)</p>	<p>RX-0-DA-CCA-α1</p> <p>RX-0-DP-CCA-α1a</p> <p>RX-0-DP-CCA-α1b-βCD</p> <p>RX-0-DA-CCA-α5</p> <p>RX-0-DP-CCA-α5</p> <p>RX-0-DA-CCA-α1a-β5</p>
AVEC AMENAGEMENT	
<p style="text-align: center;">ALL</p> <p>Dépôts alluvions ou glaciaires (ou colluvions)</p>	<p>RX-4-DA-CCA-α1</p> <p>RX-4-DP-CCA-α1</p> <p>RX-4-QP-CCA-α1</p> <p>RX-3-DP-CCA-α1b-βRC</p> <p>RX-4-DA-CCA-α1b-βCD</p> <p>RX-4-DA-CCA-α5</p>

	RX-4-DP-CCA- α 5 RX-4-QP-CCA- α 5 RX-4-DA-CCA- α 1a- β 5 RX-4-DP-CCA- α 1a- β 5 RX-4-DP-CCA- α 1b- β 5 RX-4-QP-CCA- α 1a- β 5
--	--

Annexe 10. Premières sectorisations des relations Rhône/nappes du Lac Léman au Delta de Camargue⁶

10.1. Allure générale du Rhône entre le lac Léman et la mer Méditerranée

Entre le lac Léman et la mer Méditerranée, le cours du Rhône présente deux tronçons sensiblement orthogonaux. Leur orientation et leurs particularités s'expliquent par la structuration du sud-est de la France à la fin de l'ère tertiaire et le façonnement lié au jeu des glaciations et des eaux courantes au cours du Quaternaire.

Le premier tronçon orienté est-ouest correspond à un tracé en cluse à travers les chaînons méridionaux du Jura, dirigé vers un point bas constitué par le fossé d'effondrement bressan.

Le second tronçon de direction nord-sud suit le fossé d'effondrement Bresse-Vallée du Rhône. Des rejeux verticaux marqués, liés à la remontée ou à l'effondrement de massifs anciens, sont à l'origine d'une succession de rétrécissements et de larges bassins sédimentaires. Le cours du Rhône est donc morcelé en une succession de biefs (tronçons) marqués par des zones canalisées sans relation conséquente avec les rives, et d'autres en « symbiose » avec d'importantes nappes d'accompagnement. Les variations des débits du fleuve sont donc liées pour une part aux affluents et pour une autre aux nappes alluviales qui peuvent jouer selon l'état hydrogéologique en apports ou en pertes.

10.2. Coupures régionales

Le premier tronçon dessine une vaste boucle. Il peut se subdiviser en trois parties (molassique, jurassienne et morainique) :

- au débouché du lac de Genève, le fleuve a creusé son lit dans la molasse peu perméable et dans les moraines qui tapissent le fond d'une vallée d'origine glaciaire. Des strates plus perméables sont en équilibre avec le cours d'eau ;

- après le défilé de l'Ecluse, le chaînon jurassien du Grand Colombier, forme une barrière qui l'oblige à une grande inflexion vers le sud et à un tracé en gorges en recoupant les chaînons suivants. Son cours resserré revient vers le nord, à la jonction entre le plateau calcaire de l'île Crémieu et les derniers chaînons du Jura (Bas-Bugey) ;

- le vaste épandage fluvio-glaciaire de l'Est Lyonnais est à l'origine d'un lacis de bras entourant des îles où la nappe d'accompagnement est proche de la surface.

Le second tronçon est sensiblement rectiligne et suit la direction générale des fossés tertiaires de l'est et du centre de la France.

Entre Lyon et Valence, la vallée est dissymétrique. Elle est bordée à l'ouest par un relief cristallin contre lequel butent les formations fluvio-glaciaires du Bas Dauphiné. Le rejeu tertiaire d'une ancienne direction tectonique hercynienne fait remonter le socle cristallin à Vienne. Il génère un coude et un défilé. Au sud de Valence d'autres rejeux de même nature se repèrent encore en plusieurs points (Donzère, Orange,...), donnant naissance à un tronçonnement marqué dans le relief calcaire et s'exprimant surtout en rive gauche par une succession de petits bassins comprenant des nappes alluviales plus ou moins développées. Enfin, au sud d'Orange superposent plusieurs nappes à perméabilité d'interstices.

Le cours du Rhône comprend donc une succession de gorges délimitant à l'amont des bassins plus ou moins développés contenant des nappes d'eau souterraine en équilibre avec la rivière. Cette logique s'explique par les structurations tertiaires qui ont généré les fossés d'effondrement de l'est de la France, l'édification de la chaîne du Jura et des zones externes des Alpes et fait rejouer d'anciennes structures hercyniennes de direction ouest-sud-ouest/est-nord-est.

⁶ Eléments issus du travail de P. Chauve (Univ. de Besançon) et de L. Cadilhac (Agence de l'eau RMC) réalisé en 2001 et complétés par D. Graillot en 2005.

10.3. Description des secteurs

Secteur 1 - Aval de Genève : de Genève-Fort l'Ecluse à la confluence du Fier (aval de Seyssel)

Le Rhône est encaissé dans les formations molassiques supportant un placage morainique. La nappe alluviale est peu importante et très liée aux cours d'eau (Rhône et Fier aval). Elle a une influence faible sur le débit du Rhône. Mais on observe des apports terrigènes importants en provenance du Fier. Il y a aussi des apports karstiques en rive droite (Fort l'Ecluse) au niveau du défilé de l'Ecluse.

Secteur 2 - Marais de Chautagne et de Lavours

Le Rhône coule sur la nappe alluviale épaisse (30 à 40 mètres, 100m à l'amont) et unique en profondeur de Chautagne-Lavours. Cette nappe se développe à l'amont du seuil de la Balme et s'étend sur une plaine en forme de croix de Saint-André, bien pourvue sur le plan quantitatif (nombreux piézomètres). La branche nord-est (la nappe de Chautagne) est alimentée par le fleuve, elle se déverse en aval vers le canal de Savières, exutoire du lac du Bourget et une partie des eaux rejoint le compartiment Lavours. La branche nord-ouest (marais de Lavours) reçoit une alimentation par le pli jurassien du Grand Colombier et un complément par le Rhône est drainé par le Séran qui rejoint le fleuve à l'aval de la branche sud-ouest.

Secteur 3 – Belley à Yenne (lieu-dit Lagnieu)

Traversée en cluse des chaînons jurassiens et du plateau molassique inséré entre les deux bras du Rhône au niveau de Belley, dont celui situé le plus au nord est artificiel.

Des apports sont probables par les chaînons jurassiens, comme d'importantes sources observables dans le défilé de La Balme en rive gauche (source de l'Arcadière) en témoignent. La nappe d'accompagnement est peu développée et a donc un rôle très faible. Le plateau molassique peu perméable est drainé vers le bras méridional.

Secteur 4 - Plaine du Guiers ou grande boucle au confluent du Guiers

La nappe alluviale est développée mais assez argileuse, isolant en son centre un placage posé sur son substratum molassique. Il y a des apports depuis la nappe du Rhône, du Guiers à l'amont.

Secteur 5.- Zone de contact entre l'île Crémieu et le faisceau du Bugey

La vallée est resserrée et la nappe alluviale restreinte.

Secteur 6 - Plaine de l'Ain

A la sortie du Jura et à la confluence Ain-Rhône, le Rhône coule sur des alluvions épaisses de 8 à 10 mètres qui drainent les terrasses de l'Ain et apports jurassiens de l'île Crémieu en rive droite et reçoivent en rive gauche à l'aval les apports en provenance de la Bourbre.

Secteur 7 - Nappe alluviale du Rhône à l'amont de Lyon

Le fleuve s'encaisse entre la Dombes et les dépôts fluvio-glaciaires de la plaine de l'Est Lyonnais. Le substratum molassique de perméabilité moyenne de 10^{-5} , compensé par de fortes épaisseurs (sables marins calcaires et micacés) est creusé par des vallées remplies de dépôts fluvio-glaciaires plus perméables (10^{-3}) : couloir est-ouest (couloir de Meyzieu, couloir de Décines-charpieu). Il existe des cartes piézométriques et des rapports (BURGEAP 1995, 2001-2002 et Horizon 2000) qui mettent en évidence que l'écoulement des nappes s'effectue d'est en ouest en direction du Rhône dans l'agglomération lyonnaise. Il existe pour ce secteur de nombreuses données piézométriques dont certaines sont très récentes, par exemple celles du SAGE de l'Est-Lyonnais.

Secteur 8 - Aval de Lyon

De Lyon à Vienne, le Rhône est accolé en rive droite au massif cristallin qui supporte une nappe perchée qui se déverse dans le fleuve ; en rive gauche, arrive la décharge du fluvio-glaciaire de la nappe de la plaine de l'est lyonnais (couloir d'Heyrieux/Saint-Symphorien).

Secteur 9 - Rive droite du Rhône de Givors à La Voulte-sur-Rhône

Les alluvions du Rhône reposent directement sur le cristallin du Massif Central à l'exception du massif jurassique de Crussol. Quelques nappes soutenues existent dans les affluents de rive droite (le Doux et l'Eyrieux).

En rive droite au pied du Parc du Pilat, la nappe alluviale de Chavanay qui a fait l'objet d'une étude géophysique et hydrogéologique par CPGF Horizon et Antéa à l'occasion du déraillement ferroviaire en 1997 a été également modélisée. Les interactions avec le Rhône sont fortement dépendantes des contre-canaux qui jalonnent le fleuve dans ce secteur. La nappe a également été étudiée au niveau de La Voulte-sur-Rhône siège d'une pollution aux hydrocarbures du même type.

Secteur 10 - Défilé de Vienne

De Vienne à St-Clair du Rhône, le cours du Rhône est encaissé dans le cristallin, on note des apports latéraux faibles de la nappe soutenue par le Rhône.

Secteur 11 - Plaine du Péage-de-Roussillon

La nappe de Bièvre/Valloire (ancien cours de l'Isère) qui semble résister aux étiages constitue un apport important au Rhône. Cette nappe a déjà fait l'objet d'études de modélisation (SRAE Ecole des Mines, 1985 et Cemagref, 1996). Les conditions limites de la nappe en amont seraient à examiner plus en détail (Faramans, Pajay) ainsi que le fonctionnement des résurgences de Manthes.

Secteur 12 - Défilé de Saint-Vallier

Le cours du Rhône y est encaissé.

Secteur 13 - Plaine de l'Isère

De Tain-l'Hermitage à la confluence de l'Isère, la nappe est superficielle, drainée vers l'Isère et le Rhône avec un épandage des alluvions quaternaires de l'Isère.

Secteur 14 - Plaine de Valence

De la confluence de l'Isère à Portes-lès-Valence (rive gauche), la nappe alluviale est réalimentée par les terrasses de la plaine de Valence.

Secteur 15 - De Portes-lès-Valence à Viviers

Une large nappe alluviale draine un ensemble de massifs marno-calcaires avec apports locaux superficiels et karstiques depuis les calcaires tithoniques en rive droite. En rive gauche, trois cours d'eau drainent les vallées alluviales de la Drôme, du Roubion et du Jabron.

Secteur 16 - Défilé de Donzère

Le cours du Rhône est creusé dans les calcaires du Crétacé à faciès urgonien. La nappe alluviale réduite est soutenue par les calcaires urgoniens en rive gauche.

Secteur 17 - De Donzère au confluent de l'Ardèche

Dans la plaine du Tricastin, la nappe alluviale est étendue et puissante. Elle draine à l'ouest les calcaires urgoniens du Plateau des Gras. Les apports semblent importants en rive droite, issus du système karstique (Fontaine de Tourne). A l'est les marno-calcaires produisent peu d'apports conséquents.

Au sud en rive droite on note des apports depuis la nappe alluviale liée à l'Ardèche.

Secteur 18 - Du confluent de l'Ardèche à Arles

La nappe alluviale large et épaisse reçoit les apports des plaines alluviales en rive gauche de l'Aigues, de l'Ouvèze et de la Durance (nappe soutenue par l'irrigation) et en rive droite de la Cèze et du Gardon.

Le Rhône draine les unités karstiques compartimentées de Roquemaure, Villeneuve-lès-Avignon, ainsi que les épandages de cailloutis entre l'Isle-sur-la-Sorgue et Sorgues.

Secteur 19 - Delta du Rhône

La nappe est en charge (captive) sous le delta de cailloutis liés au Rhône avec des apports de la Crau et un impact important de l'irrigation traditionnelle.

Cette première sectorisation des systèmes aquifères jalonnant le cours du Rhône a été approfondie, précisée, détaillée au cours d'un travail de stage effectué à l'Agence de l'eau (Schindler, 2006). Elle montre la complexité des interactions nappes rivières.

Annexe 11. Sectorisation selon les masses d'eau de la DCE

11.1. Découpage DCE eaux souterraines et superficielles : Fleuve Rhône

Le cours du Rhône est découpé en tronçons et en masses d'eau codifiées selon la DCE. Ces codes correspondent à des numéros indiqués entre parenthèses (ci-dessous) suite à l'intitulé de la masse d'eau.

Tronçon Rhône-Amont

Masses d'eau superficielle :

- de la frontière Suisse au barrage de Seyssel (code DCE n°2000) ;
- du barrage de Seyssel au pont d'Evieu [n°2001 décliné en 2001a (vieux Rhône de Chautagne), 2001b (vieux Rhône de Belley) et 2001c (vieux Rhône de Brégnier-Cordon)] ;
- du pont d'Evieu au défilé de Saint-Alban/Malarage (n°2002) ;
- du Défilé de Saint-Alban/Malarage à Sault-Brénaz (n°2003) ;
- de Sault-Brénaz au pont de Jons (n°2004).

Masses d'eau souterraine :

- Alluvions marais de Chautagne et de Lavours (n°6330) ;
- Alluvions du Rhône entre le confluent du Guiers et de la Bourbe (n°6326).

Tronçon Rhône-Moyen

Masses d'eau superficielle :

- du pont de Jons à la confluence de la Saône (n°2005) ;
- de la confluence de la Saône à la confluence de l'Isère incluant Saint-Vallier et le Vieux-Rhône [n°2006 décliné en 2006a (Vieux-Rhône de Pierre Bénite à Vernaison) et 2006b (Vieux-Rhône de Roussillon)].

Masses d'eau souterraine :

- Alluvions du Rhône, île de Miribel, Jonage (n°6338) ;
- Alluvions du Rhône entre le confluent de la Saône et de l'Isère, et les alluvions du Garons (n°6325).

Tronçon Rhône-Aval

Masses d'eau superficielle :

- de la confluence de l'Isère à Avignon [n°2007 décliné en 2007a (Vieux-Rhône de Bourg-lès-Valence), 2007b (Vieux-Rhône de Charmes à Beauchastel), 2007c (Vieux-Rhône de Baix à Le-Logis-Neuf), 2007d (Vieux-Rhône de Montélimar), 2007e (Vieux-Rhône de Donzère) et 2007f (lône de Caderousse et bras des Arméniers)] ;
- d'Avignon à Beaucaire [n°2008 décliné en 2008a (bras d'Avignon) et 2008b (Vieux-Rhône de Beaucaire)] ;

Masses d'eau souterraine :

- Alluvions du Rhône du confluent de l'Isère à la Durance et alluvions des basses vallées d'Ardèche et de Cèze (n°6324) ;
- Alluvions du Rhône du confluent de la Durance jusqu'à Arles et Beaucaire, et alluvions du bas Gardon (n°6323).

Tronçon Rhône-Maritime

Masses d'eau superficielle :

- de Beaucaire au pont de Sylvéreal sur le Petit-Rhône et seuil de Terrin sur le Grand-Rhône (n°2009) ;
- le Petit-Rhône du pont de Sylvéreal à la Méditerranée (n°TR19) ;
- le Grand-Rhône du seuil de Terrin à la Méditerranée (n°TR20).

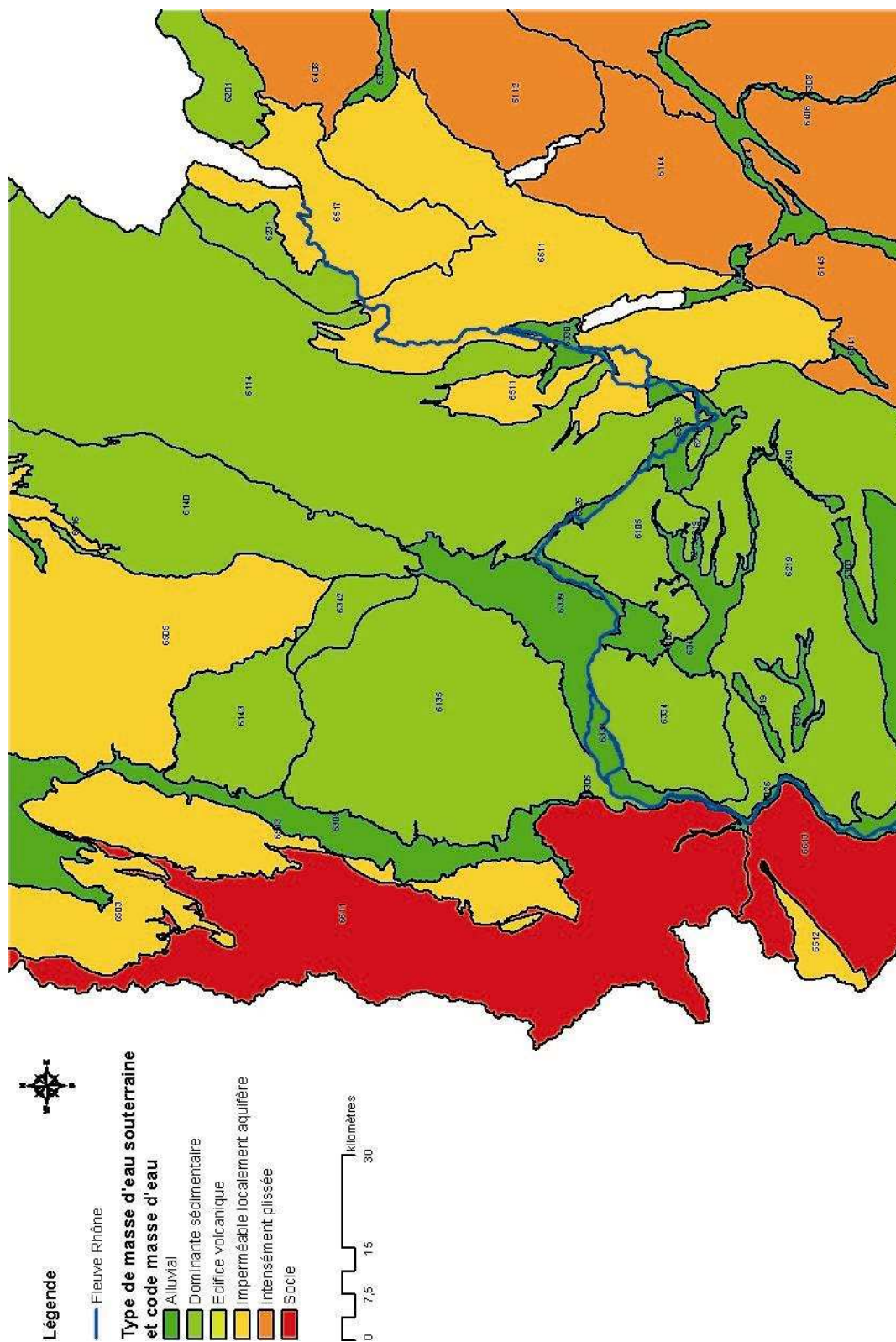
Masses d'eau souterraine :

- Domaine limons et alluvions quaternaires du Bas-Rhône et Camargue, delta du Rhône (n°6504).

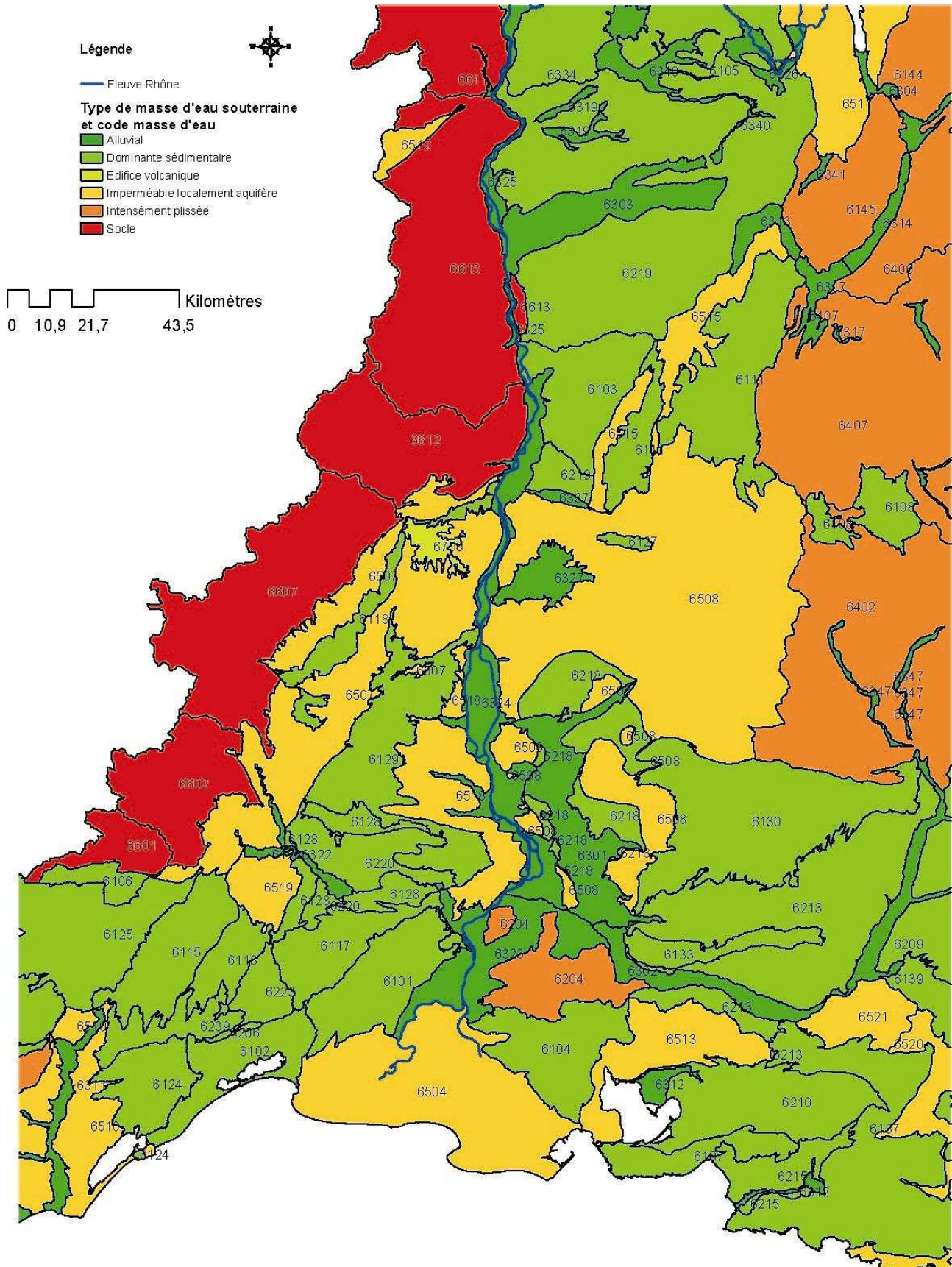
Des couvertures SIG des masses d'eau DCE sont disponibles sur le site Internet du SANDRE, notamment celles des masses d'eau souterraine accompagnées de fiches descriptives.

De plus, il faut considérer les masses d'eau constituées par les affluents dans les secteurs de confluence. Il faut aussi prendre en compte les masses d'eaux souterraines qui alimentent potentiellement les masses d'eau alluviales présentées ici. Ces aquifères sont nombreux et de nature variée, il s'agit d'aquifères poreux, fissurés, karstiques, de socle, sédimentaires ou alluviaux qui ont chacun des comportements hydrodynamiques différents. L'ensemble de ces masses d'eau est donc l'objet d'interactions nappe/rivière.

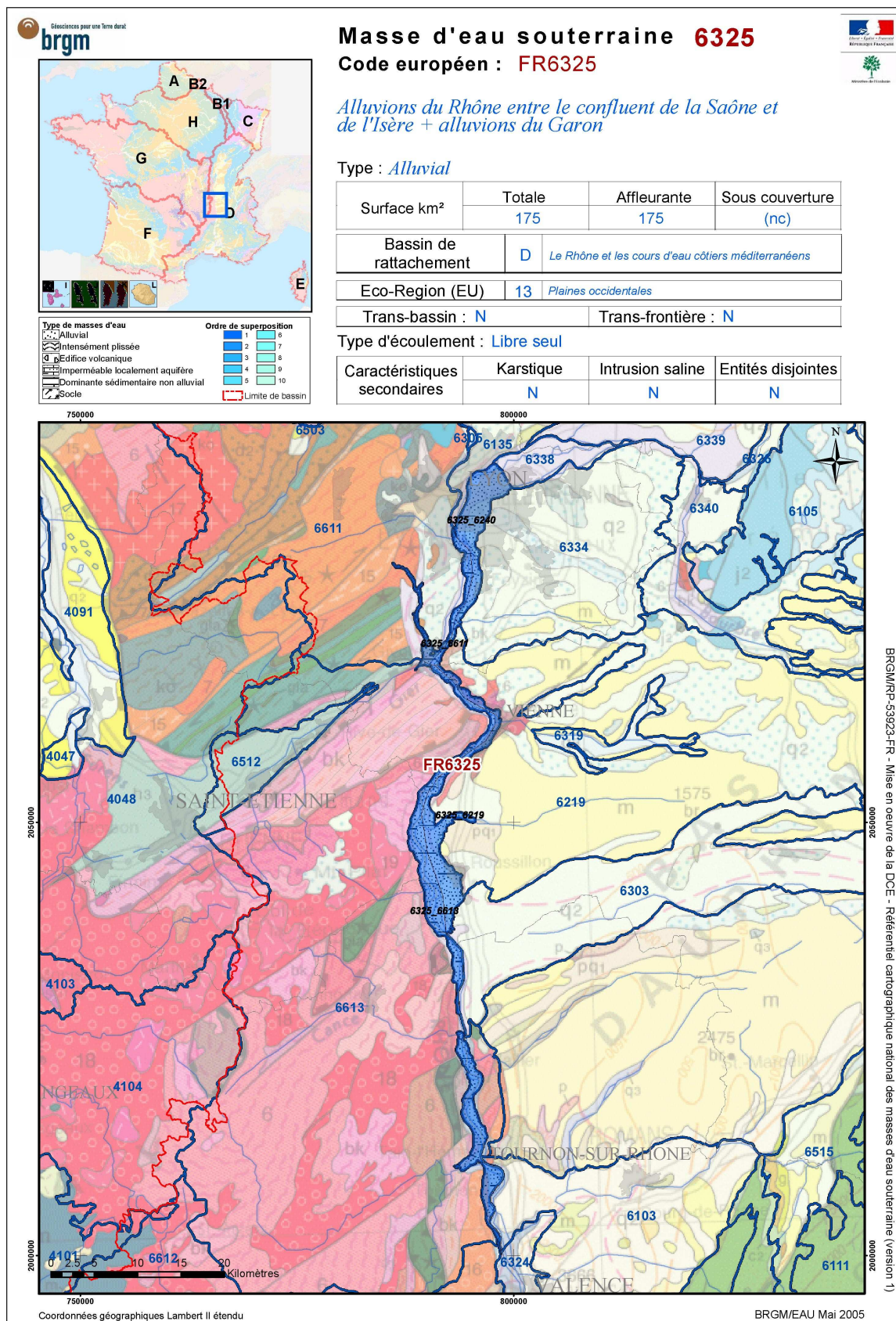
11.2. Découpage DCE eaux souterraines : Haut-Rhône



11.3. Découpage DCE eaux souterraines : Bas-Rhône



11.4. Exemple de fiche masse d'eau souterraine DCE eau selon le BRGM



Annexe 12. Comptes-rendus de réunion et de terrain

Annexe 12.1. Réunion du 8 novembre 2005 – Agence de l'Eau (Lyon)

Rappel de l'ordre du jour prévu :

- présentation des objectifs (intérêts, enjeux, Plan Rhône 2) ;

phase 1: état des connaissances

phase 2: études complémentaires, sectorisation

phase 3: bilan des contributions des nappes au Rhône

- présentation des activités de chaque laboratoire par rapport au thème de la réunion (travaux réalisés sur le cours du Rhône, ses affluents ou les aquifères connectés : études, campagnes de mesures, thèses de doctorat, sujets de DEA) ;

- en conclusion : suite à donner.

L'odj a donc été suivi. En accord avec l'ensemble des participants, il s'agit donc :

1) d'envoyer à chaque laboratoire participant un tableau récapitulatif des informations transmises au cours de la réunion ou plus tard sur le thème: interactions nappes-eaux de surface et plus particulièrement sur le linéaire du Rhône et ses affluents (envoi D. Graillot) délai 15 décembre ;

2) de valider ou d'en modifier le contenu en apportant des éléments complémentaires non indiqués en cours de réunion (retour de chaque labo des tableaux complétés accompagnés des références bibliographiques) délai mi février ;

3) d'inscrire dans le géorépertoire de la ZABR les éléments transmis pour disposer d'une première synthèse sur la couverture de la zone d'étude (linéaire du Rhône + confluences) en informations concernant l'hydrologie/hydrogéologie, la biodiversité au sein des aquifères, la géochimie, les espèces végétales aquatiques. Ces éléments étant à positionner sur fond cartographique SDAGE. délai : juin 2006 Ceci afin de prévoir dans un premier temps des campagnes de mesures piézométriques sur des zones non couvertes et à sélectionner au cours de la prochaine réunion (fin mai début juin). L'acquisition de données complémentaires en terme d'hydrofacies et de lithofacies sur les zones sélectionnées représentatives des interactions nappes-Rhône sera envisagée en phase 2 ;

Si dans un premier temps il paraît difficile d'envisager des travaux de niveau doctorat ou de master, cet état des lieux conduira certainement à envisager par la suite des travaux de nature plus techniques ou methodo sur la transférabilité de ce qui se fait en matière d'analyse des interactions nappes-rivières sur le cas du Rhône. La prochaine fois nous aborderons la planification de moyens à mobiliser (financement de stages par exemple).

Annexe 12.2. Réunion du 5 juillet 2006 – Université Lyon 1

Personnes présentes : Laurent Cadilhac (Agence de l'eau RMC), Janine Gibert (EHF-Lyon 1), David Ferreira (EHF-Lyon 1), Gudrun Bornette (EHF-Lyon 1), Didier Graillot (SITE-EMSE), Frédéric Paran (SITE-EMSE).

Préambule

La Convention entre EZUS et l'Agence de l'Eau RMC a été actée au dernier CA de l'Agence. La Convention de reversement entre EZUS et l'EMSE qui en résulte doit être établie par EZUS dès que possible.

1. Terrain d'étude : le fleuve Rhône du Lac Lemman au Delta de Camargue

Visualisation commune du terrain d'étude à partir des cartes de l'atlas du SDAGE RMC qui localisent les aquifères, les cours d'eau (affluents du Rhône) et les principales villes de la vallée du Rhône (amont, moyen et aval) et de ses affluents et aquifères encaissants.

Données cartographiques : fonds de carte et des couvertures SIG (fond SIG Rhône) de l'atlas du SDAGE RMC (en cours de calage) et des entités aquifères. Ces données ne sont pas disponibles en ligne et à récupérer auprès de l'Agence.

Précision du terrain d'étude : le travail portera uniquement sur le cours du fleuve Rhône sans considérer les affluents.

Le secteur de **Jons à Brégnier-Cordon** (environ Villeurbanne à Saint-Genix sur Guiers) a été préféré comme première zone test à la Platière. En effet, ce secteur subit moins de modifications anthropiques (moins d'aménagements),

2. Hydrogéologie

Recherches :

- identification des principaux rapports bibliographiques et bases de données dans le domaine de l'hydrogéologie (voir aussi Base Rhône) ; nécessité de rentrer en contact avec la **CNR** pour les données de débit du Rhône.

- un inventaire et une interprétation des principaux ouvrages et aménagements du Rhône sont en cours à partir des cartes IGN 1/25000^e.

Rapports :

- **Astride Schindler** (stagiaire de l'Agence de l'eau RMC) vient de terminer un premier travail d'évaluation des échanges entre les nappes et le Rhône, et entre les nappes et les affluents du Rhône. Son rapport nous sera transmis par l'Agence. Ce travail est a priori complémentaire avec celui de Karine Lecerf et d'Elsa Vitorge (élèves ingénieurs EMSE) qui ont réalisé un premier dossier sur le sujet dans le cadre de l'option environnement.

- Laurent Danneville (1995) - Contribution aux eaux souterraines à la qualité et aux débits des eaux de surface. Exemple de la Garonne de ses sources à la confluence du Tarn. Thèse Doctorat es Sciences Université Paris XI Orsay, 1995, 432pp. L'EMSE tachera de se procurer cette thèse.

- Thèse en cours sur La Camargue (Avignon – Laboratoire d'Hydrologie).

- Référentiel des milieux physiques – Etat des berges du Rhône (Agence de l'eau).

Modèles : il existe un modèle sur l'Ain et un autre sur l'Ile de la Platière (BURGEAP). Il existe aussi un modèle couplé sur le Rhône – changements climatiques (Ledoux, EMP).

3. Biologie

- Faune souterraine : de la base de données PASCALIS, il est possible d'extraire et de spatialiser les espèces stygobies des aquifères de la vallée du Rhône. Si l'on se base sur les 19 secteurs pré-définis dans le document scientifique du projet, on constate qu'il y a 5 secteurs sur lesquels il n'y a aucune donnée de faune souterraine. Cette base de données utilise le référentiel BD Carthage, référentiel qui peut permettre de discriminer les aquifères alluvionnaires des aquifères encaissants.

Réunion : une réunion de travail sur la spatialisation de ces données et leur traitement SIG est prévue le **lundi 4 septembre à 14h00 au centre SITE** (Roland Déchomets, David Ferreira, Frédéric Paran).

- Végétation aquatique : certaines données sont en cours de traitement. Il semble qu'il existe un lien entre température de l'eau et la présence/absence d'espèces végétales. Une copie du tableau Excel répertoriant les études effectuées sur le Rhône en lien avec les interactions nappes-Rhône sera envoyé à G. Bornette par l'EMSE

4. Géo-répertoire

Compléter le géo-répertoire avec les données et rapports de chacun des partenaires.

5. Recherche de données et de rapports

Il est prévu de faire la tournée des laboratoires référents pour compléter et préciser les données déjà communiquées :

- Avignon et Montpellier ; géochimie, Oxygène 18 (EMSE – Graillot et Paran)
- Chambéry et Marseille ; Cécile Claret (Gibert et Ferreira)
- La Tour du Valat (Bornette)

6. Divers

- penser à compléter la BD ADES avec nos propres données.

La prochaine réunion de travail aura lieu le
mercredi 6 septembre à 9h30 à l'Agence de l'Eau à Lyon.

Annexe 12.3. Réunion du 6 septembre 2006 – Agence de l'eau (Lyon)

Personnes présentes : Laurent Cadilhac (Agence de l'eau RMC), Frédéric Immediato (Agence de l'eau RMC), Anne Gangloff (SMIRCLAID), David Ferreira (EHF-Lyon 1), Sara Puijalón (EHF-Lyon 1), Didier Graillot (SITE-EMSE), Roland Déchomets (SITE-EMSE), Frédéric Paran (SITE-EMSE).

Personnes excusées : Janine Gibert (EHF-Lyon 1), Gudrun Bornette (EHF-Lyon 1)

Préambule : Rappel du déroulement du projet

- *Année 1* : identification des données pour caractériser qualitativement les écoulements souterrains du Rhône du lac Lemán au delta de Camargue et zoom sur une zone test ;
- *Année 2* : approche quantitative des écoulements souterrains ;
- *Année 3* : précision par modélisation.

Ce travail constitue un test pour l'Agence de l'eau pour évaluer l'apport, la complémentarité de différentes disciplines pour connaître les relations de drainage et d'alimentation entre un cours d'eau et ses aquifères. Par exemple, comment des résultats obtenus à l'aide d'études hydrogéologiques peuvent être confirmés par des indicateurs biologiques (invertébrés souterrains et végétation).

L'objectif premier est de recueillir un maximum de données et de références bibliographiques concernant le Rhône du Lemán à la Camargue. Dans un second temps, un zoom sera effectué sur la zone de Jons à Brégnier-Cordon (**sous réserve de désignation d'un site plus adapté**).

Concernant le rendu, EZUS a édité une fiche d'aide qui sera transmise à D. Graillot.

1. Retour sur le CR de la réunion précédente

Il est nécessaire d'organiser de nouveau une réunion (suite à celle du 8 novembre 2005) avec des équipes de recherche extérieures au projet et détentrices de données : Université de Chambéry, Université de Montpellier, Université de Toulouse, Cemagref Lyon en y associant éventuellement : CNR, VNF, EDF, DIREN, DDAF Rhône.

Il est nécessaire de bien caractériser les données recueillies à l'aide de métadonnées (date, auteur, propriété, méthode d'échantillonnage...) intégrées dans le géorépertoire ZABR ce qui facilitera les interprétations sur SIG.

Il y a un gros besoin d'actualisation des données piézométriques de la vallée du Rhône car la plupart de celles détenues par l'Agence de l'eau datent d'avant les aménagements. Il est aussi impératif de bien connaître les aménagements et les débits du Rhône (moyennes).

Des données peuvent être obtenues par l'intermédiaire de :

- OSIRIS (voir avec A. Gangloff) : Etude des nappes d'accompagnement du Rhône et de l'incidence des pompes à l'île de La Platière (3 campagnes piézométriques) ; **liste bibliographique des études réalisées sur La Platière pour compléter la liste existante (une visite du site est prévue le mardi 12 septembre après-midi)**.

- La CNR concernant les contres-canaux (profondeur, rôle, ligne d'eau, bathymétrie), les autres aménagements (hydroélectriques, centrales nucléaires) et les débits du Rhône. Il est impératif de prendre contact avec eux car sinon la recherche de l'information disponible peut s'avérer difficile. Un correspondant à la CNR pourrait nous aider à faire le tri (au niveau de chaque Direction Régionale).

- VNF (voir avec Ludovic Chambon) : étude réalisée par le service navigation concernant la navigabilité touristique (2000).

Il existe à notre connaissance deux rapports sur les aménagements du Rhône :

- Savey, P. (1982) L'aménagement intégré d'un grand fleuve : le Rhône. Conception générale et effets sur les crues et les nappes phréatiques. Houille Blanche, N°5/6, 421-425, CNR, 5p.
- Coulet M., Venard B., Monnet P. (1997) Impact des aménagements hydroélectriques sur l'écosystème Rhône. FRAPNA, 181p.

Il existe aussi une étude sur la végétation du Marais de Lavour (Girel, Université de Grenoble)

2. Analyse du Rapport d'A. Schindler

Ce travail très intéressant reste à valider et à compléter notamment avec l'influence des contre-canaux sur les échanges et en précisant particulièrement les échanges sur la zone test. Il est aussi nécessaire de faire le lien avec les aquifères superficiels directement en lien avec le Rhône et ceux alimentant ces derniers (aquifères karstiques ou cristallins par exemple).

Les travaux du BRGM sur les aquifères du bassin du Rhône pourraient permettre de mieux décrire les relations aux limites des polygones.

Le travail d'A. Schindler découpe le Rhône en 47 tronçons identifiés sur des critères hydrogéologiques. Dans l'annexe technique du projet, le Rhône avait été préalablement découpé en 19 tronçons. **Il faudrait à la prochaine réunion fixer le découpage définitif sachant que la priorité pourrait être donnée à la structure géologique qui conditionne le tronçon, car c'est un critère stable.**

3. Analyse SIG intégrant les résultats du rapport d'A. Schindler et les données faune stygobies

Il s'agit d'un premier travail d'intégration de données hydrogéologiques et biologiques (invertébrés stygobies) sous SIG.

Concernant, les données faune souterraine leur compilation n'est pas entièrement terminée. Il reste à homogénéiser la taxonomie, à compléter le géoréférencement, et à intégrer les données invertébrés stygophiles et stygoxènes. Pour ces derniers, l'attribution du statut écologique peut nécessiter l'intervention d'un expert.

La base de données invertébrés pourrait être complétée avec les champs suivants : date de prélèvement, paramètres physico-chimiques (température, conductivité, profondeur, technique d'échantillonnage, concentrations en certains ions).

Il est aussi nécessaire de vérifier si les données oligochètes collectées sur le Rhône et certaines lônes ont toutes été intégrées dans la base de données (voir M. Lafond, Cemagref Lyon). **Selon le positionnement des stations échantillonnées ceci pourrait conduire à une rediscussion de la zone zoom-test.**

Sur un plan méthodologique, il est d'ores et déjà possible de préciser le mode d'utilisation pratique des données de faune souterraine. Les assemblages faunistiques sont discriminants par rapport aux caractéristiques hydrogéologiques, aux conditions d'alimentation et aux distances par rapport au chenal. Il est par exemple possible de faire des hypothèses sur des alimentations préférentielles par des eaux souterraines ou superficielles en fonction de la dominance de taxons stygobies ou stygoxènes. Il est aussi possible d'affiner ce travail en tenant compte du statut permanent ou occasionnel des stygophiles, et du statut phréatique ou superficiel des stygobies.

Ces résultats devront être confrontés aux résultats d'analyses hydrogéologiques fondées sur la caractérisation des gradients hydrauliques entre le fleuve et la nappe.

Concernant la végétation, des données récentes sont disponibles sur les lônes (Christophe Henry, organisme ???) ainsi que des données plus anciennes. Un travail sur les relations entre la végétation et les caractéristiques des habitats est engagé, notamment par rapport à la température et à la stabilité thermique.

Ainsi, la végétation est un indicateur des arrivées phréatiques dans les lônes. En plus des données botaniques, il existe des données chimiques (ammoniacque, température...). Des relevés de végétation sur des gravières sont prévus.

Notre travail devra considérer les informations issues :

- du rapport indice géochimique (Agence de l'eau, BRGM),
- de la base de données ADES,
- d'un suivi piézométrique du parc de Miribel (SEGAPAL, voir Muriel Champion),
- de la base de données du Grand Lyon (Courly)
- de modèles de la base vallée de l'Ain (BURGEAP).
- de données de la CNR : débit du Rhône (précision 10%), niveau du Rhône, niveau phréatique
- du suivi du Plan Rhône (données hydrologiques superficielles) sur le secteur de Jons à Brégnier-Cordon (voir accord CNR-EZUS, Jean-Michel Ollivier),

Pour un meilleur repérage (villes, relief) le long du Rhône une carte au 1/100 000^e sera intégrée au SIG. Par ailleurs, concernant le SIG, une question se pose quant à la pertinence ou non de dédoubler les arcs sur le linéaire du Rhône pour dissocier les échanges rive droite et rive gauche du fleuve avec les aquifères.

4. Récupération de couches de données et de rapports

Nous avons récupéré les documents :

- Thèse de Pierre Mandier : Le relief de la moyenne vallée du Rhône au tertiaire et au quaternaire – essai de synthèse paléogéographique.

- Couverture SIG masses d'eau souterraine et rivières du bassin du Rhône

- Lien Internet vers la BD RHF V1 :

http://sandre.eaufrance.fr/app/catalogue/geocatalogue.php?id_article=103

- Mise à jour de la BD RHF pour le Languedoc-Roussillon

5. Collaboration franco-australienne

Il est convenu d'associer au projet Ian Overton du CSIRO (Adélaïde, Australie) qui travaille en collaboration avec Gudrun Bornette. Il travaille sur la réponse du recouvrement de la végétation terrestre en fonction des écoulements souterrains, des perturbations hydrauliques dans un contexte de problèmes de salinité et de sécheresse sur la rivière Murray. Ce travail mobilise les SIG, les cartes de végétation, les modèles hydrodynamiques (Modflow), l'imagerie satellite et les photos aériennes.

Ce travail est en lien avec l'Université de Toulouse (E. Tabacchi) et l'ENS (Hervé Piegay).

Une présentation PowerPoint des travaux de Ian Overton nous a été communiquée.

6. Point par rapport à la convention

Inventaire de tâches à accomplir dans les prochaines semaines :

- **Faune souterraine (J. Gibert, D. Ferreira)**

- Rédiger un descriptif des mécanismes qui impliquent la faune souterraine dans les échanges souterrain/superficiel.

- Intégrer les données d'abondance faunistique (numération, comptage) au départ pour le secteur zoom-test puis pour l'ensemble de la zone d'étude.

- Vérifier le géoréférencement des stations (positionnement des stations rive droite ou rive gauche), homogénéiser la taxonomie et intégrer les données invertébrés stygophiles et stygoxènes

- **Végétation (G. Bornette, S. Puijalon)**

- Rédiger un descriptif des mécanismes qui impliquent végétation dans les échanges souterrain/superficiel.
- Compléter le tableur Excel avec les données bibliographiques.

- **Hydrogéologie (D. Graillot, R. Déchomets, F. Paran)**

- Vérifier que les données Oligochètes du Cemagref sont intégrées dans la base de données, sinon les récupérer et compléter la base. Ces données pourraient servir à redéfinir la zone zoom-test sur des secteurs plus représentatifs.
- Récupérer les données concernant la piézométrie des aquifères, des canaux et contre-canaux.
- Intégrer au SIG le découpage des fonds hydrogéologiques du BRGM et celui des masses d'eau DCE souterraines et superficielles.
- Intégrer les débits du Rhône.
- Contacter EDF et CNR
- Récupérer les références bibliographiques.
- Récupérer les modèles nappe-cours d'eau (EMP, Ledoux).

- **Autres tâches**

Prévoir une réunion de travail le 4, 5 ou 6 décembre 2006 pour une restitution de l'état d'avancement de l'étude avec : les Universités déjà sollicitées pour les données, le Cemagref ainsi que éventuellement la CNR, EDF, VNF, le BRGM, la DIREN et la DDAF Rhône.

-
- Rendre un rapport intermédiaire pour le 15 novembre 2006 qui comportera 2 volets : 1) inventaire des données et des rapports ; 2) notice méthodologique mettant en lumière l'utilisation pratique des données biologiques et commentaire méthodologique sur l'outil d'interprétation.

7. Rappel des sources évoquées lors de la première réunion

Rapports :

- Laurent Danneville (1995) - Contribution aux eaux souterraines à la qualité et aux débits des eaux de surface. Exemple de la Garonne de ses sources à la confluence du Tarn. Thèse Doctorat es Sciences Université Paris XI Orsay, 1995, 432pp. L'EMSE tachera de se procurer cette thèse.
- Thèse en cours sur La Camargue (Avignon – Laboratoire d'Hydrologie).
- Référentiel des milieux physiques – Etat des berges du Rhône (Agence de l'eau).

Modèles : il existe un modèle sur l'Ain et un autre sur l'Ile de la Platière (BURGEAP). Il existe aussi un modèle couplé sur le Rhône – changements climatiques (Ledoux, EMP).

Il est prévu de faire la tournée des laboratoires référents pour compléter et préciser les données déjà communiquées :

- Avignon et Montpellier ; géochimie, Oxygène 18 (EMSE – D. Graillot et F. Paran)
- Chambéry et Marseille ; Cécile Claret (J. Gibert et D. Ferreira)
- La Tour du Valat (G. Bornette)

Annexe 12.4. Réunion du 2 février 2007 – Université Lyon 1, Villeurbanne : Comité Technique

Personnes présentes : Laurent Cadilhac (Agence de l'eau RMC), Yves Travi (Université d'Avignon), Michel Lafont (Cemagref), Janine Gibert (EHF-Lyon 1), David Ferreira (EHF-Lyon 1), Gudrun Bornette (EHF-Lyon 1), Sarah Puijalon (EHF-Lyon 1), Didier Graillot (SITE-EMSE), Roland Déchomets (SITE-EMSE), Frédéric Paran (SITE-EMSE).

Rappel de l'ordre du jour

1. Retour sur la présentation du 4 janvier 2007, remarques sur le rapport et ses annexes
2. Présentation des données CNR sur la chute de Brégnier-Cordon (Contacts à la CNR : Éric Doutriaux, Yan Taravel) - Autres données acquises sur la chute de Brégnier-Cordon
3. Travail initié sur les données CNR
4. Autres données à récupérer
5. Données géochimie et site à choisir
6. Tâches à réaliser :
 - sur Brégnier-Cordon
 - sur un site PACA - LR
7. Autres points – Année 2

Points importants :

- *Le prochain rapport doit être livré pour fin mars 2007.*

Compléments au rapport précédent :

- compléments bibliographiques sur les méthodes hydrogéologiques ;
- exploitation de la synthèse des données générales existantes sur certaines nappes du Haut-Rhône (Conseil Général de Savoie, DDAF Savoie - référence Agence de l'eau RMC : n°19347, J.P. Rampoux 91-92) ;
- résultats du travail effectué sur la chute de Brégnier-Cordon avec les données CNR ;
- méthode de calcul des apports souterrains et étude de la transposabilité sur le linéaire du Rhône ;
- vérification des apports à l'aide des données biologiques ;
- apports de la visite de terrain et des rencontres avec Bruno Muscat (Chargé de mission syndicat du Haut-Rhône) et Robert Mariaudeau (Maire de Brégnier-Cordon) ;
- discussion de la sectorisation et des hypothèses d'échange nappe/Rhône issue de travaux antérieurs au regard des nouveaux résultats ;

- *Visite de terrain à Brégnier-Cordon le 16 mars 2007.*

- *Rencontre avec la CNR (date à définir).*

1. Retour sur la présentation du 4 janvier 2007, remarques sur le rapport « phase initiale » et ses annexes

Les points suivants sont issus des discussions ayant eu lieu le jour de la présentation :

- *Inventaire des connaissances* : il ne suffit pas d'interroger les bases de données, il faut aussi s'adresser directement aux sources car de nombreuses connaissances (ex : DEA, DESS...) ne sont répertoriées nulle part ;

- *Données* : intégrer celles du Réseau national des données de l'eau (notamment pour la physico-chimie), de l'Agence de l'eau et de la Zone Atelier ORME (Observatoire Régional Méditerranéen sur l'Environnement)

- *Qualité de la ressource* : on s'intéressera aux influences des eaux du Rhône sur la qualité de la nappe alluviale, ces mélanges pouvant être bénéfiques (ex : effet de dilution vis-à-vis des problèmes de nitrates dans la plaine du Tricastin) ou à l'inverse poser problème (ex : pollution accidentelle des eaux du Rhône et contaminations de captages en nappe par micropolluants organiques présents dans les eaux du Rhône par le passé).

- *Relations d'échange nappe/Rhône* : quand il n'est pas possible de bien prendre en compte les variations saisonnières, il convient de parler de dominance dans les relations. Le travail sur la situation en basses eaux est prioritaire pour l'approche de la contribution des nappes au débit du Rhône en étiage.

- *Les aménagements* : prendre en compte l'effet évolutif des aménagements au fil des années (ex : Fe/Mn – travail sur des chroniques de plusieurs années).

- *Zone hyporhéique* : nécessité de corrélérer les indicateurs biologiques avec d'autres traceurs pour préciser leur potentialité en tant que traceurs de temps de transfert (par exemple avec le tritium), ou de mélange (par exemple, isotopes stables de l'eau ou éléments chimiques conservatifs).

- *Aquifères* : le BRGM doit bientôt sortir un nouveau référentiel des aquifères Rhône-Alpes, travail achevé pour les régions LR (tous types de formations) et en PACA (systèmes alluvionnaires) – ce procurer ces données SIG auprès de l'Agence. Des informations sur les transmissivités existent dans différentes publications en particulier pour département du Rhône.

Les points suivants ont été évoqués par L. Cadilhac le jour du Comité Technique :

- *Points positifs* : le nombre de disciplines présentes ;
la banque de données des connaissances ;
l'état de l'art sur les méthodes biologiques.

- *Points à compléter ou améliorer* : un état de l'art sur les méthodes hydrogéologiques d'approche des échanges à compléter (embauche d'un stagiaire anglophone programmée) ;
une vision des échanges à élargir au-delà des seuls berges ; intérêt en terme de vulnérabilité de distinguer les zones sous influence d'apports du Rhône de celles déconnectées et dépendantes d'impluviums locaux ; caractérisation des échanges issue des travaux antérieurs à expertiser et compléter via les nouvelles données acquises ou en cours d'acquisition (il convient de réaliser des apports à cette caractérisation notamment par le calcul des débits d'échange à l'aide des données CNR sur des zones à valider par la biologie).

L'intégration de la géochimie aux travaux déjà réalisés et exposés dans le rapport « phase initiale » seront effectués avec le Laboratoire d'Hydrogéologie d'Avignon (LHA) ; la démarche pourrait s'appuyer sur l'expérience acquise par le PIREN Seine et notamment sur les travaux de l'Ecole des Mines de Paris en couplant modélisation mathématique et isotopes pour faciliter le calibrage des modèles.

2. Présentation des données CNR sur la chute de Brégnier-Cordon (Contacts à la CNR : Éric Doutriaux, Yan Taravel) - Autres données acquises sur la chute de Brégnier-Cordon

La liste non-détaillée des données fournies par la CNR est la suivante :

- Cartes d'implantation des ouvrages (1/25 000e : 3 fonds IGN de 1998, situation actuelle)
- Cartes piézométriques de la nappe avant aménagement (1/20 000e : 11/1978 basse, 4/1979 moyenne, 7/1978 haute) ;

- Profil en travers topographique et piézométrique (Échelle variable, 3 en rive droite (T1, T6, T7), 5 en rive gauche (T9, T11, T13, T14, T15), 04/2002-05) ;
- Profil en long topographique et piézométrique dans les digues (Échelle variable, 1 rive droite (T1), 1 (13) rive gauche (T8 à T15), 04/2002-20) ;
- Carte de découpage en tronçons (Échelle inconnue, 15 tronçons (T1 à T7 en rive droite et T8 à T15 en rive gauche), situation actuelle) ;
- Chronique de débits dans les contre-canaux (Stations de jaugeage en rive gauche (2, 5, 7, 15, 16, 30, 33, 38) et en rive droite (10, 38, 38), décembre 1989 à décembre 2005) ;
- Carte de localisation des stations de jaugeage des contre-canaux (Échelle inconnue, 7 en rive gauche, 3 en rive droite, 2002-2005, situation actuelle) ;
- Mesure de hauteurs d'eau et de débits dans le Rhône et le Guiers (précision 10 à 20%, avril 2004) ;
- Débits moyens annuels dans le Rhône (Débit entrant à Brens 1988-2005, Débit du Guiers à Belmont 1986- 2005, débit sortant au Pont de Groslée 1996-1999, débit sortant au Pont d'Evieux 2000-2005 – précision 10 à 20%) ;

Les autres données acquises sur la chute de Brégnier-Cordon sont les suivantes :

- Photos aériennes 2005, 1991 et 1983 ;
- Couvertures SIG : cartes piézométriques, villes, pont, barrages, points cotés (profondeur de la nappe), Rhône, rivières, contre-canaux, siphons, stations de jaugeage, station de pompage.
- Cartes piézométriques 1990, 1991 (données CNR in Rampnoux, 1991-1992).

Suite à cette présentation des données il apparaît :

- qu'il serait essentiel de disposer de cartes piézométriques après aménagement et/ou de relevés de hauteurs d'eau dans la nappe et dans le Rhône ;
 - qu'il serait intéressant de disposer de variations piézométriques reliées aux variations du niveau du Rhône et de données piézométriques alignées le long du Rhône ;
 - qu'une correction avec la température pour le calcul des débits est effectivement nécessaire en cas de jaugeage hydrochimique ;
 - qu'il faut prévoir un rendez-vous avec Bruno Muscat (chargé de mission du syndicat Haut-Rhône) et le maire de Brégnier-Cordon (ancien géographe).
- qu'il faudrait récupérer les rapports SNCF lors de la construction du TGV pour des secteurs au sud de Lyon.

3. Travail initié sur les données CNR

Suite à la présentation du travail initié avec les données CNR la discussion a fait émerger les points suivants :

- le fonctionnement de la chute de Brégnier-Cordon semble stabilisé à partir de 1990. En effet, suite à la mise en service en 1984 des contre-canaux ont été ajoutés, ainsi qu'un seuil sur le Rhône endigué à la hauteur de Roussillon ;
- ce travail devra être affiné à l'aide de données piézométriques complémentaires (notamment celles après aménagement) ; du fond géologique du secteur et des photographies infrarouges ; du débit spécifique des nappes sur le secteur qui est de l'ordre de 15l/s/km² ; il devra tenir compte d'éventuels problèmes de Fe/Mn au niveau des captages (la surélévation des niveaux piézométriques en nappe suite aux aménagements et la diminution du débit au niveau du Vieux-Rhône et des bras morts favorise la constitution de milieux réducteurs). Il convient aussi de s'assurer du degré de confiance des mesures de débits et de faire préciser à la CNR la finalité de chacun des contre-canaux.
- les résultats devront être corrélés aux populations d'invertébrés et à la végétation aquatique.

4. Autres données à récupérer

Il est prévu une rencontre avec messieurs Taravel et Doutriaux de la CNR pour leur exposer le travail initié, leur demander des éclaircissements sur certaines données et des données complémentaires. Des données complémentaires pourront être demandées à EDF si la CNR n'en dispose pas.

Ce travail devrait conduire à l'élaboration d'une méthodologie pour réaliser les schémas hydrauliques, réaliser les bilans qualitatifs et quantitatifs locaux à l'échelle d'une chute CNR sur les échanges nappes/Rhône. Cette méthodologie pourra ensuite être mobilisée sur d'autres chutes. A terme, il conviendra de réaliser des bilans et de vérifier leur cohérence sur des tronçons plus longs associant plusieurs chutes.

De plus, il convient de récupérer des sources bibliographiques identifiées sur le secteur grâce au géorépertoire.

Les résultats de ce travail devront être appuyés par des données biologiques et chimiques :

- *les données macrophytes* : repérer les données existantes sur le secteur dans la base de données « Lône » et les compléter à l'aide de prélèvements complémentaires en juillet-août dans les affluents du Rhône, les gravières et les contres-canaux ;

- *les données invertébrés souterrains* : repérer les données existantes dans la base de données « stygobie » et les compléter à l'aide des données stygophiles et stygoxènes et de prélèvements complémentaires.

- *les données physico-chimiques* : prévoir 6 campagnes annuelles de mesures, des points eutrophies, des données thermie.

A l'heure actuelle, il semble que les prélèvements biologiques ne pourront pas être effectués en aveugle, mais sur des sites sélectionnés pour leur représentativité, ceci afin de diminuer le temps de travail et les coûts. Par ailleurs, il a été souligné que si la biologie peut nous donner des indications semi-quantitatives sur les échanges, seule une modélisation hydrodynamique pourra fournir des estimations en terme de volumes d'échanges suffisamment précises.

5. Données géochimie et site à choisir

Plusieurs travaux du LHA sur la Plaine irriguée de Cavailon-Carpentras ont montré l'utilité des isotopes stables de l'eau pour identifier les apports de la Durance, via l'irrigation, aux alluvions du Rhône.

Pour avoir une idée d'ensemble du fonctionnement « isotopique » du Rhône, il serait nécessaire d'identifier 5 ou 6 points clés sur l'ensemble de son cours et d'effectuer plusieurs prélèvements à différentes périodes (le coût d'une analyse Oxygène 18 et Deutérium est de 55 €). L'utilisation du deutérium est nécessaire, en nombre plus réduit, pour contrôler l'influence éventuelle de l'évaporation sur le marqueur isotopique. Cette méthode a été largement utilisée et validée dans la région de Carpentras-Avignon. Dans la région des travaux ont aussi été effectués en Ardèche et dans le Massif Central.

Sur le secteur de Brégnier-Cordon, sur lequel aucune donnée géochimique n'a été recensée, il semble essentiel de récupérer les valeurs du karst environnant pour effectuer un tel travail. Une approche par la chimie classique ne semble pas adaptée, car il existe peu de différence entre eaux souterraines et eaux superficielles sauf sur certaines rivières bien marquées chimiquement (ex : La Saône avec le Cl).

Le tritium peut être utilisé pour estimer les temps de séjour de l'eau dans les eaux souterraines.

Des travaux spécifiques sur le carbone 13 ont été effectués par Anne Marie Aucourt sur le Rhône lui même. D'autres travaux en géochimie et géochimie isotopique existent : De la Vaissière R. "Etude de l'aquifère néogène du Bas-Dauphiné. Apport de la géochimie et des isotopes dans le fonctionnement hydrogéologique du bassin de Valence (Drôme, Sud-Est de la France)."

Avant de choisir un site pour associer les méthodes géochimiques aux méthodes biologiques et hydrauliques, il convient d'abord d'avoir une vision d'ensemble du comportement isotopique d'ensemble du Rhône. Sur un tel site, il pourra ensuite être intéressant de coupler modélisation mathématique et isotopes.

Lors de la discussion plusieurs sites ont été envisagés :

- la portion de la plaine du Rhône susceptible d'être fortement alimentée par le karst en aval du défilé de Donzère (nombreuses données macrophytes), nappes alluviales et Rhône potentiellement alimentée par système de Tourne en rive droite (Bourg-Saint-Andéol) et apports du karst urgonien rive gauche sud du bassin de Montélimar ;

- la confluence Rhône/Drôme (secteur des Ramières élargi) pour son gradient climatique, ses données macrophytes et le bilan réalisé par le BRGM. Il n'y a pas de données invertébrés et géochimiques ; possibilité aussi d'approche des contributions de la nappe miocène à l'amont de la cluse de Livron/Drôme ;

- Secteur confluence du Lez (problématique d'assèchement de lônes) ;

- Secteur de Donzère Mondragon ;

- Jonction bassin de Valréas-Bassin de Carpentras (rôle des nappes profondes miocène pour le soutien d'étiage du Rhône.

6. Tâches à réaliser :

6.1. Sur Brégnier-Cordon

- acquisition de données hydrauliques complémentaire auprès de la CNR ;
- repérage des prélèvements biologiques et acquisition de données complémentaires ;
- visite de terrain programmée le 13 mars 2007 ;
- contacts avec Bruno Muscat et le Maire de Brégnier-Cordon.

6.2. Sur un site PACA - LR

Le choix du site est reporté à une autre réunion technique. Il se fera à l'aide de supports cartographiques.

7. Autres points

7.1. Année 2

Il convient de modifier la « Fiche action de recherche valorisation n°A11 » rédigée pour l'année 2 en insistant sur la notion de transversalité : transversalité avec le Plan Rhône, identification des ressources stratégiques AEP (article 21 de la nouvelle Loi sur l'eau qui priorisation de l'usage AEP dans ces aires), vulnérabilité en utilisant les 2 fiches reproduites en annexe du rapport intermédiaire ;

A l'échelle de la vallée du Rhône, il va s'agir de déterminer quels secteurs dépendent de la nappe et/ou du Rhône, et de considérer le devenir de la ressource sur le long terme.

Un bilan devra être fait également vis-à-vis des données qui seraient à acquérir sur les secteurs peu connus (notamment piézométrie) pour que l'Agence puisse chiffrer et lancer un programme d'acquisition de ces données.

7.2. Publications

- proposer un article de vulgarisation de l'intention méthodologique dans la revue professionnelle sur les cours d'eau ;

- proposer une publication méthodologique ;

- le Rhône en 100 questions (eaux souterraines)

7.3. Manifestation

Congrès SHF Variations climatiques et hydrologie : 27 et 28 mars prochain à Lyon. Le climat, ses variations séculaires et ses changements pronostiqués : quel impact sur l'hydrologie (les ressources en eau et les événements rares, étiages crues).

7.4. Intégration d'équipes hors ZABR au projet

Une demande sera faite au comité de direction ZABR pour intégrer dans le GIS d'autres Universités travaillant sur le Rhône et travaillant en collaboration dans le cadre de l'accord ZABR-Agence comme Avignon et Montpellier.

Un exemplaire du document GIS sera envoyé à Y. Travi pour un premier examen par les services compétents de l'Université d'Avignon.

Annexe 12.5. Sortie de terrain du 16 mars 2007 à Brégnier-Cordon

Personnes présentes :

Bruno MUSCAT (Chargé de mission, syndicat du Haut-Rhône), Gudrun BORNETTE (EHF – Lyon1), David FERREIRA (EHF – Lyon1), Marie-José OLIVIER (EHF – Lyon1), Didier GRAILLOT (SITE-EMSE), Roland DECHOMETS (SITE-EMSE), Frédéric PARAN (SITE-EMSE), Alix GERMAIN (Stagiaire, SITE-EMSE).

La visite s'est déroulée en plusieurs temps :

- rendez-vous à la maison des Isle de Brégnier-Cordon,
- présentation du planning de la journée et du travail respectif des différentes personnes présentes,
- visite des différents sites sur la zone de la chute de Brégnier-Cordon,
- rendez-vous avec le maire de Brégnier-Cordon.

1) OBJECTIF DE LA VISITE DE TERRAIN

Cette visite de terrain est complémentaire à celle réalisée en décembre 2005, il s'agissait d'examiner plusieurs sites en complément à ceux de la dernière visite.

Le programme de cette mission de terrain comportait :

- l'examen de 4 sites avec quelques mesures de base (conductivité, température),
- un repérage pour des prélèvements complémentaires (invertébrés souterrains, végétation aquatique, physico-chimie, chimie isotopique) par rapport à l'échantillonnage existant afin de procéder ultérieurement à une campagne de mesure plus systématique,
- le point en équipe sur l'avancement du projet.

Il s'agissait également de voir si d'autres interlocuteurs connaissant bien ce secteur étaient susceptibles de nous éclairer sur le fonctionnement hydraulique du secteur (Maire de Brégnier Cordon et chargé de mission du syndicat du haut Rhône).

Rappelons que l'objectif du travail sur le secteur de Brégnier Cordon est de confronter les interprétations hydrophysiques (EMSE) et hydrobiologiques (EHF) sur les échanges nappes-Rhône sur la chute de Brégnier-Cordon

Voir annexe : plan général

2) RENCONTRE AVEC B. MUSCAT, CHARGE DE MISSION AU SYNDICAT DU HAUT RHONE

Présentation du secteur par B. Muscat - Chargé de Mission du Syndicat du Haut-Rhône (SHR) depuis 2ans. Le secteur SHR va de la confluence avec le Fier jusqu'à Brégnier-Cordon.

- *Plan décennal 1998-2008*

Il y a eu une prise de conscience des élus et un regard croisé des élus et des scientifiques.

Malgré les subventions et le regain économique dû au tourisme, la population locale regrette le secteur avant aménagement : le paysage a été bouleversé, les conditions de circulation et de déplacement ont été modifiés. Un canal a remplacé le Rhône et il y a donc eu une perte. En effet, la population est très attachée à son territoire (notion de patrimoine très important).

- *Un énorme bouleversement sur les débits réservés :*

Les débits sur les tronçons court-circuités du Rhône sont essentiels pour subvenir à la biodiversité du site. C'est pourquoi les débits réservés qui sont fixés par arrêté préfectoral ont été revus et corrigés en 2006 :

- sur la chute de Chautagne ; une augmentation du débit réservé de 4 à 16% du module d'écoulement, soit 15 à 57m³/s dans le Rhône court-circuité,

- sur la chute de Belley ; une augmentation du débit réservé de 8 à 17% du module d'écoulement, soit de 35 à 17m³/s dans le Rhône court-circuité,

- sur la chute de Brégnier-Cordon, il n'y a pas eu de modifications car il y avait déjà un débit réservé assez important (le débit réservé est toutefois passé de 1/20^e du module en 1980 à 1/6^e du module en 2004). En effet, le Guiers est présent, et représente un moyennement gros affluent (20 à 22m³/s).

Cependant, la mesure du débit réservé est réalisée après cet affluent ce qui en biaise l'évaluation. Il y a désormais un débit réservé de 25m³/s après le barrage de dérivation pour intégrer cet affluent. En juillet 2006, ce débit minimum à l'aval du barrage est passé à 65m³/s.

- *La station de Leschaux :*

Une station d'épuration est couplée à une usine qui se trouve en faillite. De ce fait, avec la diminution d'activité, les effluents entrants sont désormais insuffisants. Cette station est donc louée et recueille des eaux usées d'autres entreprises. Il y a de ce fait des dégagements d'odeurs qui gênent la population voisine qui demande la fermeture de l'usine.

- *Analyses physico-chimiques des rejets de Bourget du Lac :*

Nous ne disposons pas de données, mais un suivi est réalisé par le SISAL sur l'impact des rejets d'eaux issues de la station d'épuration des eaux usées et arrivant par la galerie.

La galerie mesure 12km de long, il existe 3 points d'analyse d'eau depuis 25 ans, réalisé à la sortie de la galerie et cinq km en aval, mais aussi dans les lînes à l'aval du barrage hydraulique (SISAL).

- *Autres :*

- Interlocuteur à la CNR : Mr Christian JIMENEZ qui est le directeur régional de Belley. Il gère le Rhône de la Suisse à Miribel-Jonage. Il nous permettra éventuellement d'obtenir des données annuelles sur les hauteurs piézométriques, les sections mouillées, ainsi que des données bathymétriques (profil en travers) si nos interlocuteurs de la CNR à Lyon sont d'accord.

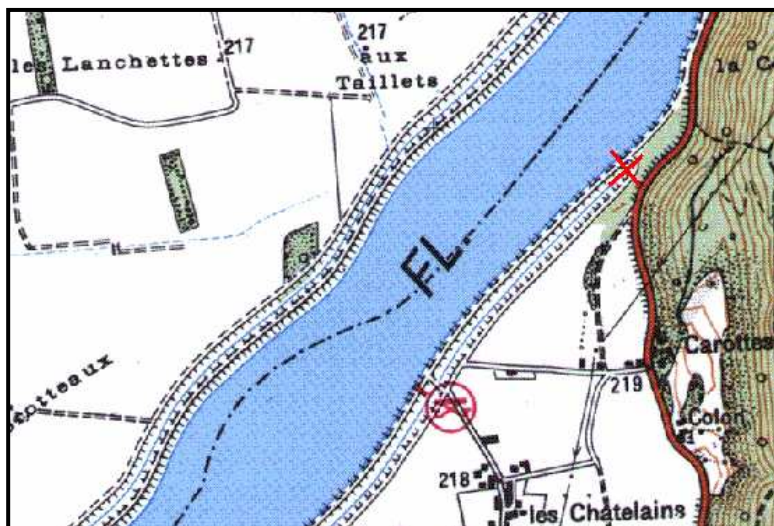
- ONF : gestion des plantes terrestres
 - Conservatoire Naturel de Savoie (zones Natura 2000)
 - Exploitants de granulats

Sur les gravières, pas de végétations âgées de plus de deux ans, car il y a un essartage systématique à l'aide de bulldozers pour éviter une augmentation trop importante de la ligne d'eau en cas de crues.

2) VISITE DE SITES

Premier site : lieu dit « Carottes »

Au début du contre-canal, on observe de nombreuses « résurgences » équidistantes et de débit assez identiques. D'après le maire de la commune de Brégnier-Cordon, il s'agit de tubages réalisés pour relâcher la pression de l'eau dans les digues du contre canal : des tubes de décharge.



En complément des prélèvements faunistiques déjà effectués par le passé sur le secteur de Brégnier-Cordon, un nouveau prélèvement a été effectué dans le contre-canal à au lieu-dit « Carottes » à 50cm de profondeur dans les sédiments afin d'avoir une idée de la diversité de la faune interstitielle présente.

D'après les premières mesures, on a :

Température : 10,8°C

Conductivité : 400µS (ce qui semble bien pour du karst)

Niveau mesuré sur le limnimètre implanté dans le contre-canal : 0,3m.

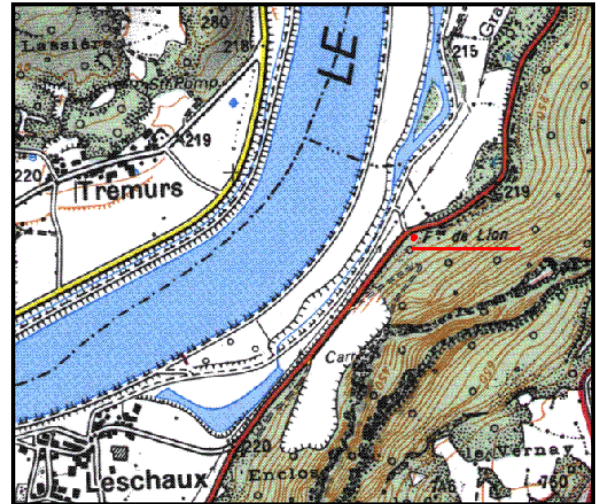
Le contre canal pourrait également recevoir de l'eau de la nappe alluviale très étroite dans ce secteur et en contact avec le karst

Après vérification sur les données de la CNR, il semble qu'il y ait environ 1,5m entre la hauteur du contre-canal et la surface du fleuve.

Données collectées : conductivité, température, prélèvement invertébrés, inventaire végétation aquatique (couvert et développement important pour la saison), prélèvement dans le Rhône et dans le contre-canal pour analyse isotopique.

Deuxième site : la Fontaine du Lion

Lors de visite, nous n'avons pas pu localiser précisément l'exutoire de la Fontaine du Lion, à l'est de la route (RN.516). Cependant, à l'ouest de cette dernière, on retrouve une sortie d'eau sous un arbre (débit estimé à 10l/s). Une autre sortie d'eau a été identifiée, les autres étant plus diffuses.



D'après les analyses, on a :

Température : 11,1°C

Conductivité : 481µS/cm à 20°C (ce qui confirmerait un apport du karst qui reste cependant très faible)

Le débit grossit très vite le long de ce petit ru, lié à des résurgences tout son long.

Il semblerait qu'il n'y a pas eu d'écoulement important depuis longtemps car il n'y a pas de marques de décapage et la végétation est présente dans le cours du ruisseau.

Données collectées : conductivité, température, inventaire végétation aquatique.

Troisième site : les étangs de Leschaux

A première vue, il semble que cela soit d'anciennes gravières, qui se sont transformées en étangs. Celui qui se trouve plus en aval est recouvert d'algues filamenteuses.

Le sol est de type limono sableux (appréciation : sable = 65%, limon = 35%). On peut supposer qu'il y a un apport phréatique.

On a pour 2 étangs analysés:

- le premier étang :

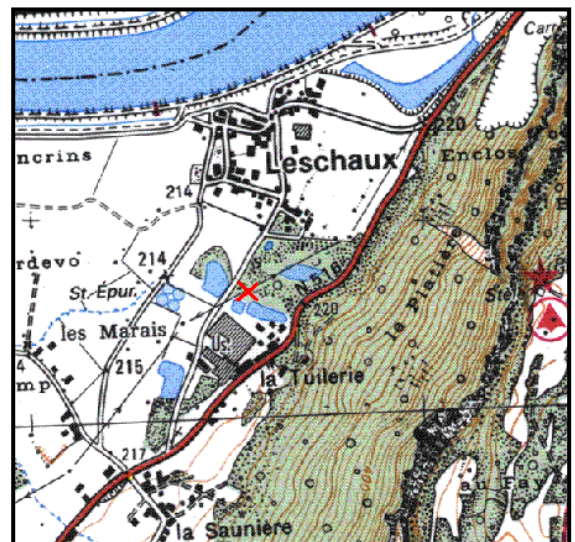
Température : 8,4°C

Conductivité : 619µS/cm à 20°C (655 au fond)

- le deuxième étang :

Température : 11°C

Conductivité : 697µS/cm à 20°C



Données collectées : conductivité, température, prélèvement invertébrés, inventaire végétation aquatique (couvert et développement important pour la saison), prélèvement dans le Rhône et dans le contre canal pour analyse isotopique.

Quatrième site : lieu-dit « Rossillon »

Le canal de drainage se trouve au pied d'une terrasse fluvio-glaciaire du Wurm adossée sur le rocher du chaînon calcaire. Il est alimenté par une arrivée d'eau d'un passage busé. Il s'agit en fait de drain qui viendrait de l'ancienne tranchée de chemin de fer.

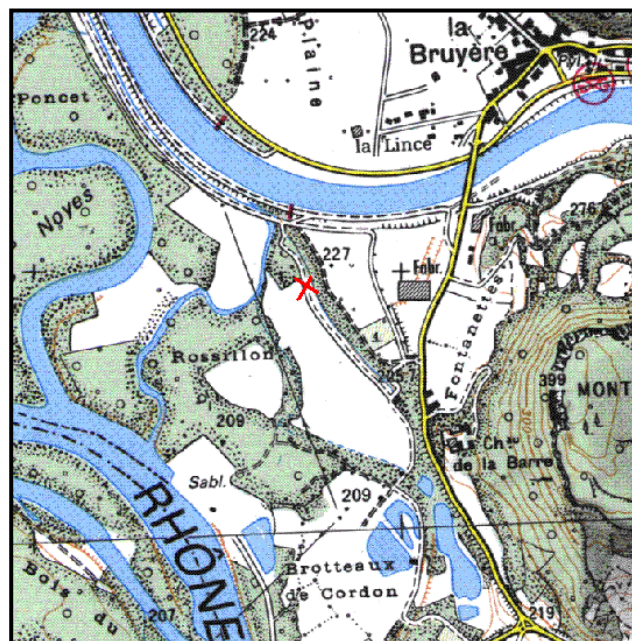
On a une présence d'arrivée d'eau dans le contre-canal (débit estimé à 10–20l/s)

Dans celui-ci, on retrouve un ancien tube piézométrique au débit jaillissant. Un prélèvement d'eau y a été effectué.

Le canal se jette ensuite dans l'ancienne lône du Rossillon, puis dans le contre canal longeant la digue.

D'après le maire de Bregnier-Cordon, il existerait un thèse réalisée entre 1990 et 1997 dans le secteur de ce contre-canal, et qui décrirait en particulier la géographie et géologie du sol (Directeur de thèse : Mr BOCQUET de l'institut géographique alpine-IGA). Au niveau des digues, les fuites se colmatent petit à petit, donc il y a moins d'arrivée d'eau.

Données collectées : conductivité, température, inventaire végétation aquatique, prélèvement dans le contre canal pour analyse isotopique.



4) RENCONTRE AVEC MR ROBERT MERIAUDEAU, MAIRE DE BREGNIER-CORDON

La rencontre s'est effectuée à la mairie et avait pour objectif d'obtenir des données sur les différents débits des affluents mais aussi de connaître des sources et des captages qui ne sont pas reportés sur les cartes IGN.

Le problème de la ressource en eau n'est pas réellement abordé avec les différents représentants des communes avoisinantes, mais les problèmes de qualité de l'eau et des actions de préventions de la pollution sont mis en avant.

Des données chiffrées n'ont pas pu nous être fournies pour les mesures de débit mais des noms de personnes à contacter :

AFFLUENTS	CENTRE A CONTACTER
FURA NS	Cellule environnement du Conseil Général de l'Ain Mr. COURTOIS Il est aussi possible de se référer au SIVOM et SIVU de l'inter commune
SAVE	Cellule environnement du Conseil Général de l'Isère J.P. BRAVARD, H. PIEGAY ou un étudiant ayant travaillé sur le sujet
GLAN	Cellule environnement du Conseil Général de l'Ain

D	Mr. COURTOIS Une étude a été réalisée sur ce cours d'eau Il est aussi possible de demander des informations aux gérants de la microcentrale électriques de Glandieu. (Centrale GLM, privée donc les propriétaires se situent à Langeac.
---	---

En ce qui concerne les nappes, on retrouve de nombreuses résurgences lors des hautes eaux.

Cependant, il y a quelques cavités souterraines près de la zone de baignade qui rejettent de l'eau au niveau des fossés, et ce en temps normal. D'autres petites résurgences existent :

- près du lieu-dit Trémurs,
- au nord de Brégnier-Cordon, au lieu-dit « Le Gaz », qui signifie ancien gué
- près d'une zone de marais, ou l'on retrouve de chaque coté des résurgences d'eau.

Au niveau des digues, les fuites se colmatent petit à petit, donc il y a moins d'arrivé d'eau.

En tout, on peut considérer que ces apports non permanents, pourraient représenter un débit total de 10 l/s dans la nappe alluviale en rive droite du Rhône.

Mr le maire nous a aussi donné des noms de personnes à contacter :

Elisabeth FABRE du CREN

Mr la maire d'Evieu, Guy PLANTIN

5) Conclusion provisoire sur les apports souterrains sur ce secteur

L'examen des circulations d'eau dans les contre-canaux suggère qu'il s'agit en grande partie d'infiltration de l'eau du Rhône à travers les digues. Cette hypothèse devra bien sur être confirmée par les analyses physico-chimiques et l'échantillonnage d'invertébrés souterrains. Les analyses isotopiques devraient pouvoir confirmer cela (temps de séjour et altitude de recharge). La visite de terrain laisse à penser que les contributions des massifs calcaires sont vraiment très faibles. Ceci peut expliquer que les débits des nappes au droit des contre-canaux – débits calculés à partir des cartes piézométriques de la CNR après aménagement - sont généralement bien inférieurs aux débits de jaugeage qui y sont mesurés par la CNR.

D'autres éléments plus localisés vont dans ce sens ; le débit de la nappe à l'aval de Saint-Genix-sur-Guiers est capté en majorité par le pompage 6l/s (soit 23 m³/h et le niveau dans le puits de Brégnier-Cordon est probablement inférieur à celui du Rhône.

En conséquence, il faudrait plutôt pondérer la contribution des nappes au Rhône dans ce secteur établie au cours des premières sectorisations ceci sous réserve de confirmation à l'aide des indicateurs biologiques (invertébrés et végétation aquatique) et d'une campagne de conductivité et de température plus systématique

PLANIFICATION CONCERNANT L'AVANCEMENT DU PROJET ET L'ELABORATION DU RAPPORT FINAL-PHASE1 :

F. PARAN, D. GRAILLOT, R. DECHOMETS, A. GERMAIN:

- Elaboration du rapport final et restructuration des parties 3 et 4,
- Ajout des interprétations des données CNR,
- Exploitation bibliographique complémentaire sur les méthodes de calcul des échanges (modélisation) et sur les nouvelles données de Brégner-Cordon (nouvelles thèses et rapports d'étude...),
- Intégration des premiers résultats croisés (corrélation hydro et bio),
- Insertion des cartes d'échanges dans le rapport.
- Envoi des cartes de terrain avec sens écoulements et débits à D. Ferreira et G Bornette.

D. FERREIRA, M-J OLIVIER, J GIBERT :

- Interprétations des points existants avec commentaires (insérer dans le rapport et/ou la base de données SIG)
- Tri du prélèvement effectué dans le contre-canal à « Carottes »

G BORNETTE :

- Envoi de fichier de piézo photocopiés sur Brégner-Cordon puis interprétation des relevés de végétation déjà existants sur les lônes étudiées de BC

Tout ceci devra être envoyés pour le 30 mars 2007 à F. PARAN qui transmettra le rapport final pour le 20 avril pour diffusion à l'agence.

Autres tâches

D. FERREIRA :

Envoi, dès que possible (une fois les données brutes récupérées et intégrées) de la base de données stygobies complétée avec stygophiles et stygoxènes

G BORNETTE :

Une campagne de mesures de conductivités des eaux superficielles et programmée dans les prochains mois.

L.CADILHAC :

Récupération des couvertures SIG des aquifères LR PACA en attendant que celles de Rhône-Alpes soient disponibles

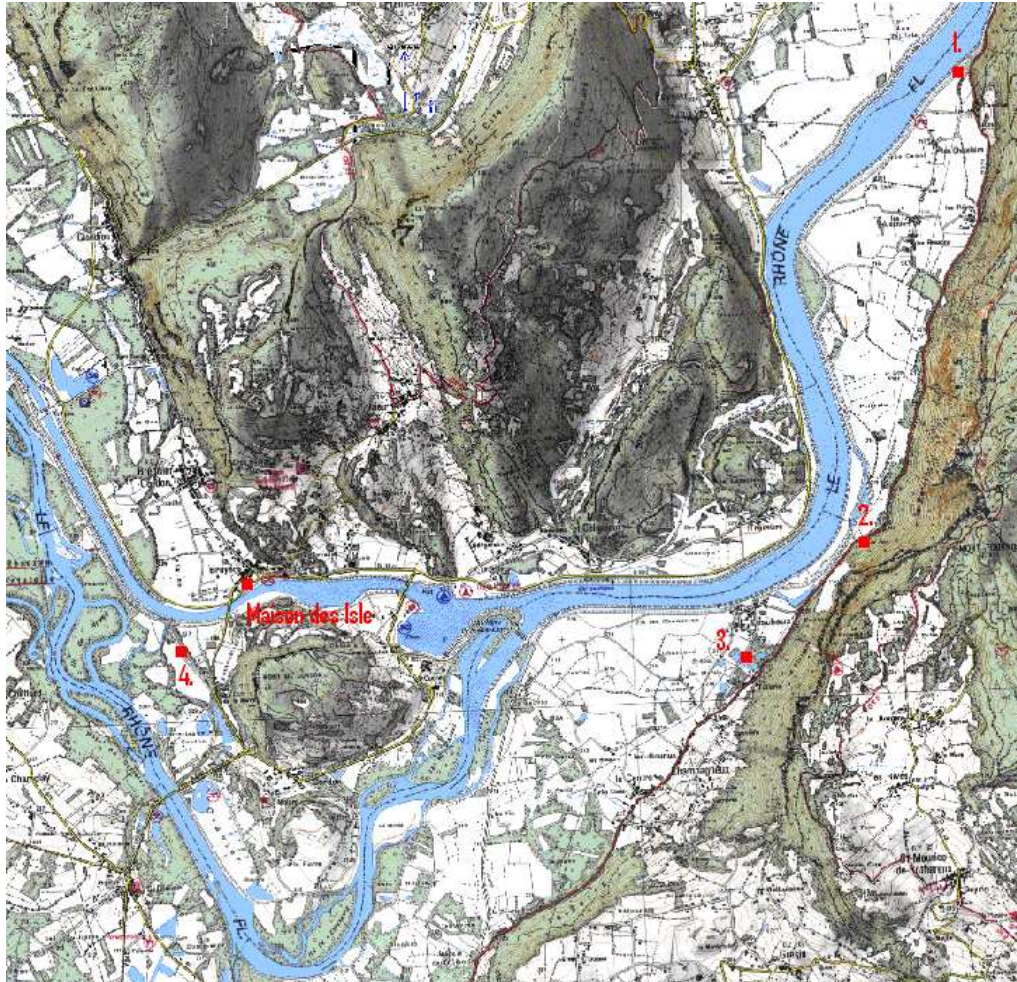
F. PARAN, D. GRILLOT, R. DECHOMETS, A. GERMAIN:

En avril, analyse isotopiques des échantillons prélevés à Brégnier-Cordon

Modalités administratives d'intégration de l'équipe d'Y. TRAVI

ANNEXES

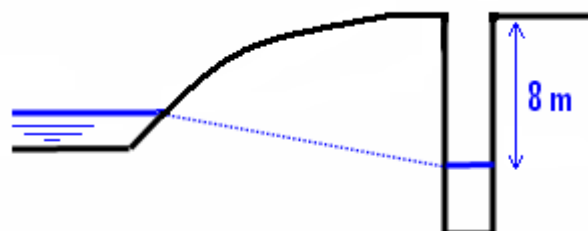
Plan général



Puits situé près de la Maison des Isle

Les données relevées au niveau des berges et d'après le maire et les riverains, le niveau de l'eau dans ce puits situé à une centaine de mètres du Rhône serait à 8 mètres de profondeur. On peut potentiellement déduire une alimentation de ce puits par le Rhône et non par la nappe. Pour en être certain, il faudrait vérifier que la piézométrie de la nappe n'est pas calée par un niveau de base lié à la présence d'un contre-canal drainant la nappe et s'évacuant plus en aval.

La CNR a réalisé des mesures dans ce puits qu'il faudra récupérer et analyser



Les prélèvements ont été réalisés par :

Gudrun Bornette : température, conductivité, inventaire végétation aquatique

Marie-José Olivier et David Ferreira : prélèvement invertébrés

Didier Graillet : prélèvement pour analyse isotopique

Annexe 13. Fiches ZABR

Annexe 13.1. Fiche action de recherche valorisation n°A11

Thèmes*	1	2	3	4	5	6	7	8	9
ZABR		●							
Sites*	Bassin Versant sud	Y lyonnais	OTHU	Drome	axe Rhône Saône	zones humides			
*cocher les cases correspondantes à l'action									

Fiche action recherche valorisation n°A 11

Type d'action :

- Action labellisée ZABR : Date de labellisation : juin 2005

Titre : Action A11 - Evaluation de la part des apports souterrains dans l'alimentation des eaux de surface (cours d'eau, plans d'eau, zones humides), en priorité du point de vue quantitatif : Application au fleuve Rhône et à ses aquifères superficiels. Phase 2

Personne responsable : D. Graillot – Centre SITE, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne, 158 cours Fauriel, 42023 Saint-Etienne Cedex 2.

E-Mail : graillot@emse.fr ; Téléphone : 04-77-42-01-30 ; Fax : 04-77-42-66-33

Thème de rattachement : Groupe de travail n°2 de la ZABR

Site de rattachement : aucun en particulier , peut concerner plusieurs sites le long du Rhône

Equipes de recherche « ZABR » concernées :

Centre SITE ENSM-SE
UMR 5023 EHF Lyon I
UR Bely CEMAGREF Lyon

Autres partenaires :

- Recherche : BRGM, Universités de Chambéry, Avignon, Montpellier et Toulouse
- Institutionnel : Agence de l'Eau RMC, DIREN
- Privé : EDF, CNR, VNF

Finalités opérationnelles :

Mise en œuvre d'un outil pour la caractérisation des échanges entre les principaux cours d'eau du bassin du Rhône et leurs aquifères superficiels dans une optique de préservation de la ressource en eau et de la biodiversité.

Objectifs et méthodologie :

Il s'agit à terme de proposer un outil interdisciplinaire pour la caractérisation et l'évaluation, tant qualitative que quantitative, des échanges entre les principaux cours d'eau du bassin du Rhône et leurs aquifères superficiels. Un tel outil contribuera à la préservation de la ressource en eau et de la biodiversité sur le bassin du Rhône et pourra être mobilisé par exemple dans des contextes de gestion équilibrée et de conflits d'usage de la ressource.

Les premières phases de l'étude (2005- 2008) comportent :

a. La réalisation d'un inventaire des documents et des données existantes pour rédiger une synthèse interdisciplinaire générale intégrant les aspects quantitatifs et qualitatifs le long du Rhône. Cette synthèse a permis de préciser les apports de méthodes physiques, physico-chimiques, et biologiques (invertébrés souterrains et macrophytes) pour la caractérisation des échanges nappe/rivière en tenant compte des influences anthropiques.

b. La réalisation d'un premier diagnostic qualitatif des échanges avec visualisation sur support cartographique SIG des premiers résultats afin d'élaborer des critères de sectorisation amont-aval et de définir les zones prioritaires à étudier pour ensuite, dans une seconde phase, envisager l'acquisition de données complémentaires.

c. L'intégration des informations identifiées au géorépertoire ZABR indiquant les zones à fortes relations et à forts enjeux.

d. L'étude des échanges secteurs par secteurs en se basant sur la sectorisation du fonctionnement hydraulique liée aux interactions entre les nappes d'accompagnement du Rhône et le fleuve en exploitant les données complémentaires acquises en seconde phase (2007-2008).

Les phases suivantes (2008-2010) conduiront à l'élaboration de l'outil d'analyse, à son test et son ajustement sur les secteurs tests, pour au final étendre son exploitation pour caractériser les échanges des principaux cours d'eau de l'ensemble du bassin du Rhône. Un travail de modélisation à échelle locale et globale pourra être envisagé si nécessaire.

Description sommaire de l'étude ou de l'action de valorisation :

Résumé de la phase 1 (2005-2006)

Synthèse bibliographique interdisciplinaire en matière d'échanges nappe/rivière

Recensement des données existantes (géomorphologiques, hydrologiques, hydrogéologiques, physico-chimiques, hydrobiologiques, aménagements et usages anthropiques)

Visualisation des informations obtenues avec un SIG (gradients faunistiques et floristiques, caractéristiques physiques des aquifères, gradients hydrauliques, géolocalisation des débits en rivière, prise en compte des ouvrages et usages anthropiques)

Identification des zones à fortes relations d'échange et à forts enjeux de préservation sur la base des indicateurs hydrologiques et biologiques.

Identification spatiale des secteurs dans lesquels les peuplements végétaux témoignent d'une - forte-intermédiaire-faible- connectivité des eaux superficielles avec les aquifères, avec origine des apports.

Etude d'un secteur témoin non anthropisé pour l'étude des mécanismes d'échange sur le Rhône amont

Réunions de travail interdisciplinaire

Phase 2 (2006-2007) faisant l'objet de la présente demande d'aide

Etude par secteurs et acquisition de données complémentaires hydrologiques, physico-chimiques et biologiques sur les secteurs mal couverts en données (confluences affluents du Rhône en liaison avec des connexions aquifères) en coopération avec le Cemagref de Lyon.

Recensement et exploitation des données géochimiques en coopération avec l'université d'Avignon

Test et ajustement de l'outil de synthèse cartographique sur le secteur test défini en première phase et d'autres à définir en accord avec l'agence de l'eau (Ile de la Platière par exemple,...) et intégrant des phénomènes anthropiques (prélèvements, ouvrages, canaux, contre-canaux)

Quantification des échanges pour les secteurs où le permettent les données (test des méthodes d'analyses corollaires et spectrales, test des bilans hydrologiques, comparaison)

Réunions de travail interdisciplinaire

Intégration des résultats obtenus dans le géorépertoire ZABR et identification des zones à fortes relations et à forts enjeux

Moyens mobilisés :

- Humains : D. Graillot, J. Gibert, G. Bornette, M. Lafont, R. Déchomets, D. Ferreira, F. Paran, S. Puijalon
- Matériel : logiciel d'analyses corollaires et spectrales, matériel de prélèvements et d'analyses biologiques, SIG et bases de données
- données : données CNR et EDF (débits), banque Hydro, ADES

Date de début : octobre 2006

Date de fin prévue : octobre 2007

Résultats scientifiques attendus :

Mise en œuvre d'un outil interdisciplinaire d'évaluation des échanges nappe/rivière tenant compte des influences anthropiques.

Résultats acquis :

Première visualisation des échanges qualitatifs nappe/rivière sur le fleuve Rhône et les principaux affluents (stage Agence de l'Eau, ces résultats restent à valider et à compléter).

Publications scientifiques :

- rapport de recherche ZABR agence de l'eau remis à l'agence le 15 novembre 2006

Perspectives :

Mobilisation de l'outil pour une préservation de la ressource en eau et de la biodiversité du bassin du Rhône

Aides obtenues :

Agence de l'Eau à hauteur de 50%

Travaux connexes :

Géorépertoire ZABR

Budget global du projet (2007-2008):

	Dépenses € HT
Chargés d'étude (post-doc, 16 mois ETP)	52338,00
Encadrement scientifique	36933,00
Mission de terrain	5000,00
Petit matériel (pompes, sondes,;)	2400,00
Analyses d'échantillons	2000,00
Amortissement matériel informatique, logiciels	2000,00
Autres frais de fonctionnement	
Frais EZUS (10%)	10067,10
Total HT	110738,10
TVA 19,6%	21704,67
Total TTC	132442,77

	Recettes € TTC
Agence de l'Eau RM&C	66 221
Autres partenaires	
Etablissements	66221
Total TTC	132442

Annexe 13.2. Fiche de restitution année 1 action de recherche valorisation n°A11

Thèmes*	1	2	3	4	5	6	7	8	9
ZABR		●							
Sites*	Bassin Versant sud	Y lyonnais	OTHU	Drome	axe Rhône Saône	zones humides			
						●			

*cocher les cases correspondantes à l'action

Action recherche valorisation n°A 11

Fiche de restitution année 1

1. Signalétique du projet

Type d'action : Action labellisée ZABR - Date de labellisation : juin 2005.

Titre : Evaluation des échanges et de la part des apports souterrains dans l'alimentation des eaux de surface (cours d'eau, plans d'eau, zones humides) : Application au fleuve Rhône et à ses aquifères superficiels.

Personne responsable : D. Graillot – Centre SITE, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne, 158 cours Fauriel, 42023 Saint-Etienne Cedex 2.

E-Mail : graillot@emse.fr ; Téléphone : 04-77-42-01-30 ; Fax : 04-77-42-66-33

Thème de rattachement : Groupe de travail n°2 de la ZABR.

Site de rattachement : aucun en particulier, peut concerner plusieurs sites le long du Rhône.

Equipes de recherche « ZABR » concernées : Centre SITE ENSM-SE, UMR 5023 EHF Lyon I, UR Bély CEMAGREF Lyon.

Autres partenaires :

- Recherche : BRGM, Universités de Chambéry, Avignon, Montpellier et Toulouse ;
- Institutionnel : Agence de l'Eau RMC, DIREN ;
- Privé : EDF, CNR, VNF.

Finalités opérationnelles : Mise en œuvre d'une méthodologie pour la caractérisation des échanges entre le fleuve Rhône et ses aquifères superficiels, du lac Léman au delta de Camargue, dans une optique de préservation de la ressource en eau et de la biodiversité.

Moyens mobilisés :

- Humains : D. Graillot, J. Gibert, G. Bornette, M. Lafont, R. Déchomets, D. Ferreira, F. Paran, S. Puijalon ; Travi Y (expert hors GIS ZABR).

- Matériel : logiciel d'analyses corollaires et spectrales, matériel de prélèvements et d'analyses biologiques, SIG et bases de données ;

- données : données CNR et EDF (débits), photographies aériennes, banque Hydro, ADES.

Date de début : juillet 2006

Date de fin prévue : fin mars 2007

Résultats scientifiques attendus en fin de programme (5ans): Mise en œuvre d'une méthodologie interdisciplinaire d'évaluation des échanges nappe/rivière tenant compte des influences anthropiques.

Résultats scientifiques attendus en fin de première année : bilan documentaire et bibliographique, visualisation sectorielle des échanges nappe/rivière sur le fleuve Rhône et les principaux affluents compte tenu des éléments bibliographiques rassemblés, acquisition de données complémentaires, identification et premiers tests de la méthode sur un secteur d'analyse permettant de croiser les informations hydrologiques, hydrogéologiques et biologiques pour la mise au point de la méthode.

Perspectives : Mobilisation de la méthodologie pour une préservation de la ressource en eau et de la biodiversité du bassin du Rhône en lien avec le Plan Rhône et l'article 21 de la nouvelle Loi sur l'eau (priorisation de l'usage AEP) concernant l'identification des ressources stratégiques AEP et les vulnérabilités.

Aides obtenues : Agence de l'Eau à hauteur de 50%

Travaux connexes : Géorépertoire ZABR (intégration des données acquises dans le cadre de cette action de recherche)

Objectifs et méthodologie : Il s'agit à terme de proposer une méthodologie interdisciplinaire pour la caractérisation et l'évaluation, tant qualitative que quantitative, des échanges entre le fleuve Rhône et ses aquifères superficiels. Une telle méthodologie contribuera à la préservation de la ressource en eau et de la biodiversité sur le bassin du Rhône et pourra être mobilisée par exemple dans des contextes de gestion équilibrée et de conflits d'usage de la ressource. Les premières phases de l'étude (2005- 2008) comportent :

e. La réalisation d'un inventaire des documents et des données existantes pour rédiger une synthèse interdisciplinaire générale intégrant les aspects quantitatifs et qualitatifs le long du Rhône. Cette synthèse a permis de préciser les apports de méthodes physiques, physico-chimiques, et biologiques (invertébrés souterrains et macrophytes) pour la caractérisation des échanges nappe/rivière en tenant compte des influences anthropiques.

f. La réalisation d'un premier diagnostic qualitatif des échanges avec visualisation sur support cartographique SIG des premiers résultats afin d'élaborer des critères de sectorisation amont-aval et de définir les zones prioritaires à étudier pour ensuite, dans une seconde phase, envisager l'acquisition de données complémentaires.

g. L'intégration des informations identifiées au géorépertoire ZABR indiquant les zones à fortes relations et à forts enjeux.

h. L'étude des échanges secteurs par secteurs en se basant sur la sectorisation du fonctionnement hydraulique liée aux interactions entre les nappes d'accompagnement du Rhône et le fleuve en exploitant les données complémentaires acquises en seconde phase (2007-2008).

Les phases suivantes (2008-2010) conduiront à l'élaboration d'une méthodologie d'analyse, voire d'un outil, à son test et son ajustement sur les secteurs tests, pour au final étendre son exploitation pour caractériser les échanges des principaux cours d'eau de l'ensemble du bassin du Rhône. Un travail de modélisation à échelle locale et globale pourra être envisagé si nécessaire.

2. Bilan de l'année 1 - Phase 1 (2005-2006)

Description des tâches réalisées :

- Organisation du recensement des connaissances bibliographiques interdisciplinaires sous la forme d'une base de données ;

- Synthèse bibliographique interdisciplinaire en matière d'échanges nappe/rivière du point de vue hydraulique, hydrologique, physico-chimique, faunistique (invertébrés souterrains) et floristique (végétation aquatique) ;

- Recensement des données existantes (géomorphologiques, hydrologiques, hydrogéologiques, physico-chimiques, hydrobiologiques, aménagements et usages anthropiques) ;

- Découpage du vaste terrain d'étude en différentes sectorisations : géomorphologique, hydrogéologique, climatique et hydrologique, anthropique (aménagements), masses d'eau DCE.

- Test sur un secteur témoin (chute de Brégnier-Cordon) relativement peu anthropisé pour l'étude des mécanismes d'échange sur le Rhône amont ;
- Convention avec la CNR et obtention de la première série de données physiques sur la chute de Brégnier-Cordon ;
- Visite de terrain à l'Île de la Platière et à Brégnier-Cordon ;
- Visualisation des informations obtenues avec un SIG (gradients faunistiques et floristiques, caractéristiques physiques des aquifères, gradients hydrauliques, géolocalisation des débits en rivière, prise en compte des ouvrages, usages anthropiques...)
- Réunions de travail interdisciplinaire (comités techniques, réunion de restitution).

Publications scientifiques : Rapport de recherche ZABR-Agence de l'eau remis à l'Agence le 15 novembre 2006, puis modifié le 15 décembre 2006 ; CD-ROM contenant l'inventaire des connaissances recensées dans le cadre de l'étude remis à l'Agence le 15 novembre 2006.

3. Tâches en cours :

- compléments bibliographiques sur les méthodes hydrogéologiques ;
- compléments bibliographiques pour acquérir des connaissances non répertoriées dans les bases de données documentaires ;
- nouvelle visite de terrain à Brégnier-Cordon et rencontres avec Bruno Muscat (Chargé de mission syndicat du Haut-Rhône) et Robert Meriaudeau (Maire de Brégnier-Cordon) ;
- intégration des données du réseau national des données de l'eau notamment pour la physico-chimie, éventuellement données détenues par EDF ;
- exploitation de données générales existantes sur certaines nappes du Haut-Rhône ;
- travail sur les données CNR de la chute de Brégnier-Cordon et obtention de données complémentaires nécessaires à l'étude ; essai de quantification des échanges (test des méthodes d'analyses corollaires et spectrales, test des bilans hydrologiques, comparaison) ;
- élaboration d'une méthode de calcul des apports souterrains et étude de la transposabilité sur le linéaire du Rhône ;
- vérification des apports à l'aide des données biologiques (végétales et animales) et physico-chimiques ;

4. Principales tâches à venir –Phase 2 (2007-2008)

- acquisition de données complémentaires hydrologiques, physico-chimiques et biologiques sur le secteur défini comme site expérimental dans la phase 1, notamment en coopération avec le Cemagref de Lyon ;
- compléments bibliographiques sur les échanges nappe/rivière (bibliographie internationale) ;
- recensement des informations géochimiques en coopération avec l'université d'Avignon ;
 - discussion de la sectorisation et des hypothèses d'échange nappe/Rhône issues de travaux antérieurs au regard des nouveaux résultats et des connaissances géochimiques ;
 - choix d'un nouveau terrain d'étude parmi les sites suivants :
 - . aval du défilé de Donzère ;
 - . confluence Rhône/Drôme ;
 - . confluence du Lez ;
 - . secteur de Donzère Mondragon ;
 - . jonction bassin de Valréas-Bassin de Carpentras.
- Identification, sur les secteurs étudiés, des zones à fortes relations d'échange et à forts enjeux de préservation sur la base des indicateurs hydrologiques, biologiques et physico-chimiques (influence de la qualité des eaux du Rhône sur les nappes, situation à l'étiage...)

- Faire le lien et vérifier la cohérence des études par secteurs ; Test et ajustement de l'outil de synthèse cartographique sur le secteur test défini en première phase et d'autres à définir en accord avec l'Agence de l'eau et intégrant des phénomènes anthropiques (prélèvements, ouvrages, canaux, contre-canaux) ;

- Exploitation des données géochimiques en coopération avec l'université d'Avignon sur un secteur en région PACA ou LR ;

- Réunions de travail interdisciplinaire ; séminaire sur les échanges nappes/rivière en régime transitoire

- Intégration en continu des résultats obtenus dans le géorépertoire ZABR et identification des zones à fortes relations et à forts enjeux.

- Evaluation des débits d'échanges sur le linéaire du Rhône là où les données acquises permettront de les calculer

Publications prévues :

- proposer un article de vulgarisation de l'intention méthodologique dans la revue professionnelle sur les cours d'eau ;

- proposer une publication méthodologique ;

- participation à l'ouvrage « le Rhône en 100 questions » (eaux souterraines).

Intégration d'équipes hors ZABR : Une demande sera faite au comité de direction ZABR pour fixer les modalités de coopération avec d'autres Universités comme Avignon et Montpellier travaillant sur le Rhône mais ne participant pas à l'accord ZABR-Agence. Un exemplaire du document GIS a été envoyé à Y. Travi pour un premier examen par les services compétents de l'Université d'Avignon.

Annexe à la fiche de restitution : liste des livrables remis en novembre 2006⁷

Intitulé de la tâche	Description du livrable réalisé	% de réalisation novembre 2006 ⁸	date	% de réalisation initialement prévue	Remarques
a1)Collecte des données existantes concernant les interactions Rhône-nappes (hydrologiques, et biologiques	Récapitulatif des données par organisme structurées dans une base de données multicritère	20% Descriptif dans le rapport BD Excel sur CDROM	novembre 2006	20% tri des informations par spécialité hydrologique et biologique intervention des post-doctorants	La collecte pourra se prolonger au cours des autres phases du projet
a2)Introduction de données complémentaires (CNR, BRGM, Burgeap,...)		2,5% En cours Etablissement d'une convention avec la CNR	Janvier 2007	10% Enquêtes auprès des organismes effectués par les post-doctorants	En particulier identification du rôle des ouvrages, canaux et contre-canaux
b) Première synthèse sous forme de sectorisation géographique	Inscription géographique sur fond de carte SDAGE Démonstration prévue à l'agence le 4 janvier	15% Fait et remis Contenu dans le rapport A compléter	novembre 2006	25% travail de synthèse des post-doctorants stagiaire SIG en février 2007	Structuration des données dans le géorépertoire de la ZABR commencée et à poursuivre en fonction des autres données récupérées
c)Identification de sites témoins et validation de terrain	Description des sites dans le rapport 1 Bregnier –Cordon 2 Confluence Rhône-Drôme 3 Ile de la Platiere visites terrain : site 1 12/2006 site 3 10/2006	12,5 %	novembre 2006 janvier 2007	20% travail bibliographique des post-doctorants Travail de terrain des post-doctorants Frais de déplacement et de mission	Choix des sites en collaboration avec l'agence 1 Brégner-Cordon 2 Confluence Rhône-Drôme 3 Ile de la Platière
Rapport intermédiaire			15 novembre 2006		
d1) Data mining Synthèse finale et sectorisation hydraulique	Rapport final de la phase 1 et cartes indiquant les secteurs de drainage, d'alimentation ou sans interaction sur les sites tests	7,5%	Fin mars 2007	15% Travail d'analyse et de synthèse (post-doctorants et experts)	Validation sur site test et règles de généralisation sur l'ensemble du fleuve par les indicateurs biologiques (invertébrés et macrophytes)
d2)Identification des besoins en données complémentaires (mesures, données)	Cahier des charges de la phase 2 déjà fait en partie en phase1	5% Indique déjà en partie dans le rapport intermédiaire	Fin mars 2007	10% Travail de rédaction et de mise en forme des résultats	
Total TTC		62,5%		100%	

Rappel du découpage initialement prévu:

- 20 % de l'aide accordée à la remise de la base de données intégrant les données recueillies et structurées par organisme (a1)
- 35 % à la remise de la base de données complétée et restitution cartographique SIG (a2, b)
- 20 % au compte rendu des missions de terrain (c)
- 15 % à la remise du rapport final de phase 1 et cartes indiquant les fonctionnements par secteurs (d1)
- 10 % à la remise du cahier des charges prévisionnel par la phase 2 (d2)

⁷ Le tableau de la liste des livrables sera actualisé fin mars 2007.

⁸ % de réalisation par rapport au total du programme.

Annexe à la fiche de restitution : liste des livrables remis fin avril 2007⁹

Intitulé de la tâche	Description du livrable réalisé	% de réalisation novembre 2006 ¹⁰	date	% de réalisation initialement prévue	Remarques
a1)Collecte des données existantes concernant les interactions Rhône-nappes (hydrologiques, et biologiques	Récapitulatif des données par organisme structurées dans une base de données multicritère	20% Descriptif dans le rapport BD Excel sur CDROM	novembre 2006	20% tri des informations par spécialité hydrologique et biologique intervention des post-doctorants	La collecte pourra se prolonger au cours des autres phases du projet
a2)Introduction de données complémentaires (CNR, BRGM, Burgeap,...)		8% convention avec la CNR signée	Janvier 2007	10% Enquêtes auprès des organismes effectués par les post-doctorants	En particulier identification du rôle des ouvrages, canaux et contre-canaux
b) Première synthèse sous forme de sectorisation géographique	Inscription géographique sur fond de carte SDAGE Démonstration prévue à l'agence le 4 janvier	25% Fait et remis Contenu dans le rapport A compléter	novembre 2006	25% travail de synthèse des post-doctorants stagiaire SIG en février 2007	Structuration des données dans le géorépertoire de la ZABR commencée et à poursuivre en fonction des autres données récupérées
c)Identification de sites témoins et validation de terrain	Description des sites dans le rapport 1 Bregnier –Cordon 2 Confluence Rhône-Drôme 3 Ile de la Platiere visites terrain : site 1 12/2006 site 3 10/2006	20 %	novembre 2006 janvier 2007	20% travail bibliographique des post-doctorants Travail de terrain des post-doctorants Frais de déplacement et de mission	Choix des sites en collaboration avec l'agence 1 Brégner-Cordon 2 Confluence Rhône-Drôme 3 Ile de la Platière
Rapport intermédiaire			15 novembre 2006		
d1) Data mining Synthèse finale et sectorisation hydraulique	Rapport final de la phase 1 et cartes indiquant les secteurs de drainage, d'alimentation ou sans interaction sur les sites tests	15%	Fin mars 2007	15% Travail d'analyse et de synthèse (post-doctorants et experts)	Validation sur site test et règles de généralisation sur l'ensemble du fleuve par les indicateurs biologiques (invertébrés et macrophytes)
d2)Identification des besoins en données complémentaires (mesures, données)	Cahier des charges de la phase 2 déjà fait en partie en phase1	10% Indique déjà en partie dans le rapport intermédiaire	Fin mars 2007	10% Travail de rédaction et de mise en forme des résultats	complété
Total TTC		98%		100%	

Rappel du découpage initialement prévu:

- 20 % de l'aide accordée à la remise de la base de données intégrant les données recueillies et structurées par organisme (a1)
- 35 % à la remise de la base de données complétée et restitution cartographique SIG (a2, b)
- 20 % au compte rendu des missions de terrain (c)
- 15 % à la remise du rapport final de phase 1 et cartes indiquant les fonctionnements par secteurs (d1)
- 10 % à la remise du cahier des charges prévisionnel par la phase 2 (d2)

⁹ Le tableau de la liste des livrables sera actualisé fin mars 2007.

¹⁰ % de réalisation par rapport au total du programme.