

Projet ANR-CEP09\_446043

# Wetchange

Programme CEP 2009

A	IDENTIFICATION .....	3
B	RESUME CONSOLIDE PUBLIC .....	3
B.1	Résumé consolidé public en français .....	5
B.2	Résumé consolidé public en anglais .....	6
C	MEMOIRE SCIENTIFIQUE.....	7
C.1	Résumé du mémoire .....	7
C.2	Enjeux et problématique, état de l'art.....	7
C.3	Approche scientifique et technique .....	8
C.4	Résultats obtenus .....	8
C.4.1	Modélisation hydro-climatique des assèchement des zones humides, et impact sur la qualité des habitats.	8
C.4.1	Effet des exondations sur la qualité physico-chimique des écosystèmes.	10
C.4.2	Réponse des communautés et des écosystèmes à l'exondation	11
C.4.3	Construction d'un modèle systémique	13
C.5	Discussion .....	17
D	LISTE DES LIVRABLES .....	18
E	IMPACT DU PROJET .....	19
E.1	Indicateurs d'impact.....	20
E.2	Liste des publications et communications .....	21
E.2.1	Travaux monopatenaies	21
E.2.1	Communications internationales :	21

Communications nationales :	21
Rapports de stage :	22
Publications :	23
E.2.2 Travaux pluripartenaires	23
Communications internationales :	23
Communications nationales :	23
Publications :	24
E.3 Personnels recrutés en CDD (hors stagiaires).....	24
E.4 Bilan et suivi des personnels recrutés en CDD (hors stagiaires) .....	25
F REFERENCES CITEES .....	25

## A IDENTIFICATION

Acronyme du projet	WETCHANGE
Titre du projet	Biodiversité et fonctions des zones humides en réponse aux étiages sévères induits par le changement global
Coordinateur du projet (société/organisme)	G Bornette CNRS LEHNA UMR 5023
Période du projet (date de début – date de fin)	1 mars 2010 (ouverture de la ligne budgétaire au CNRS) 30 décembre 2013
Site web du projet, le cas échéant	

Rédacteur de ce rapport	
Civilité, prénom, nom	Bornette G (premier auteur)
Téléphone	04 72 43 12 94
Adresse électronique	gbornett@univ-lyon1.fr
Date de rédaction	25 février 2014

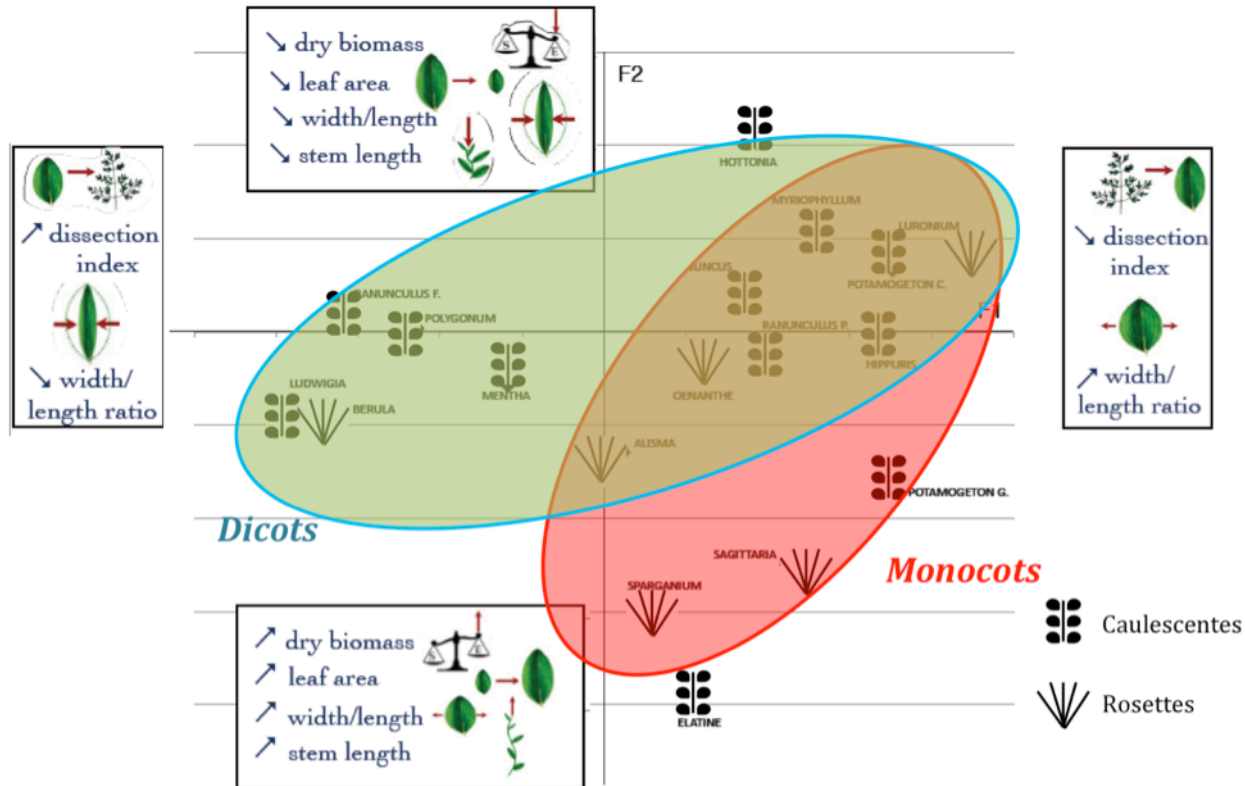
Si différent du rédacteur, indiquer un contact pour le projet	
Civilité, prénom, nom	
Téléphone	
Adresse électronique	

Liste des partenaires présents à la fin du projet (société/organisme et responsable scientifique)	IRSTEA, B. Montuelle ENSMSE, D. Graillot
---	---

## B RÉSUMÉ CONSOLIDÉ PUBLIC

### *Illustration*

Représentation des changements morphologiques montrés par les végétaux aquatiques lorsqu'ils sont exondés. Chaque espèce est symbolisée par sa forme de croissance (en rosette ou caulescente). A droite, les végétaux montrent des feuilles moins divisées, plus larges et moins longues lorsqu'elles sont exondées. A gauche, les plantes montrent au contraire des feuilles plus divisées, et plus étroites lorsqu'elles sortent de l'eau. Les dicotylédones peuvent présenter chacune de ces réponses, tandis que les monocotylédones tendent à ne présenter que la réponse de droite. En bas sont placées les plantes dont la masse sèche, la surface foliaire, la largeur des feuilles et la longueur de la tige augmentent lorsqu'elles sont exondées. Les plantes en rosette sont plus aptes à réaliser ces ajustement que les plantes caulescentes, ajustements qui peuvent être associés à un succès meilleur de la plante en conditions exondées, puisque la masse sèche augmente. En haut, sont regroupées les espèces dont la masse sèche diminue, de même que la surface foliaire, la largeur des feuilles et la longueur de la tige. Les plantes caulescentes sont les plus nombreuses à présenter cette réponse, et sont défavorisées par l'assec, du fait de leur perte de biomasse et la diminution de leur taille.



*Informations factuelles*

*Le projet est un projet de recherche fondamentale à retombées opérationnelles pour la gestion des ressources en eau le long des rivières. C'est un projet reposant sur des expérimentations en laboratoire en sur le terrain, et de la modélisation. Le projet impliquait le laboratoire d'écologie des hydrosystèmes naturels et anthropisés de Lyon, l'IRSTEA, et l'école des mines de Saint Etienne. Il a démarré en 2010, s'est achevé en 2013, a duré 48 mois. Il a bénéficié d'une aide ANR de 693 000 euros environ pour un coût global de plus de 2 millions d'euros*

## **B.1 RÉSUMÉ CONSOLIDÉ PUBLIC EN FRANÇAIS**

**Titre d'accroche :** Conséquences écologiques du changement climatique sur les vallées fluviales

**Titre 1 :** Modélisation hydrologique et écologique des effets du changement climatique sur les zones humides des grands cours d'eau à l'horizon 2050.

Paragraphe 1 Le changement climatique induit des changements dans l'intensité, la durée et la fréquence des épisodes hydrologiques (crues et étiages) qui affecteront fortement le fonctionnement des hydrosystèmes. L'impact de l'hydrologie des cours d'eau sur l'hydrologie des zones humides est complexe à prédire, du fait en particulier des écarts de définition entre les modèles climatiques, globaux, et les besoins plus précis que l'on a pour modéliser les conséquences sur les zones humides. Pourtant, les changements climatiques qui se superposent aux besoins croissants en eau des populations affecteront de manière extrême ces écosystèmes, en particulier en Europe. Les enjeux de ce projet étaient d'établir des prévisions réalistes à l'horizon 2030-2050 de la réponse des zones humides des plaines des rivières aux étiages induits par le changement global. Le travail a produit un modèle climatique et hydrologique de la plaine alluviale de l'eau, que l'on a combiné à la connaissance de la sensibilité des zones humides et des espèces (végétaux, animaux, microbes) à la baisse de niveau de l'eau, pour aboutir à un modèle général de réponse des zones humides au changement climatique.

**Titre 2 :** combinaison des modèles climatiques et hydrologiques aux données écologiques pour construire un modèle intégré

**Paragraphe 2.** La démarche regroupait des scientifiques de compétences variées, et a abouti : 1) à la construction d'un scénario du climat et de l'hydrologie du cours d'eau dans 50 ans, et à une modélisation de la manière dont les zones humides seront affectées par les modifications des hauteurs de nappes qui en résulteront ; 2) à la mesure des effets chimiques (qualité de l'eau, qualité du sédiment) et biologiques (végétaux, animaux et microbes), et des baisses de niveau de l'eau et des assèchements, grâce à des mesures réalisées dans les zones humides et en laboratoire, et 3) à la construction d'un modèle prédictif qui combine l'ensemble de ces connaissances et permet de prédire la réponse écologique des écosystèmes, à la fois du point de vue physique et biologique, à différentes intensités de contrainte climatique, et leur devenir dans 50 ans.

### *Résultats majeurs*

Le travail a montré que les conséquences du changement climatique seront très fortes sur les zones humides (disparition, ou transformation en milieux temporaires). La biodiversité végétale sera fortement modifiée, et l'impact dépendra de la position phylogénétique des espèces et du régime d'exondation. La biodiversité microbienne sera très affectée, mais les activités microbiennes impliquées dans la décomposition de la matière organique et le recyclage des nutriments présenteront une résilience forte. L'assèchement saisonnier induira de fortes diminutions des teneurs en oxygène et des accumulations d'ammonium dans les sédiments, qui affecteront très négativement les invertébrés aquatiques.

### *Production scientifique et brevets depuis le début du projet*

L'objectif constant du projet a été d'optimiser la valorisation scientifique des résultats, en les diffusant largement par voie de communications, de transferts au utilisateurs (échanges constants avec les agences de l'eau, l'ONEMA, les conservatoires), et de publications dans des revues internationales. Le projet a débouché sur un contrat interdisciplinaire avec l'ONEMA (caractérisation des échanges nappes rivières) porté par les mêmes partenaires, et devrait déboucher sur un nouveau contrat Zones Humides dans le cadre d'un programme européen LIFE en construction.

## B.2 RÉSUMÉ CONSOLIDÉ PUBLIC EN ANGLAIS

**General title:** Ecological consequences of climate change on river floodplains

**Title 1:** Hydrological and ecological modelling of the effect of climate change on river wetlands in the next 50 years.

Paragraph 1: Climate change leads to changes in the magnitude, the duration, and the frequency of hydrological events (floods and droughts), which deeply affect river functioning. The role of river hydrology on riverine wetland hydrology is difficult to assess, because, among other things, the strong differences in the scale of climate models and the more precise requirements that are necessary for modelling wetland functioning. However, climate change will combine with increasing population needs for water and will deeply affect these ecosystems, particularly in Europe. The aims of this project were to establish provisional scenarios for 2030-2050 of the ecological response of riverine wetlands to low discharge induced by global change. The work produced a climate and hydrological model of a river floodplain, which was combined with the knowledge of plant, animal and microbial communities responses to low water level and drought, for producing a general model of wetland responses to climate change.

**Titre 2:** Combination of climate and hydrological models with ecological data for the building of an integrated model.

**Paragraph 2:** the project grouped scientists from contrasting fields, and led to : 1) the construction of a scenario of the climate of the watershed and the hydrology of the river in the next 50 years, and to the modelling of the way wetlands will be affected by the modification of groundwater levels which will result from these hydrological alterations; 2) the measure in the laboratory and in situ, of the effects of droughts and dewatering on water and substrate quality, and plant, invertebrate and microbe survival and community resilience; and 3) the construction of a predictive model that combines these knowledge for predicting the ecological response of wetlands to different levels of water deficiency, in terms of physical and biological characteristics, and how they will evolve in 50 years.

### *Main results*

The work demonstrated that climate change will have deep consequences on wetlands (disappearance of wetlands or transformation in temporary wetlands). Plant biodiversity will be deeply modified, but the impact will depend on the intensity of drought and their phylogenetical position. Microbial diversity will be deeply affected, but microbial functions related to organic matter degradation and nutrient cycling will present a good resilience. Seasonal drought will induce a strong decrease in oxygen content and the accumulation of ammonium in sediments, both leading to very significant and negative consequences on aquatic invertebrates.

### *Scientific outcomes*

The constant objective of the project was to optimise the scientific valorisation of the results, and we made for this purpose many meetings and conferences with stakeholders of aquatic resources, and many publications in international journals. This project led to another project that permits collaboration between the same scientific partners with the ONEMA, which aims to propose methods for identifying the exchanges between surface and groundwater along rivers, and may lead to another projet on wetlands at the scale of the Rhône basin in the framework of a LIFE project.

## C MÉMOIRE SCIENTIFIQUE

*Mémoire scientifique confidentiel* : non

### C.1 RÉSUMÉ DU MÉMOIRE

Modélisation hydrologique et écologique des effets du changement climatique sur les zones humides des grands cours d'eau à l'horizon 2050. Le changement climatique induit des changements dans l'intensité, la durée et la fréquence des épisodes hydrologiques (crues et étiages) qui affecteront fortement le fonctionnement des hydrosystèmes. L'impact de l'hydrologie des cours d'eau sur l'hydrologie des zones humides est complexe à prédire, du fait en particulier des écarts de définition entre les modèles climatiques, globaux, et les besoins plus précis que l'on a pour modéliser les conséquences sur les zones humides. Pourtant, les changements climatiques qui se superposent aux besoins croissants en eau des populations affecteront de manière extrême ces écosystèmes, en particulier en Europe. Les enjeux de ce projet étaient d'établir des prévisions réalistes à l'horizon 2030-2050 de la réponse des zones humides des plaines des rivières aux étiages induits par le changement global. La démarche regroupait des scientifiques de compétences variées, et a abouti : 1) à la construction d'un scénario du climat et de l'hydrologie du cours d'eau dans 50 ans, et à une modélisation de la manière dont les zones humides seront affectées par les modifications des hauteurs de nappes qui en résulteront ; 2) à la mesure des effets chimiques (qualité de l'eau, qualité du sédiment) et biologiques (végétaux, animaux et microbes), des baisses de niveau de l'eau et des assèchements, grâce à des mesures réalisées dans les zones humides et en laboratoire, et 3) à la construction d'un modèle prédictif qui combine l'ensemble de ces connaissances et permet de prédire la réponse écologique des écosystèmes, à la fois du point de vue physique et biologique, à différentes intensités de contrainte climatique, et leur devenir dans 50 ans. Le travail a montré que les conséquences du changement climatique seront très fortes sur les zones humides (disparition, ou transformation en milieux temporaires). La biodiversité végétale sera fortement modifiée, et l'impact dépendra de la position phylogénétique des espèces et du régime d'exondation. La biodiversité microbienne sera très affectée, mais les activités microbiennes impliquées dans la décomposition de la matière organique et le recyclage des nutriments présenteront une résilience forte. L'assèchement saisonnier induira de fortes diminutions des teneurs en oxygène et des accumulations d'ammonium dans les sédiments, qui affecteront très négativement les invertébrés aquatiques.

### C.2 ENJEUX ET PROBLÉMATIQUE, ÉTAT DE L'ART

Les crues font partie intégrante du fonctionnement naturel des cours d'eau (Poff et al. 2006), et les communautés vivantes présentes dans les zones humides sont adaptées à de tels événements, même lorsque ceux-ci sont de forte intensité (Ward et al. 1999, Casanova and Brock 2000, Bornette et al. 2008). Par contre, l'impact des déficits hydriques est beaucoup moins connu (Humphries and Baldwin 2003), et leurs effets apparaissent très variables d'une situation à l'autre (Greening and Gerritsen 1987, Holmes 1999, McGowan et al. 2005, Stromberg et al. 2007). Dans les zones humides méditerranéennes, les étiages sont fréquents, et les communautés adaptées à ces régimes prévisibles de contraintes présentent majoritairement des stratégies de résilience, reposant largement sur la reproduction sexuée (Bonis et al. 1995 ; Brock and Rogers 1998 ; Brock et al. 2003). En revanche, ces étiages prononcés et imprévisibles peuvent entraîner des situations inédites pour la plupart des zones humides continentales situées en région tempérée, car celles-ci sont en général en eau permanente tout le long de l'année. De surcroît, le caractère discret des unités de paysage aquatique continental,

couplé à la diminution de la connectivité hydrique entre ces unités de paysage liée aux faibles débits, limite fortement les capacités de recolonisation des espèces après l'étiage. Dans ce contexte, la capacité de résistance et de résilience des écosystèmes aux étiages reposera partiellement sur les capacités d'adaptation des espèces par ajustement phénotypique réversible, permettant de supporter temporairement la contrainte (Casanova and Brock 2000, Gutschick and BassiriRad 2003, Mommer and Visser 2005).

Les enjeux de ce projet étaient donc d'établir des prévisions réalistes à l'horizon 2030-2050 de la réponse des différents types de zones humides alluviales aux étiages induits par le changement global, en utilisant des descripteurs physiques (fonctionnement hydrologique et caractéristiques physiques et chimiques des habitats) et biologiques (communautés végétales, animales et microbiennes). La démarche adoptée a été très pluridisciplinaire combinant des compétences et des outils relevant de la climatologie, de l'hydrologie, de l'hydrogéologie, de l'écologie des communautés et de l'écologie évolutive. Le travail a reposé sur un modèle climatique et hydrologique combiné à la connaissance de la sensibilité des habitats et des espèces à la contrainte et à ses variations.

### **C.3 APPROCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE**

L'attention a porté sur les caractéristiques de l'habitat durant l'étiage et lors de la remise en eau, et sur trois types de communautés, les végétaux, les invertébrés et les communautés microbiennes. Ce projet a été mis en œuvre sur un cours d'eau pilote, l'Ain, qui présente l'avantage d'avoir fait l'objet de nombreuses études dans le cadre d'un LIFE, achevé en 2006, et d'offrir ainsi à l'expérimentateur une large gamme de situations bien documentées dans la même aire géographique et climatique. Le projet était divisé en 3 volets. Le premier avait pour objectif de construire les scénarios hydro-climatiques d'un espace alluvial modèle, la basse vallée de l'Ain, attendu comme étant fortement influencé par le régime hydrologique de la rivière et la météorologie affectant le bassin versant. Le deuxième volet avait pour objectif de mesurer les réponses écologiques aux assèchements des zones humides, à l'aide de 3 descripteurs : les communautés microbiennes, les végétaux, et les invertébrés. Enfin, le troisième volet avait pour objectif de construire un modèle prévisionnel rassemblant ces connaissances, afin de prédire la réponse des hydrosystèmes à des altérations hydrologiques d'intensité croissante, liées au changement climatique. Le projet a rempli les objectifs fixés, et n'a pas rencontré de difficulté particulière. Dans les paragraphes qui suivent sont détaillés les résultats majeurs des études réalisés.

### **C.4 RÉSULTATS OBTENUS**

#### **C.4.1 MODÉLISATION HYDRO-CLIMATIQUE DES ASSÈCHEMENT DES ZONES HUMIDES, ET IMPACT SUR LA QUALITÉ DES HABITATS.**

Cette partie du projet avait pour objectif, dans un premier temps, de déterminer les forçages hydrologiques et météorologiques représentatifs des conditions passées (1990-2010) et futures (évolution climatique de 2013 à 2070) afin, dans un second temps, de modéliser les assèchements des lînes.

Les scénarii climatiques mis à disposition par le CERFACS ont été établis à partir de projections climatiques réalisées dans le cadre du 4ème rapport du GIEC et désagrégées à une résolution de 8 km selon une soixantaine de mailles sur le bassin versant de l'Ain dont la superficie est de 3600 km<sup>2</sup> (méthodologie de descente d'échelle : Boé et al. 2006 ; Boé 2007). Quatre scénarii ont été choisis à l'horizon 2070 avec un décalage des précipitations de décembre en novembre et une augmentation de 2°C en été : 1 scénario chaud et sec, 1 scénario chaud et humide, 1 scénario froid et sec et 1 scénario



froid et humide. Ces différents scénarii ont été injectés dans les modèles neuronaux de reconstitution des débits de l'Ain et de ses principaux affluents ainsi que dans le modèle de reconstruction des hauteurs d'eau dans les zones humides, et comportent 7 paramètres : les précipitations solide et liquide, la température à 2 m, le module du vent à 10 m, la radiation infra-rouge et visible incidente en surface, l'humidité spécifique à 2 m. Les scénarii climatiques désagrégés contiennent en plus de ces 7 variables l'évapotranspiration potentielle, l'humidité relative (moyenne, minimale et maximale), les températures minimale et maximale. Les variables ont été fournies à l'échelle journalière.

Trois sous-bassins élémentaires, correspondant à des entités de fonctionnement hydrogéologique relativement identique ont été identifiés (Albarine, Suran, Ain-amont). La reconstitution des débits et des hauteurs d'eau de l'Ain et de ses deux principaux affluents (Albarine et Suran) a été réalisée à l'aide de modèles à réseaux de neurones (Ecole des Mines d'Alès). L'apprentissage de ces modèles a été réalisé sur le temps passé (1990-2010), au pas de temps journalier, décadaire, et mensuel, intégrant ou non la donnée de neige. L'idée conductrice a été de créer un modèle séparant à la fois les données de pluies, associées à l'évapotranspiration, et les données neige associées à la température ; mais aussi en séparant la composante rapide de la composante lente du débit. Le modèle fonctionne au pas de temps journalier et mensuel. Il a été calé avec un jeu de données observées fournis par Météo France pour la station d'Ambérieu en Bugey (1990-2012). Il reproduit bien les périodes de basses eaux mais ne permet pas d'identifier clairement les périodes de crue. Les difficultés de calage du modèle hydrologique sont liées au manque de connaissance sur le fonctionnement hydrodynamique des bassins versants karstiques enneigés qui sont au nord de la zone d'étude ainsi qu'à l'obtention de données cohérentes et consistantes en nombre suffisant. De plus, l'utilisation du modèle avec les données NCEP-CERFACS a posé des problèmes pour la reconstitution des débits des rivières au pas de temps journalier. L'analyse multirésolution croisée débit de l'Ain/pluie CERFACS et débit/pluie Météo France a montré que les deux corrélations sont très différentes pour les petites échelles de temps, jusqu'à l'échelle mensuelle (32 jours). Avant 32 jours, la corrélation pluie CERFACS/Débit est bien plus faible que la corrélation pluie météo France/débit. Ainsi, le niveau de détail maximum que l'on pourrait avoir pour une simulation du débit à partir de la pluie CERFACS est mensuel. Ces analyses suggèrent que la chronique de pluie journalière du CERFACS provient d'une désagrégation du pas de temps mensuel, et non pas de mesures journalières. La prise en compte de la température et de l'ETP (chroniques CERFACS) a permis de proposer une modélisation avec un pas de temps de 10 jours, sans qu'il soit toutefois possible de descendre au pas de temps journalier.

Une fois le modèle correctement calé, il a été possible d'injecter les 4 scénarios climatiques et de reconstituer les hydrogrammes pour l'Ain et ses principaux affluents. Le modèle a été ensuite alimenté par des prévisions de précipitation issues de modèles de prévision climatiques du GIEC (période 2010-2070). Les débits des affluents (Ain, Albarine, Suran) ont ensuite été utilisés comme données d'entrée pour le modèle de reconstruction des hauteurs d'eau dans les lône de la basse vallée de l'Ain.

Dans le cadre de ce projet, 9 lônes ont été équipées de capteurs de pression qui ont permis d'acquérir des données en continu sur les hauteurs d'eau et la température de l'eau pour la période de novembre 2010 à octobre 2012. Quatre modes d'alimentation en eau différents ont été identifiés : a) 5 lônes hydrologiquement connectées à la rivière, b). une lône dont les variations de niveau d'eau et de température sont parfaitement calées sur le régime hydrologique et thermique de la nappe alluviale, c). une lône dont le comportement est mixte (alimentation depuis la nappe et la rivière), d) deux lônes qui ont des variations de niveau d'eau très faibles (fond colmaté). Parallèlement, les données de suivi de la nappe alluviale de l'Ain (réalisé par le Syndicat de la Basse vallée de l'Ain et le Conseil Général de l'Ain) dans 8 puits, sur la même période, ont été récupérées ainsi que les données de débit de l'Ain et de ses principaux affluents.

La modélisation hydrogéologique a été réalisée à partir d'un modèle déterministe de type différences finies à maille de taille variable avec une plus forte résolution sur les secteurs d'étude instrumentés correspondant aux lônes étudiées. Ce modèle reprend les données (perméabilités, épaisseurs de l'aquifère, coefficient d'emmagasinement) déjà établies pour une modélisation antérieure réalisée par le Burgéap avec le logiciel Modflow. Le modèle global (360 km<sup>2</sup>) a permis de reproduire les écoulements souterrains en zone saturée de la nappe alluviale de la basse vallée de l'Ain en basses et hautes eaux et de dresser un bilan des flux sur les périodes sèches pour l'ensemble des lônes. Comme prévu initialement, il n'a pas été possible de réaliser des simulations futures en régime transitoire en raison de problèmes de convergence du modèle et du très grand nombre de données. Des tentatives de simplification du modèle (diminution de la résolution) et injection de conditions limites plus simples n'ont pas permis d'obtenir des côtes d'assèchements réalistes des lônes. Compte tenu du bilan des flux au niveau des lônes, la reconstitution des niveaux d'eau des lônes dont le régime hydraulique est en lien avec la rivière, s'est donc faite à partir des hauteurs d'eau dans la rivière calculées par les modèles neuronaux. La méthode proposée, basée sur la décomposition de l'hydrogramme de crue des rivières en écoulement lent et rapide, s'est inspirée du « base flow index » (BFI). Elle a donné des résultats probants pour les lônes connectées à la rivière.

D'autre part les simulations réalisées montrent que les prélèvements d'eau dans l'aquifère sont bien un facteur amplificateur de l'assèchement des lônes, en particulier dans les zones les plus irriguées. L'augmentation des températures dans le futur provoquera un stress hydrique de la végétation susceptible d'accroître les prélèvements pour l'irrigation. L'évolution des prélèvements d'eau n'a pas été traitée dans ce programme de recherche. Cependant, les syndicats d'irrigation de la basse vallée de l'Ain ne prévoient pas aujourd'hui d'augmenter les prélèvements d'eau dans l'aquifère mais plutôt de pomper l'eau directement dans le Rhône en développant le réseau d'irrigation.

Les cartes piézométriques de référence pour cette période actuelle ont été établies à partir des différents réseaux de suivi des niveaux des nappes (Syndicat de la basse vallée de l'Ain, CETE Lyon, DIREN Rhône Alpes, étude BRGM antérieure soit environ 80 piézomètres au total). Les pompages d'eau prélevés dans la nappe pour l'alimentation en eau potable et l'irrigation ont été pris en compte à partir des études de modélisation antérieures et actualisées dans le nouveau modèle.

Cette partie du projet a finalement permis d'établir la carte des fluctuations du niveau phréatique sur la période actuelle à l'échelle des sites étudiés en développant une alternative à la modélisation numérique lourde dont il est généralement difficile de maîtriser les facteurs d'incertitude. L'influence sur le niveau des lônes a pu être précisée à l'aide des sondes d'enregistrement en continu qui ont été placées dans 9 lônes sensibles (avec capteur de correction barométrique). Les différentes simulations réalisées ont permis d'établir les indicateurs sécheresse pour l'analyse des cinétiques de dessèchement de la zone non saturée

#### EFFET DES EXONDATIONS SUR LA QUALITÉ PHYSICO-CHIMIQUE DES ECOSYSTÈMES.

Ce travail a permis de démontrer que les assèchements ne provoquaient pas une augmentation à long terme de l'eutrophisation, contrairement à ce qui est parfois cité dans la bibliographie (Baldwin and Mitchell 2000), mais en accord avec les travaux portant sur des écosystèmes alimentés par des eaux phréatiques (Lucassen et al. 2005). Le substrat majoritairement grossier de ces écosystèmes suggère que les nutriments pourraient être relargués dans la lame d'eau lors de la remise en eau, probablement du fait du fort soutirage phréatique qui caractérisent ces milieux, et lessivés vers l'aval, ou consommés par la végétation en place (Boar et al. 1995). Il a également pu démontrer que la baisse du niveau de l'eau dans les zones humides soit se traduisait par une oligotrophisation de celles-ci, liées à une augmentation probable de leur connectivité avec la nappe du Bugey (augmentation de la conductivité), au

détriment des sous écoulements de la rivière, plus mésotrophes, soit par une plus grande stagnation, associée à une diminution de la concentration en oxygène et une augmentation des températures estivales<sup>1</sup>. En laboratoire, l'étude des variations physico-chimiques du substrat et de l'eau surnageante lors d'un épisode d'assec-réhydratation de sédiments aquatiques rangés sur un gradient de concentration en matière organique croissant, mais présentant des concentrations en phosphore total comparables a démontré un relargage significatif de nutriments dans l'eau après assec. Le relargage d'ammonium, de COD et de phosphates dans la lame d'eau après la remise en eau d'autant plus faible que la teneur en carbone organique dans le sol était élevée (et donc à la porosité). A concentration en phosphore comparable dans le sol, les ZH présentant les substrats les plus minéraux présentent les plus forts relargages de nutriments, ce qui pourra favoriser les phénomènes d'eutrophisation. Au contraire, les sols fortement poreux et riches en matière organique favoriseraient la rétention des nutriments. Ces résultats ont été obtenus malgré un taux de dessèchement comparable pour tous les types de sols. Ces résultats n'ont pas d'équivalent dans la littérature, et sont en voie de formalisation pour publication<sup>2</sup>.

#### C.4.2 RÉPONSE DES COMMUNAUTÉS ET DES ÉCOSYSTÈMES À L'EXONDATION

En ce qui concerne les végétaux, in situ, les phénotypes de 18 espèces aquatiques contrastées phylogénétiquement et ayant poussé de manière naturelle dans des conditions exondées ou inondées ont été comparés via la mesure de 17 traits renseignant sur la performance des individus et leur morphologie dans les deux conditions. L'étude a démontré que l'origine phylogénétique des espèces et leur niche (amphiphytes vs hydrophytes) définissaient de manière conjointe la réponse des organismes<sup>3</sup>. En parallèle, en laboratoire, les performances relatives et les déterminismes anatomiques et biomécaniques sous-tendant la mise en place d'un port autoportant ont été étudiés<sup>4</sup>. Cette étude a démontré que pour la majorité des espèces, la réponse plastique à l'exondation améliore de la performance biomécanique des plantes en milieu terrestre (augmentation de la rigidité flexionnelle des organes soumis à la gravité). On a également comparé la réponse plastique des espèces à une exondation brutale ou progressive. Les résultats ont démontré que certaines espèces pouvaient montrer une meilleure performance en conditions exondées qu'inondées, suggérant que leur présence en milieu aquatique pourrait être liée à une exclusion du milieu terrestre où elles se révéleraient peu compétitives.

*In situ*, la dynamique saisonnière des communautés microbiennes et des habitats en fonction des caractéristiques du substrat sédimentaire et du régime d'exondation (eau permanente, eau temporaire) a été qualifiée sur un cycle annuel. Cette dynamique des communautés microbiennes est fortement influencée par le type de sédiment, définit par la quantité de matière organique disponible et par la surface colonisable pour les micro-organismes, et par le régime d'exondation<sup>5</sup>. Les différences structurelles, observées au printemps (et reflétant l'influence persistante d'un assèchement antérieur sur la structure

---

<sup>1</sup> De Wilde, M., Puijalon, S., Bornette, G. Physico-chemical consequences of water-level decreases in wetlands: patterns and underlying processes (soumis).

<sup>2</sup> Feitosa-Machado, A. 2013. Mesure expérimentale de la réponse des sols des zones humides aux étiages provoqués par le changement global. M2 recherche, Université Lyon 2, 46 pages.

<sup>3</sup> Hugues, Q. 2011. Plastic response of Angiosperm aquatic species to dewatering. Master 2 Biosciences, Université Lyon 1, 18 p.

De Wilde, M., Clavel, J., Oudot-Canaff, J., Martel, E., Puijalon, S., Escarguel, G., Bornette, G. Plastic responses of Aquatic species to dewatering. A phylogenetic perspective. In prep. .

<sup>4</sup> Hamman, E. & Puijalon, S. Biomechanical responses of aquatic plants to aerial conditions. *Annals of Botany*, 2013, sous presse

De Wilde, M., Sebei, N., Puijalon, S. & Bornette, G. Responses of macrophytes to dewatering: effects of phylogeny and phenotypic plasticity on species performance. *Evolutionary Ecology* (soumis).

<sup>5</sup> Foulquier, A., Volat, B., Neyra, M., Bornette, G., Montuelle, B. 2013. Long-term impact of hydrological regime on structure and functions of microbial communities in riverine wetland sediments. *Fems Microbiology Ecology* 85(2) : 211-226.

des communautés), sont accentuées en réponse à l'exondation, la différence la plus marquée étant observée 1 mois après l'assèchement. L'identification par pyroséquençage des taxons microbiens responsables de ces différences structurelles montre que leur répartition entre habitat inondé permanent ou temporaire est également influencée par leur origine phylogénétique, en lien avec leurs caractéristiques de niches. Les placettes temporaires favorisent les taxons ayant une niche environnementale plus large (généralistes) que les taxons présents préférentiellement dans les placettes permanentes<sup>6</sup>. Ces changements de structure ne sont cependant que faiblement traduits dans le fonctionnement à long terme des communautés microbiennes. En effet, les activités microbiennes impliquées dans la décomposition de la matière organique et le recyclage des nutriments présentent une résilience forte, des taux d'activités équivalents étant observés entre les parcelles sous eau permanentes ou temporaires après 1 mois de remise en eau. Le type de substrat, et notamment la teneur en matière organique des sédiments, déterminent fortement les taux d'activités microbiennes au sein des sédiments. L'assèchement saisonnier induit de fortes diminutions des teneurs en oxygène et des accumulations d'ammonium dans sédiments. De plus, si l'on confronte ces résultats aux caractéristiques géomorphologiques et hydrologiques des sites, les activités microbiennes globales (respiration et hydrolyse) augmentent sur les sites dont la géomorphologie conduit à la formation de mares isolées pendant l'assec, alors que ces activités diminuent fortement dans les sites alimentés par les eaux souterraines. De même, la géomorphologie et le type d'assèchement vont fortement influencer la structure des communautés des microorganismes et leur résilience après la remise en eau<sup>7</sup>.

La structure des communautés d'invertébrés est perturbée par les assecs (baisse de la richesse, augmentation de la proportion de prédateurs) et de leur micro-distribution verticale (diminution très forte en surface). L'impact de l'assec est également plus important chez les espèces qui vivent en permanence dans le milieu aquatique (les crustacés par exemple) que chez les insectes ayant des stades adultes aériens. Ces modifications de structure ont également de fortes conséquences sur des processus fonctionnels tel que la dégradation de la matière organique particulaire par les microorganismes ou les macroinvertébrés, celle-ci diminuant de façon importante pendant et après l'assèchement, particulièrement dans les eaux de surface<sup>8</sup>.

En ce qui concerne les communautés végétales, nous avons pu démontrer, que la résistance des communautés était d'autant moins bon que le sol était graveleux, tandis que les sols organiques étaient ceux pour lesquels la résistance et la résilience des communautés était la meilleure, les sols limoneux présentant un patron intermédiaire<sup>9</sup>. La résistance des communautés à l'assec est corrélée négativement à la richesse spécifique de ces communautés, suggérant un effet positif de la richesse spécifique sur la résistance à l'assec, potentiellement du à des phénomènes de facilitation entre espèces, déjà démontrés dans d'autres conditions de stress (Choler et al. 2001, Kruk et al. 2009). Résistance (ie degré d'altération à la fin de la période d'assec) et résilience (ie degré de retour aux communautés initiales) sont négativement corrélées, ce qui signifie que plus l'impact de l'assec est important, plus la capacité des communautés à revenir à l'état antérieur est faible, démontrant l'incapacité des espèces végétales adaptées à recoloniser l'habitat lorsque l'on augmente l'intensité de la perturbation.

L'impact des changements climatiques sur les populations a été étudié sur des crustacés amphipodes (*Gammarus pulex*, *G. roesilii*) et isopodes (*Asellus aquaticus*). L'effet direct de la température est sensible sur la physiologie, le métabolisme et l'activité des organismes, certaines fonctions

---

<sup>6</sup> Foulquier, A., Montuelle, B., Pommier, T. (en préparation) In situ temporal heterogeneity balances phylogenetic constraints in determining the ecological niche of bacterial communities.

<sup>7</sup> Foulquier A., Dehedin A., Piscart C., Montuelle B., Marmonier P. 2014. Habitat heterogeneity influences the response of microbial communities to severe low-flow periods in alluvial wetlands. *Freshwater Biology* 59 : 463-476.

<sup>8</sup> Dehedin A., Dole-Olivier M.-J., Piscart C., Mimoun D., Bornette G., Marmonier P. 2013. Long-term changes and drying modality affect interstitial assemblages of alluvial wetlands. *Wetlands* 33 (3) : 537-550.

<sup>9</sup> De Wilde, M. Pujalon, S., & Bornette, G. Resistance and resilience of aquatic plant communities to dewatering: the role of sediment. (soumis).

essentielles étant perturbées et les deux derniers paramètres diminuant au-delà de 25°C. Toutefois, cet impact varie entre populations de milieux chauds ou tempérés)<sup>10,11</sup>. Nous avons également pu mettre en évidence des effets indirects, tels que l'augmentation des concentrations en ammonium observées durant l'assèchement, entraînant une forte mortalité surtout chez les deux espèces de *Gammarus*<sup>11</sup>. Une interaction forte entre la toxicité de l'Ammonium et la température a été mise en évidence ainsi qu'une forte variation saisonnière dans la réponse des organismes. L'exondation des macrophytes entraîne des modifications phénotypiques (par la mise en place de tissus de soutien) et interagit avec l'Ammonium en entraînant une très forte réduction du taux de dégradation de cette matière organique par les invertébrés décomposeurs<sup>12</sup>. De même, un remplacement de la végétation de la ripisylve par des essences ayant des feuilles plus dures modifie les processus et la vitesse de dégradation des feuilles par les décomposeurs<sup>13,14</sup>.

Enfin, l'étude des conséquences à long terme des assèchements sur 6 sites (entre 1979 et 2010) a permis de mettre en évidence une amplification de l'effet des assèchements sur les habitats qui entraîne une forte augmentation de la variabilité saisonnière dans la structure des communautés d'invertébrés, particulièrement pour les organismes épigés (vivant dans les eaux de surface). Ainsi, les espèces benthiques des communautés d'invertébrés interstitielles sont plus affectées par l'étiage en 2010 qu'elles ne l'étaient en 1979. En revanche, avant l'assèchement (au printemps) la structure des communautés d'invertébrés souterrains est impactée de façon variable selon la géomorphologie de la zone humide<sup>15</sup>.

### C.4.3 CONSTRUCTION D'UN MODÈLE SYSTÉMIQUE

Les éléments exposés succinctement dans cette partie pour présenter l'approche systémique sont essentiellement issus des travaux de de Rosnay (1975) et dans une moindre mesure de Forrester (1984) et de Le Moigne (1999). Ces éléments ont servi de bases théoriques pour la construction du modèle systémique conceptuel.

D'un point de vue technique, pour la mise en œuvre de ce modèle conceptuel, le choix s'est porté sur le logiciel Vensim. Il s'agit en effet d'un outil facilement adaptable et modifiable et facilement paramétrable. Il propose une interface de programmation assistée : entre le tout préparé et le tout à développer. Il offre de plus de vastes conditions d'applications (Ventana Simulation Environment, Vensim® DSS for Windows Version 6.0b Double Précision, Copyright © 1998-2010 Ventana Systems Inc., <http://www.vensim.com/>).

---

<sup>10</sup> Cottin, D., Roussel, D., Foucreau, N., Hervant, F., Piscart, C. 2012. Disentangling the effects of local and regional factors on the thermal tolerance of freshwater crustaceans. *Naturwissenschaften* 99: 259-264

<sup>11</sup> Foucreau N., Cottin D., Piscart C., Hervant F. 2014. Physiological and metabolic responses to rising temperature in *Gammarus pulex* populations (Crustacea) living under continental or Mediterranean climates. *Comparative Biochemistry and Physiology A - Molecular and Integrative Physiology* 168:69-75

<sup>11</sup> Dehedin A., Piscart C., Marmonier P. 2013. Seasonal variations of the effect of temperature on lethal and sublethal toxicities of ammonia for three common freshwater shredders. *Chemosphere* 90: 1016-1022

<sup>12</sup> Dehedin, A., Maazouzi S., Puijalon S., Marmonier P., Piscart, C. 2013. Combined effects of the water level reduction and the increase in ammonia concentrations on organic matter processing by key freshwater shredders in alluvial wetlands. *Global Change Biology* 19: 763–774.

<sup>13</sup> Foucreau N., Puijalon S., Hervant F., Piscart C. 2013. Effect of leaf litter characteristics on leaf conditioning and on consumption by *Gammarus pulex*. *Freshwater Biology* 58: 1672-1681.

<sup>14</sup> Foucreau N., Piscart C., Puijalon S., Hervant F., 2013. Effect of climate-related change in vegetation on leaf litter consumption and energy storage by *Gammarus pulex* from continental or Mediterranean populations. *Plos ONE* 8(10): e77242.

L'approche systémique est une approche pluridisciplinaire orientée vers la prise de décision pouvant impliquer un nombre important de variables liées entre elles par un jeu d'interactions. Ainsi, l'approche systémique permet d'avancer par simulations successives, en jouant sur les variables, pour comprendre le fonctionnement du système étudié.

Pour ce cas d'application, le choix a été fait d'utiliser un modèle global. Ce type de modèle ne repose pas sur des lois physiques. Il permet toutefois d'essayer de comprendre le comportement d'un système. Pour ce WP le choix d'un modèle global s'est imposé du fait du manque de connaissance tant sur les phénomènes physiques que biologiques, mais aussi du manque de connaissance sur les interactions entre ses compartiments. Le modèle proposé permet toutefois de décrire les flux, les délais et les feedbacks des différents éléments (physiques, biologiques) de l'hydrosystème étudié.

Les principales caractéristiques du modèle sont les suivantes :

- Objectif : Vulnérabilité - combine la résistance à l'assèchement et la résilience après assec des communautés biologiques
- Echelles biologiques :
  - Organismes (survie et croissance)
  - Processus écologiques (richesse et structure des communautés, groupes fonctionnels, processus : par exemple, décomposition de la matière organique, activités bactériennes)
- Echelle spatiale : l'échelle spatiale utilisée est celle de la zone humide
- Limites temporelles : le modèle considère un pas de temps de réponse annuel, et s'applique sur la période 2013-2070.

Les variables principales et les paramètres majeurs du modèle sont les suivants :

- Nombre de jours d'assec par an dans les zones humides (ZH) : la durée annuelle d'assec dans les ZH est déterminée à partir du niveau d'eau dans les lônes (m NGF) obtenu au pas de temps décadaire par modélisation.
- Température de l'eau dans les ZH (°C) : faute de données, nous avons utilisé un jeu de données fictives. Celui-ci a été obtenu à l'aide d'une fonction permettant de générer aléatoirement des nombres entre deux bornes (Température minimum et Température maximum) pour chaque pas de temps. Pour tenir compte de l'augmentation de température prédite par les modèles climatiques, les valeurs de température générées aléatoirement ont été ajustées à l'aide d'une fonction linéaire (+4,8°C de nos jours à 2100). Ces données fictives permettront de tester le fonctionnement du modèle.
- Substrat : 3 catégories considérées - tourbe, limon, galets
- Processus/communautés : Richesse spécifique, Structure des communautés, groupes fonctionnels, décomposition, respiration, dénitrification, nitrification, méthanisation.
- Organismes : 15 espèces végétales et 2 espèces animales.
- Indice de résistance à l'assec: Chaque type biologique est classé selon 5 catégories (0 : effondrement, 1 : forte réduction, 2 : faible réduction, 3 : maintien, et 4 : augmentation) en fonction de son aptitude à survivre, à croître et à assurer ses fonctions biologiques en fonction de la durée des assecs et du dépassement du seuil de température.
- Coefficient de résilience à l'assec: Pour chaque variable, ce coefficient contrôle le retour aux conditions pré-perturbation au pas de temps t+1 en considérant les conditions environnementales au pas de temps précédent (t). Le coefficient de résilience est classifié entre 0 et 1 (0 résilience nulle, 1, résilience complète).

Pour une ZH test, (Carronnière), le modèle permet d'obtenir la dynamique temporelle des jours d'assecs et de la contrainte thermique sur la période 2012-2070 (figure 1).

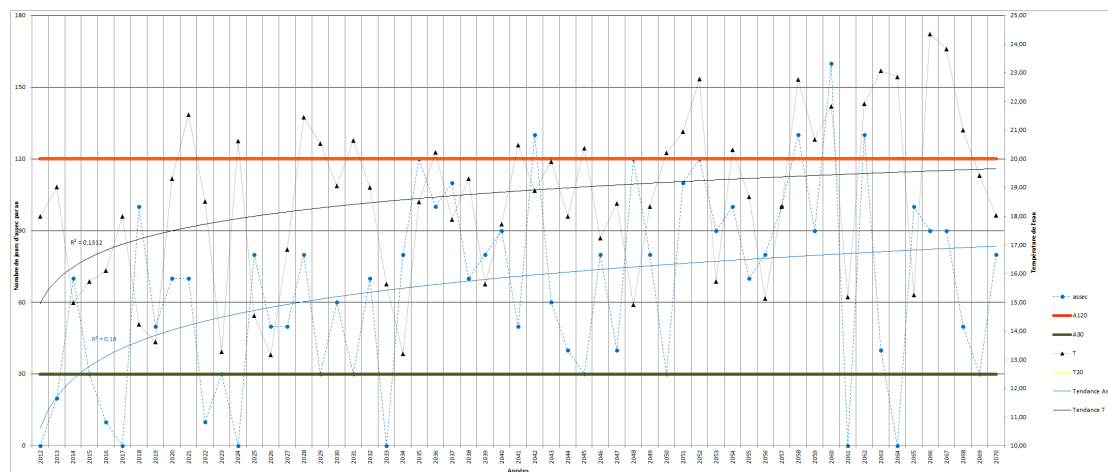


Figure 1 : Durées d'assec et thermie de la lône de Carronnière sur la période 2012-2070. Les points noirs (triangles) représentent le nombre de jours d'assec par pas de temps, et les points bleus (triangles) la température moyenne de l'eau sur la période. Sous la droite verte, la ZH est considérée comme aquatique en permanence (moins de 29 jours d'assec par an). Au dessus de la droite rouge, la ZH est considérée comme éphémère (plus de 120 jours d'assec par an). Entre ces deux droites, la ZH est considérée comme temporaire (30-119 jours d'assec par an). Ces catégories ont été établies à partir d'une classification des situations fondée sur les réponses biologiques des communautés.

L'ensemble des éléments décrits ci-dessus a été implémenté dans le logiciel Vensim. Le modèle propose une simulation de la résistance aux contraintes environnementales (assec et thermie) des variables biologiques, en fonction du substrat des ZH.

Sans rentrer dans les détails, la figure suivante montre le modèle conceptuel (liens de causalités) construit pour la végétation aquatique. Des modèles analogues ont été élaborés pour les invertébrés et le compartiment microbien.

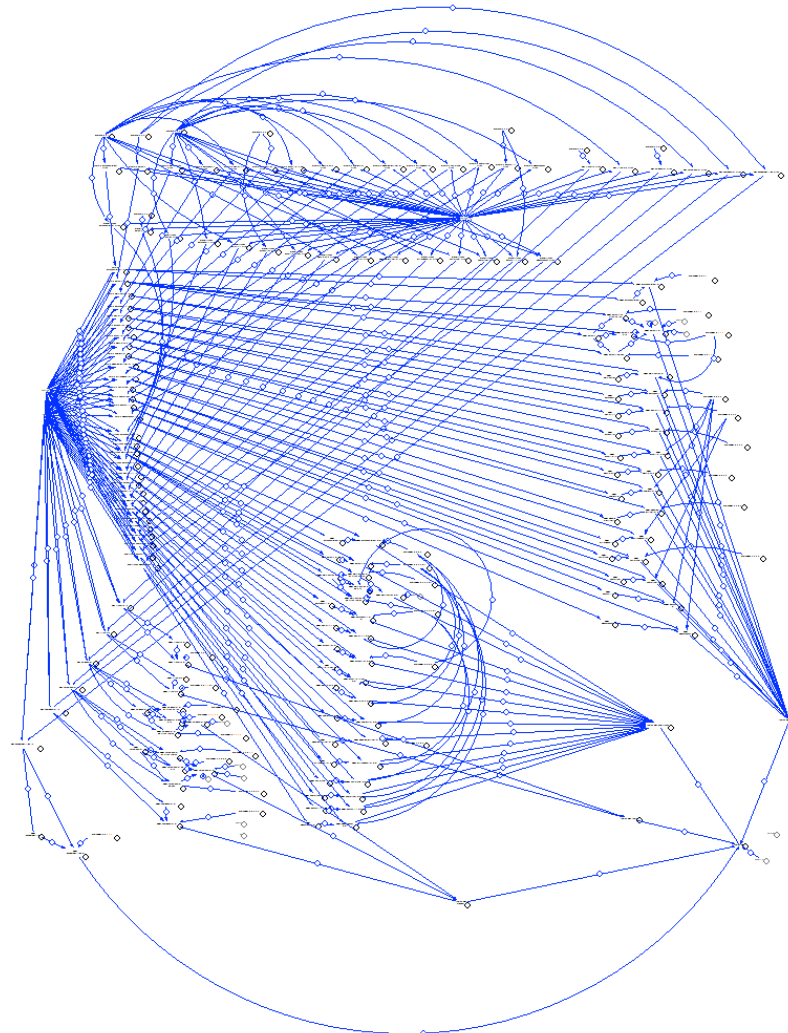


Figure 2 : Modèle conceptuel (liens de causalités) construit pour la végétation aquatique.



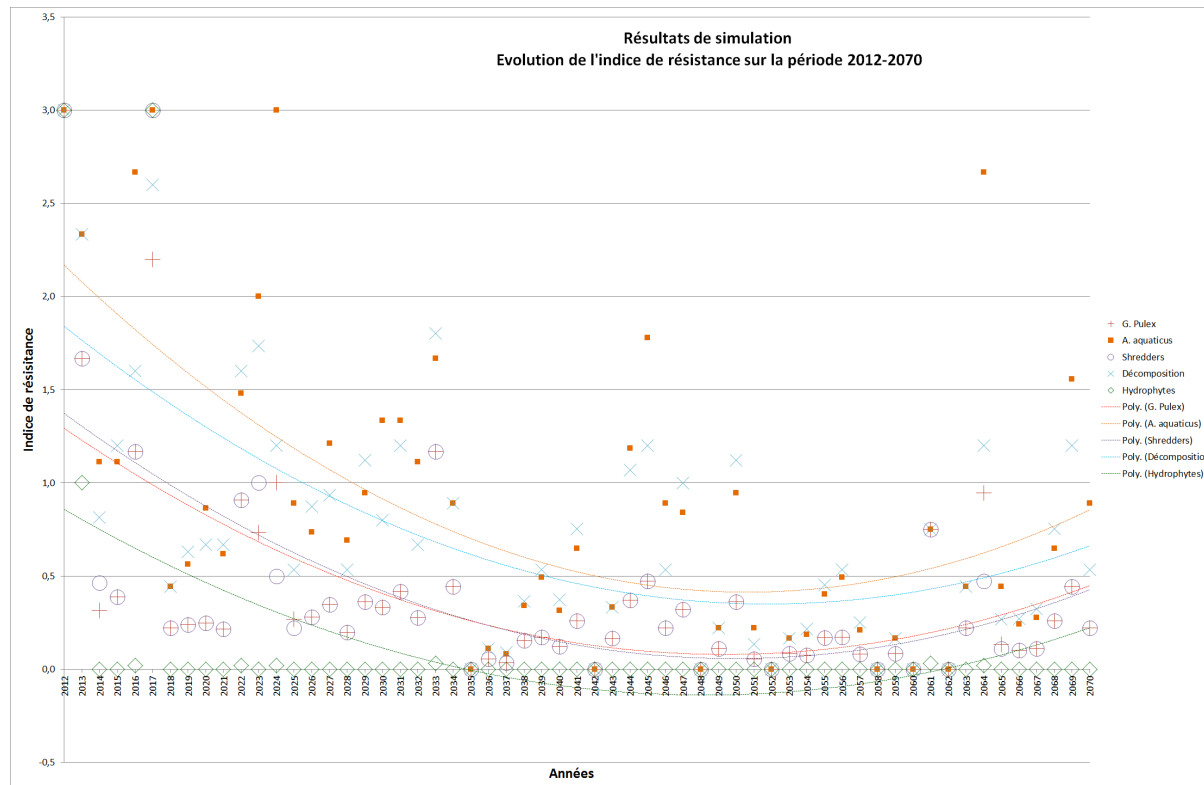


Figure 3 : Exemple d'évolution des métriques biologiques sur le pas de temps 2012-2070. Ce graphe montre l'effondrement des populations de deux invertébrés (*G. pulex* et *A. aquaticus*), d'un type biologique (Shredders) et d'un processus (décomposition). On observe aussi que les hydrophytes ne parviennent jamais à se développer.

Le travail de modélisation est achevé dans son essence, mais il est encore nécessaire d'affiner les réponses biologiques, afin de garantir la cohérence des prédictions fournies. Une fois cet affinage réalisé, le modèle sera mis à disposition de la communauté scientifique.

## C.5 DISCUSSION

Nous avons rempli intégralement les objectifs fixés dans le projet initial, et les verrous ont été globalement franchis. Les développements du projet sont 1) la mise en œuvre de la méthodologie utilisée pour construire le scénario hydrologique sur d'autres bassins versants, afin de fournir des modèles prévisionnels dans des situations hydrologiques contrastées, 2) l'implémentation du modèle en ligne, afin de disposer d'un outil testable sur de nouvelles situations écologiques, et 3) la construction d'une interface permettant d'enrichir le modèle en lignes avec de nouvelles réponses écologiques. Enfin, une

interface facilitant l'accès de la société civile aux résultats de la modélisation reste à construire, mais des interventions pédagogiques dans différents supports sont d'ores et déjà prévues, tant dans la presse locale que dans la presse spécialisée (eg, journal du CNRS, par exemple).

## D LISTE DES LIVRABLES

Date de livraison	N°	Titre	Nature (rapport, logiciel, prototype, données, ...)	Partenaires (souligner le responsable)	Commentaires
Décembre 2010	1	WP1-module 1 : scénario hydroclimatique	Modèle	ENSMSE	
juillet 2010	2	WP1 module 2 Mise en place de l'instrumentation dans la zone saturée	Modèle	ENSMSE	
Décembre 2011	3	WP1 module 2 Modèle grande échelle de nappe actuel	Modèle	ENSMSE	
Décembre 2012	4	WP1 module 2 : Modèles locaux actuels	Modèle	ENSMSE	Retard pris du fait des problèmes de santé du porteur de ce module
Décembre 2012	5	WP1 module 2 : Modèle grande échelle futurs	Modèle	ENSMSE	
Décembre 2012	6	WP1 module 2 : Modèles locaux futurs	Modèle	ENSMSE	
Décembre 2012	7	WP1 module 2 : Simulations hydrauliques sur l'Ain (1D) et 2D sur le site du Planet	Modèle	ENSMSE	Simulations réalisées sur 6 zones humides au lieu d'une
Janvier 2012	8	WP1 module 3 : Mise en place de l'instrumentation dans la zone non saturée	instrumentation	ENSMSE	
Juillet 2012	9	WP1 module 3 : dessèchement in situ et nutriments	données	LEHNA	Réalisée sur 15 zones humides au lieu de 6 prévues initialement

Date de livraison	N°	Titre	Nature (rapport, logiciel, prototype, données, ...)	Partenaires (souligner le responsable)	Commentaires
2011-2012	10	WP1 module 3 : mesure des nutriments in situ	données	LEHNA	
2012-2013	11	WP2 module 1 : réponses des communautés in situ	Données, publications	LEHNA, IRSTEA	
2012-2013	12	WP2 module 2 : réponses des communautés en laboratoire	Données, publications	LEHNA, IRSTEA	
2013	13	WP3 : élaboration d'outils de prévision	logiciel	tous	
	14	Livrables /Jalons			
2011		Rapport d'avancement			
		Réunions du comité de pilotage	réunion	tous	Non rassemblé du fait des problèmes de santé du collègue qui ont conduit à moduler notre plan d'action
2010, 2011, 2012, 2013		Réunions des comités techniques	réunions	tous	
2010, 2011, 2012, 2013		Journées thématiques	Workshops internes	tous	
2014		Colloque de fin de projet			A réaliser printemps 2014
2010		Accord de consortium/rapport final	document		

## E IMPACT DU PROJET

Le projet a donné lieu à 3 thèses, dont une financée par le projet lui même, 3 post doctorats (dont 1 financé par le projet), et plusieurs M2 recherche.

En termes de valorisation scientifique, celle-ci est encore en cours, mais le projet a porté ses fruits. En effet, il a donné directement lieu à 17 publications dans des revues scientifiques internationales à comité de lecture publiées, 4 soumises, et 24 communications scientifiques dans des colloques en France ou à l'étranger.

Le projet a conduit à construire un partenariat durable entre les acteurs, qui se poursuit dans deux programmes avec l'agence de l'eau et l'ONEMA, et qui ont pour objectif de déterminer, avec les outils mis en place dans le projet, la nature et le degré d'échange entre eaux de surface et eau souterraine le long du Rhône et dans plusieurs autres systèmes fluviaux (Drome, Rhin, Doubs, Orgeval, etc).

## E.1 INDICATEURS D'IMPACT

### *Nombre de publications et de communications (à détailler en E.2)*

		<b>Publications multipartenaires</b>	<b>Publications monopartenaires</b>
<b>International</b>	<b>Revue à comité de lecture</b>	6	11
	<b>Ouvrages ou chapitres d'ouvrage</b>	0	0
	<b>Communications (conférence, poster)</b>	2	6
<b>France</b>	<b>Revue à comité de lecture</b>	0	0
	<b>Ouvrages ou chapitres d'ouvrage</b>	0	0
	<b>Communications (conférence, poster)</b>	2	14
<b>Actions de diffusion</b>	<b>Articles vulgarisation</b>	0	0
	<b>Conférences vulgarisation</b>	0	0
	<b>Autres</b>	0	0

### *Autres valorisations scientifiques (à détailler en Erreur ! Source du renvoi introuvable.)*

	<b>Nombre, années et commentaires (valorisations avérées ou probables)</b>
<b>Brevets internationaux obtenus</b>	0

<b>Brevet internationaux en cours d'obtention</b>	0
<b>Brevets nationaux obtenus</b>	0
<b>Brevet nationaux en cours d'obtention</b>	0
<b>Licences d'exploitation (obtention / cession)</b>	0
<b>Créations d'entreprises ou essaimage</b>	0
<b>Nouveaux projets collaboratifs</b>	1
<b>Colloques scientifiques</b>	1 (prévu)
<b>Autres (préciser)</b>	

## E.2 LISTE DES PUBLICATIONS ET COMMUNICATIONS

### E.2.1 TRAVAUX MONOPARTENAIRES

#### COMMUNICATIONS INTERNATIONALES :

1. De Wilde, M., Puijalon, S. & Bornette, G. 2011. Réponses plastiques de 2 espèces aquatiques aux exondations. ECOVEG 7, Lausanne, 30 mars-1 avril 2011. Communication orale.
2. De Wilde, M., Puijalon, S. & Bornette, G. Impact of increasing drainage frequency on the long term chemical characteristics of riverine wetlands. Symposium of the Society of wetland scientists, Prague, République Tchèque, 3-8 juillet 2011. Communication orale.
3. Dehédin A., Gaillard I., Danjean M., Datry T., Volatier, L. Longitudinal changes in epilithic microbial community structure along an intermittent river: influence of drying/rewetting cycles. Symposium for European Freshwater Sciences (SEFS), Girona (Spain), 27 juin - 01
4. Foucreau N., Puijalon S., Hervant F., Piscart C. Effect of global warming and vegetation change induced in ripisylves on litter breakdown by populations of *Gammarus pulex* (Amphipoda) from the Rhône River Valley. 8th Symposium for European Freshwater Sciences (SEFs), Münster (Germany), 1-5 July 2013.
5. Foulquier A., Poly F., Neyra M., Montuelle B. Réponse des communautés microbiennes des sédiments de zones humides à l'assèchement. Cinquième colloque de l'AFEM. Hammamet, Tunisie, 14-16 novembre 2011. Poster. ;Juillet 2011.
6. Mimoun D., Gaur S. and Graillet D. Biodiversity and Functions of Alluvial System Facing Severe Droughts Induced by Global Change, International Conference Modflow and More, Denver (Colorado), juin 2011.

#### COMMUNICATIONS NATIONALES :

1. Cottin D., Piscart C., Roussel D., Foucreau N., Hervant F. Intraspecific variation in mitochondrial activities and heat-shock responses in freshwater amphipods. 4th International Symposium of Environmental Physiology of Ectotherms and Plants (ISEPEP4), Rennes (France), 18-22 Juillet 2011.
2. Cottin D., Piscart C., Rouselle D., Foucreau N., Hervant F. Thermal tolerance studies in freshwater amphipods. Colloque d'Ecophysiologie Animale (CEPA), Lyon (France), 7-9 Novembre 2013.

3. De Wilde, M., Bornette, G. 2010 - Vulnérabilité des zones humides aux assècs : Stratégies de résistance et de résilience des communautés végétales. Ecologie 2010, Montpellier, France, 2-4 septembre 2010. Poster
4. De Wilde, M., Hugues, Q., Puijalon, S. & Bornette, G. Plastic response of angiosperm aquatic species to dewatering. Symposium "Impact of climate change on the ecophysiology of freshwater organisms", Lyon, 5-7 septembre 2011. Communication orale
5. De Wilde, M., Puijalon, S. & Bornette, G. 2011. Plastic responses of two aquatic angiosperms to dewatering. 54th symposium of the International Association for Vegetation Science, Lyon, France, 20-24 Juin 2011. Poster
6. Dehédin A., Piscart C., Dole-Olivier M-J., P. Marmonier. Changements de structure des communautés d'invertébrés interstitiels dans des zones humides alluviales sujettes à l'assèchement. Congrès Inbioprocess 2011, Villeurbanne (France), 26-28 Janvier 2011.
7. Dehédin A., Maazouzi C., Puijalon S., Marmonier P., Piscart C. Combined effects of the water level reduction, rising temperature and ammonia concentrations on organic matter processing by key freshwater shredders. Workshop Ecostress, Rennes (France), 21-23 Novembre 2012.
8. Foucreau N., Cottin D., Piscart C., Hervant F. Ecophysiological responses to temperature of freshwater amphipods: a comparative study between northern and southern populations along the Rhone Valley (France). 4th International Symposium of Environmental Physiology of Ectotherms and Plants (ISEPEP4), Rennes (France), 18-22 Juillet 2011.
9. Foucreau N., Cottin D., Piscart C., Hervant F. Thermal tolerance of Gammarus pulex populations (Crustacea) living under continental or mediterranean climate. Colloque d'Ecophysiologie Animale (CEPA), Lyon (France), 7-9 Novembre 2013.
10. Foucreau N. Puijalon S., Hervant F., Piscart C. Effet de la température et de différentes essences végétales sur les propriétés biomécaniques des feuilles et leur dégradation par des populations de Gammarus pulex (Amphipoda) situées le long de la vallée du Rhône. Journées Internationales de Limnologie et d'Océanographie (JILO), Clermont Ferrand (France), 17-19 Octobre 2012.
11. Hamann, E. & Puijalon, S. 2011. Responses of freshwater plants to dewatering: biomechanical properties and morpho-anatomical determinism. 54th symposium of the International Association for Vegetation Science, Lyon, France, 20-24 Juin 2011. Communication orale.
12. Hamann, E. & Puijalon, S. Macrophyte responses to drought: morpho-anatomical determinism and biomechanical performance. Symposium "Impact of climate change on the ecophysiology of freshwater organisms", Lyon, 5-7 septembre 2011. Communication orale
13. Piscart C., Berezina N. 2011. Impact of climate change on the ecophysiology of freshwater organisms. Séminaire France-Russie, Villeurbanne, 05-07 Septembre 2011.
14. Piscart C., Pellan L., Romestaing C., Ferrand K., Renault D., Hervant F. Combined effects of moderate hypoxia and unionized ammonia on the metabolism of the key freshwater crustacean Gammarus pulex. Colloque d'Ecophysiologie Animale (CEPA), Lyon (France), 7-9 Novembre 2013

#### RAPPORTS DE STAGE :

1. Bedel, N. 2011. Réponse des végétaux aquatiques à l'exondation : étude des éléments structuraux (cellulose, lignine). Licence 3 'Biochimie', Université Lyon 1, 16 pages.
2. Bouissou N. 2011. Impact des assèchements sur les communautés d'invertébrés des zones humides de l'Ain. Rap. M1 BOP, Université Lyon 1.
3. Caty F. 2011. Effets des changements climatiques sur les réponses écologiques et écophysiologiques de Gammarus pulex : rôle du changement de végétation, Rap. M1 BOP, Université de Bourgogne, Dijon, 24p.
4. Dalmais S. 2011. Réponses écophysiologiques de crustacés d'eau douce dans un contexte de réchauffement climatique. Rap. M1 ME, Université Lyon 1.
5. Feitosa-Machado, A. 2013. Mesure expérimentale de la réponse des sols des zones humides aux étiages provoqués par le changement global. M2 recherche, Université Lyon 2, 46 pages.
6. Ferrand K. 2011. Réponses écophysiologiques de crustacés d'eau douce dans un contexte de réchauffement climatique Rap. M1 ME, Université Lyon 1.
7. Ferrand K. 2012. Réponses écophysiologiques d'un organisme clé des écosystèmes aquatiques (le crustacé Gammarus pulex) aux contraintes liées à l'assèchement et à la migration dans les sédiments. Master 2 'Physiologie Intégrée en conditions extrêmes', Université Lyon 1, 38p.
- Guillemain A. 2010 Réponse plastique d'une espèce végétale aquatique, *Baldellia ranunculoides*, à une exondation brutale. Master 1 « Ecologie, Evolution, Biodiversité, Biométrie » Université Lyon 1, 19p
8. Hamann, E. 2010. A study of wetlands facing global change: the plastic responses of aquatic plants to drought. Leaf structure, life-span, construction costs and resistance to drought: what are the tendencies for aquatic plants? Master 1 « Ecologie, Evolution, Biodiversité, Biométrie » Université Lyon 1, 17 pages
9. Hamann, E. 2011. A study of wetlands facing global change: plastic responses of aquatic plants to drought – A biomechanical perspective. Master 2 'Ecologie, Evolution, Biométrie', Université Lyon 1, 44 pages.

10. Herbert O. 2011. Caractérisation chimique et microbiologique des eaux superficielles et interstitielles de zones humides fluviales (basses vallées de l'Ain), Rap. L3 BOP, Université Lyon 1, 20p.
11. Hugues, Q. 2011. Plastic response of Angiosperm aquatic species to dewatering. Master 2 Biosciences, ENS Lyon, 18 pages.
12. Mercier P.-E. 2012. Réponse des végétaux aquatiques aux contraintes physiques: étude des éléments structuraux. Rap. M1 Ecosciences, Microbiologie, Université Lyon 1, 11p.
13. Ziller A. 2012. Effets de la température sur la dégradation et l'assimilation des ressources trophiques par le crustacé amphipode *Gammarus pulex*. 26p. Rap. M1 BOP, Université de Bourgogne, Dijon
14. Pellan L. 2013. Effets létaux et sublétaux de l'interaction entre l'hypoxie et l'ammoniac sur une espèce clé du fonctionnement des écosystèmes dulçaquicoles, *Gammarus pulex* (Amphipoda : Gammaridae). 22p. Rap. M1 Biodiversité Ecologie et Environnement, Université de Rennes 1, Rennes.

## PUBLICATIONS :

1. Cottin, D., Roussel, D., Foucreau, N., Hervant, F., & Piscart, C. (2012). Disentangling the effects of local and regional factors on the thermal tolerance of freshwater crustaceans. *Naturwissenschaften* 99, 259-264.
2. De Wilde, M., Puijalon, S. & Bornette, G. Physico-chemical consequences of water-level decrease in wetlands: patterns and underlying processes. (soumis)
3. De Wilde, M., Sebei, N., Puijalon, S. & Bornette, G. Responses of macrophytes to dewatering: effects of phylogeny and phenotypic plasticity on species performance. *Evolutionary Ecology* (soumis).
4. De Wilde, M., Calvel, J., Oudot-Canaff, J., Martel, E., XX, Puijalon, S., Escarguel, G., Bornette, G. Plastic responses of Aquatic species to dewatering. A phylogenetic perspective. In prep.
5. De Wilde, M., Puijalon, S., & Bornette, G. Resistance and resilience of aquatic plant communities to dewatering: the role of sediment. (soumis)
6. Dehedin A., Piscart C., Marmonier P. (2013). Seasonal variations of the effect of temperature on lethal and sublethal toxicities of ammonia for three common freshwater shredders. *Chemosphere* 90: 1016-1022.
7. Foucreau N., Cottin D., Piscart C., Hervant F. (2014) Physiological and metabolic responses to rising temperature in *Gammarus pulex* populations (Crustacea) living under continental or Mediterranean climates. *Comparative Biochemistry and Physiology A - Molecular and Integrative Physiology* 168, 69-75.
8. Foulquier, A., Montuelle, B., Pommier, T. (en préparation) In situ temporal heterogeneity balances phylogenetic constraints in determining the ecological niche of bacterial communities.
9. Gaur, S., Ch, S., Graillot, D., Chahar, B.R. and Kumar, D. N. (2012) Application of Artificial Neural Networks and Particle Swarm Optimization for the Management of Groundwater Resources. *Water Resources Management*. Accepted. DOI 10.1007/s11269-012-0226-7
10. Hamann, E., Puijalon, S. Biomechanical responses of aquatic plants to aerial conditions. *Annals of Botany*, 112 : 1869-1878.
11. Maazouzi, C., Piscart, C., Legier, F., Hervant, F., 2011. Ecophysiological responses to temperature of the "killer shrimp" *Dikerogammarus villosus*: is the invader really stronger than the native *Gammarus pulex*? *Comparative Biochemistry and Physiology A- Molecular and Integrative Physiology* 159, 268-274.

## E.2.2 TRAVAUX PLURIPARTENAIRES

### COMMUNICATIONS INTERNATIONALES :

1. Dehédin A., Piscart C., Dole-Olivier M.J., Mimoun D., Marmonier P. Global change and effects of drought on interstitial communities of alluvial wetlands. Annual Meeting of the North American Benthological Society (NABS), Providence (USA), 22-26 Mai 2011.
2. Dehédin A., Piscart C., Montuelle B., Marmonier P. Severe low flow periods reduce the heterotrophic processes in alluvial floodplain. 8th Symposium for European Freshwater Sciences (SEFs), Münster (Germany), 1-5 July 2013.

### COMMUNICATIONS NATIONALES :

1. Dehédin A., Piscart C., Montuelle B., Marmonier P. (2012). Impact de l'assèchement saisonnier sur la biodiversité et le recyclage de la matière organique particulaire dans les zones humides fluviales. Journées Internationales de Limnologie et d'Océanographie (JILO), Clermont Ferrand (France), 17-19 Octobre 2012.

2. Foulquier A., Neyra M., Bornette G., Montuelle B. Influence of hydrological regime on the structure and functions of microbial communities in wetland sediments. JILO-2012 : Journées Internationales de Limnologie et d'Océanographie. Clermont-Ferrand, France, 17-19 octobre 2011. Communication orale.

#### PUBLICATIONS :

- Dehédin A., Dole-Olivier M.J., Piscart C., Mimoun D., Marmonier P. (2013) Global change and drying modality affect interstitial assemblages of alluvial wetlands. *Wetlands*, 33, 537-550.
- Dehedin, A., Maazouzi S., Puijalon S., Marmonier P., Piscart, C. (2013). Combined effects of the water level reduction and the increase in ammonia concentrations on organic matter processing by key freshwater shredders in alluvial wetlands. *Global Change Biology* 19, 763–774.
- Foulquier, A., Volat, B., Neyra, M., Bornette, G., Montuelle, B. 2013. Long-term impact of hydrological regime on structure and functions of microbial communities in riverine wetland sediments. *Fems Microbiology Ecology* 85(2) : 211-226.
- Foulquier A., Dehedin A., Piscart C., Montuelle B., Marmonier P. (2014). Habitat heterogeneity influences the response of microbial communities to severe low-flow periods in alluvial wetlands. *Freshwater Biology* 59, 463-476.
- Foucreau N., Piscart C., Puijalon S., Hervant F., (2013). Effect of climate-related change in vegetation on leaf litter consumption and energy storage by *Gammarus pulex* from continental or Mediterranean populations. *Plos ONE* 8(10): e77242.
- Foucreau N., Puijalon S., Hervant F., Piscart C. (2013). Effect of leaf litter characteristics on leaf conditioning and on consumption by *Gammarus pulex*. *Freshwater Biology* 58, 1672-1681.

### E.3 PERSONNELS RECRUTÉS EN CDD (HORS STAGIAIRES)

Les personnes recrutées dont le travail de recherche portait sur le projet, mais qui n'ont pas été financées par celui ci, sont indiquées au bas du tableau.

Nom et prénom	Sexe H/F	Adresse email (1)	Dernier diplôme obtenu au moment du recrutement	Lieu d'études (France, UE, hors UE)	Expérience prof. antérieure (ans)	Partenaire ayant embauché la personne	Poste dans le projet (2)	Date de recrutement	Durée missions (mois) (3)
De Wilde Melissa	F	<a href="mailto:melissa.de-wilde@univ-lyon1.fr">melissa.de-wilde@univ-lyon1.fr</a>	M2R, université d'avignon	France		LEHNA	CDD Doctorant	1 <sup>er</sup> Mars 2010	36 mois
Foulquier Arnaud	H	<a href="mailto:arnaud.foulquier@gmail.com">arnaud.foulquier@gmail.com</a>	Doctorat	France	5	IRSTEA	Post-doctorant	Décembre 2011	18
GAUR Shishir	H	<a href="mailto:shishir.gaur@gmail.com">shishir.gaur@gmail.com</a>	PhD IIT Delhi	Inde et France	1 an	Armines	Post-doc Modélisation hydrologique (préparation)	15 janvier 2010	9 mois
Cottin Delphine	F	<a href="mailto:delphine.cottin@mnhn.fr">delphine.cottin@mnhn.fr</a>	Doctorat	France	4	LEHNA	Postdoctorant	01/03/2011	18
Personnes recrutées sur d'autres crédits									
Dehédin Arnaud	H	<a href="mailto:arno.dehedin@hotmail.fr">arno.dehedin@hotmail.fr</a>	M2 P Université Lyon 1	France	0	LEHNA	Doctorant	01/10/2010	36
Foucreau Natacha	F	<a href="mailto:Natacha.foucreau@gmail.com">Natacha.foucreau@gmail.com</a>	M2 R Université Rennes 1	France	0	LEHNA	Doctorant	01/10/2011	36



## E.4 BILAN ET SUIVI DES PERSONNELS RECRUTÉS EN CDD (HORS STAGIAIRES)

Identification				Avant le recrutement sur le projet			Recrutement sur le projet				Après le projet				
Nom et prénom	Sexe H/F	Adresse email (1)	Date des dernières nouvelles	Dernier diplôme obtenu au moment du recrutement	Lieu d'études (France, UE, hors UE)	Expérience prof. Antérieure, y compris post-docs (ans)	Partenaire ayant embauché la personne	Poste dans le projet (2)	Durée missions (mois) (3)	Date de fin de mission sur le projet	Devenir professionnel (4)	Type d'employeur (5)	Type d'emploi (6)	Lien au projet ANR (7)	Valorisation expérience (8)
De Wilde Melissa	F	melissa.d e-wilde@univ-lyon1.fr	M2R, université Aix-Marseille III	France		LEHNA	CDD Doctorant	1 <sup>er</sup> Mars 2010	36 mois	melissa.d e-wilde@univ-lyon1.fr	M2R, université Aix-Marseille III	France		LEHNA	CDD Doctorant
Foulquier Arnaud	H	arnaud.foulquier@gmail.com	Février 2014	Doctorat	France		Cemagref/Irstea	Post-doctorant	22	Décembre 2012	Post-doctorant CDD	Irstea	Chercheur	oui	Oui
GAUR Shishir	H	shishir.gaur@gmail.com	PhD IIT Delhi	Inde et France	1 an	Armines	Post-doc Modélisation hydrologique (préparation)	15 janvier 2010	9 mois	shishir.gaur@gmail.com	PhD IIT Delhi	Inde et France	1 an	Armines	Post-doc Modélisation hydrologique (préparation)
Cottin Delphine	F	delphine.cottin@mnhn.fr	Février 2014	Doctorat Université Paris 6	France	4	LEHNA	Postdoctorante	18	31/08/2012	CDD	Enseignant et Recherche public	ATER	Non	Oui
Dehédin Arnaud	H	arno.dehedin@hotmail.fr	Aout 2013	M2 Pro Université Lyon 1	France	0	LEHNA	Doctorant	36	30/09/2012	CDD	Enseignant et Recherche public	ATER	Non	Oui
Foucreau Natacha	F	natacha.foucreau@gmail.com	Février 2014	M2 R Université Rennes 1	France	0	LEHNA	Doctorante	36	30/09/2013	CDD	Enseignant et Recherche public	ATER	Oui	Oui

## F RÉFÉRENCES CITÉES

- Baldwin DS, Mitchell AM (2000) The effects of drying and re-flooding on the sediment and soil nutrient dynamics of lowland river-floodplain systems: a synthesis. Regulated Rivers, Research and Management 16:457-467.
- Boar RR, Lister DH, Clough WT (1995) Phosphorous loads in a small groundwater-fed river during the 1989-1992 east Anglian drought. Wat. Res. 29:2167-2173.
- Bonis A, Lepart J, Grillas P (1995) Seed bank dynamics and coexistence of annual macrophytes in a temporary and variable habitat. Oikos 74:81-92.
- Bornette G, Tabacchi E, Hupp CR, Puijalon S, Rostan J-C (2008) A model of plant strategies in fluvial hydrosystems. Freshwater Biology 53:1692-1705.

- Brock MA, Nielsen DL, Shiel RJ, Green JD, Langley JD (2003) Drought and aquatic community resilience: the role of eggs and seeds in sediments of temporary wetlands. *Freshwater Biology* 48:1207-1218.
- Brock MA, Rogers KH (1998) The regeneration potential of the seed bank of an ephemeral floodplain in South Africa. *Aquat. Bot.* 61:123-135.
- Casanova MT, Brock MA (2000) How do depth, duration and frequency of flooding influence the establishment of wetland plant communities? *Plant Ecol.* 147:237-250.
- Choler P, Michalet R, Callaway RM (2001) Facilitation and competition on gradients in alpine plant communities. *Ecology* 82:3295-3308.
- De Rosnay J (1975) *Le microscope*. Ed. du Seuil.
- Forrester JW (1984) *Principes des systèmes*. Presses Universitaires de Lyon
- Greening HS, Gerritsen J (1987) Changes in macrophyte community structure following drought in the okefenokee swamp, Georgia, U.S.A. *Aquat. Bot.* 2:113-128.
- Gutschick VP, BassiriRad H (2003) Extreme events as shaping physiology, ecology, and evolution of plants: toward a unified definition and evaluation of their consequences. *New Phytologist* 160:21-42.
- Holmes NTH (1999) Recovery of headwater stream flora following the 1989-1992 groundwater drought. *Hydrological processes* 13:341-354.
- Humphries P, Baldwin DS (2003) Drought and aquatic ecosystems: an introduction. *Freshwater Biology* 48:1141-1146.
- Kruk C, Huszar VLM, Peeter ETHM, Bonilla S, Costa L, Lüring M, Reynolds CS, Scheffer M (2009) A morphological classification capturing functional variation in phytoplankton. *Freshwater Biology* 55:614-627.
- Le Moigne (1999) *La modélisation des systèmes complexes*. Ed. Dunod.
- Lucassen ECHET, Smolders AJP, Lamers LPM, Roelofs JGM (2005) Water table fluctuations and groundwater supply are important in preventing phosphate-eutrophication in sulphate-rich fens: Consequences for wetland restoration. *Plant Soil* 269:109-115.
- McGowan S, Leavitt PR, Hall RI (2005) A Whole-Lake Experiment to determine the effects of winter droughts on shallow lakes. *Ecosystems* 8:694-708.
- Mommer L, Visser EJW (2005) Underwater photosynthesis in flooded terrestrial plants: a matter of leaf plasticity. *Ann. Bot.* 96:581-589.
- Poff NL, Olden JD, Pepin DM, Bledsoe BP (2006) Placing global stream flow variability in geographic and geomorphic context. *River Research and Applications* 22:149-166.
- Stromberg JC, Beauchamp VB, Dixon MD, Lite SJ, Paradzick C (2007) Importance of low-flow and high-flow characteristics to restoration of riparian vegetation along rivers in arid south western United States. *Freshwater Biology* 52:651-679.
- Ward JV, Tockner K, Edwards PJ, Kollman J, Bretschko G, Gurnell AM, Petts GE, Rossaro B (1999) A reference river system for the Alps : the " Fiume Tagliamento. *Regulated Rivers, Research and Management* 15:63-75.