Université de Provence
Master II pro – Science de l'Environnement Terrestre
Sp – Gestion des Eaux et des Milieux Aquatiques
Ssp – Zones Humides Méditerranéennes
Rapport de stage de master professionnel

FORMALISATION CONCEPTUELLE DU FONCTIONNEMENT DE L'HYDROSYSTEME BASSIN VERSANT – MARAIS DES BAUX



Préparation de l'approche pluridisciplinaire d'un territoire entre déficit et excès d'eau

Tour du Valat
Tuteur professionnel :
Alain SANDOZ
Encadrants :
Olivier BOUTRON
Philippe CHAUVELON

Département Environnement Technologies Et Société

Tuteur universitaire :
Evelyne FRANQUET

Anthony CHEVAL

2011

Formalisation conceptuelle du fonctionnement de l'hydrosystème bassin versant - marais des Baux

Préparation de l'approche pluridisciplinaire d'un territoire entre déficit et excès d'eau

Anthony CHEVAL

2011

RÉSUMÉ

Au sein du projet de recherche appliquée : d'un marais à l'autre, marais en mutation, l'étude ambitionne d'apporter une vision synthétique du fonctionnement hydrologique de la vallée des Baux (France, Bouches du Rhône).

L'approche multi-scalaire du territoire permet d'identifier les nœuds socio-hydrauliques autour desquels s'organise la gouvernance de l'eau. Pour chacune des quatre thématiques abordées (irrigation, assainissement, hydrologie de surface et hydrogéologie), les points conflictuels, les acteurs impliqués, les lacunes dans les connaissances ainsi que les enjeux futurs sont identifiés.

Cette synthèse met en avant la nécessité de prospecter un territoire beaucoup plus vaste que le bassin versant topographique des marais dans les reflexions sur leur avenir. Elle apporte les éléments nécessaires à la réalisation d'un modèle conceptuel du fonctionnement hydrologique du territoire qui sera le support des reflexions engagées par les socio-anthropologues de l'axe A du même projet. Il ressort toutefois la nécessaire et préalable mise en place d'un réseau de suivi afin d'améliorer les connaissances quant au fonctionnement du système.

Mots clef : Zone Humide – Gouvernance – Approche multi-scalaire – Hydrologie – Modélisation

ABSTRACT

Within the applied research project : a marsh to an other, changing marches, the study aims to provide a synthetic vision of the Vallée des Baux hydrological functioning (France, Bouches du Rhône).

A multiscalar analysis of the territory is used to identify socio-hydraulic nodes auround which revolves the water governance. For each of the four issues covered (irrigation, drainage, surface flow and hydrogeology), conflict points, actors involved, gaps in knowledge and futur challenges are emphasized.

This overview highligts the need for dealing with a larger territory that the topographic watershed of the Marais des Baux within the reflections about their future. It gives the elements needed for the completion of a conceptual model about the hydrological functioning of the territory which will support the discussions launched by social anthropologists from the A axis of the same project.

However, it appears that a preliminary implementation of a monitoring network is needed to enhance the understanding of the system.

Keywords : Wetland – Governance – Multiscalar analysis – Hydrology – Modelisation

Remerciements

Mes remerciements s'adressent à l'ensemble des salariés, stagiaires et doctorants de la Tour du Valat, pour leur bonne humeur quotidienne, pour la passion qu'ils mettent dans leur travail et pour le plaisir qu'ils prennent à partager leurs connaissances avec des néophytes tels que moi.

Ils vont tous particulièrement vers Alain SANDOZ qui nous suit (ou peut être est-ce nous?) depuis maintenant deux ans et dont la confiance qu'il nous accorde semble rester intacte.

Je tiens aussi à remercier Philippe CHAUVELON et Olivier BOUTRON de la cellule hydro-système qui, sans être mes tuteurs professionnels, ont pris le temps de m'encadrer et de répondre à mes questions.

Merci à Victor DONNET, stagiaire volontaire à la Tour du Valat qui s'est investi de façon considérable dans la modélisation des marais de l'Ilon.

A toutes les personnes qui ont séjourné dans le bureau (la volière) des stagiaires, je vous fais part de mes remerciements pour l'intérêt que vous avez porté au projet et pour le système d'entraide que nous avons su développer, chacun avec ses connaissances.

Un grand merci enfin à l'ensemble des personnes impliquées dans le Master II Gestion des Zones Humides Méditerranéennes pour l'investissement dont ils font part et qui se traduit par la qualité de la formation.

Anthony

Table des matières

Remerciements....1
Table des abréviations....3
Index des illustrations....3
Index des illustrations....4
Introduction générale....5

I. De la Camargue aux marais des Baux, implications de la Tour du Valat....6

I.1. Une Fondation d'utilité publique....6
I.2. Une mission de recherche appliquée....7
I.3. Intervention sur les marais des Baux....7

II. Modélisation hydrologique des marais des Baux : contexte et intérêt....8

II.1. Le programme Eaux & Territoires : d'un marais à l'autre....8
II.1.1. Une volonté nationale 8
II.1.2. ... un projet local 8
II.1.3. ... une problématique visée : la modélisation hydrologique....9
II.2. Un préalable à toute modélisation : qui, quand, quoi, pourquoi, où, comment ?....9
II.2.1. Quelques définitions et notions transversales....9
II.2.2. Un modèle pour qui et pour quels objectifs ?....11
II.2.3. Échelle spatio-temporelle d'application....12
II.2.4. Vensim® : un outil de la modélisation hydrologique....12

III. Éléments méthodologiques....13

III.1. Déroulement général de l'étude....13
III.2. Nouvelle valorisation des études déjà réalisées sur le territoire 14
III.3. Les trois échelles d'approche du territoire....14

IV. Entre déficit et excès d'eau : fonctionnement, enjeux et préparation du modèle hydrologique de la Vallée des Baux....16

IV.1. Climat : entre variabilité et incertitudes, une modélisation approchée....16
IV.2. L'irrigation agricole : une thématique récurrente du fonctionnement des écosystèmes de Provence....20
IV.2.1. Des enjeux externes au bassin versant topographique....20
IV.2.2. La place de l'irrigation dans la vallée des Baux....23
IV.2.3. Impact des eaux agricoles sur un système de marais relictuel....27
IV.3. L'assainissement : une autre vision du territoire....31
IV.3.1. De CAMPLAN au marais des Baux, il n'y a qu'un ... canal !....31
IV.3.2. L'assainissement de la vallée des Baux : quelle place aujourd'hui ?....35
IV.3.3. Assainissement et marais relictuels....40

V. Conclusion générale : vers une vision globale ?....42

Références citées....46

Table des abréviations

ASA : Association Syndicale Agréée
ASCO : Association Syndicale Constituée d'Office
ASF : Association Syndicale Forcée
ATEN : Atelier Technique des espaces naturels
CAMPLAN : Gestion intégrée d'un écosystème CAMargue PLAN du Bourg
CCCSA : Contrat de Canal Crau Sud Alpilles
CED : Commission Exécutive de la Durance
CEMAGREF : Centre d'Étude du Machinisme Agricole, du Génie Rural, des Eaux et Forêts
CNR : Compagnie Nationale du Rhône
CNRS : Centre National de la Recherche Scientifique
DATAR : Délégation interministérielle à l'Aménagement du Territoire et à l'Attractivité régionale
EDF : Électricité de France
ETP : EvapoTranspiration Potentielle
GEMA ZHM : Master Gestion des Eaux et des Milieux Aquatiques, spécialité Zones Humides Méditerranéennes
GIEST : Grupo de Investigation en Estructuras y Systemas Territoriales
GIP : Groupement d'Intérêt Public
GIZCAM : Gestion Intégrée d'une Zone humide littorale méditerranéenne aménagée : contraintes, limites et perspectives pour l'île de CAMargue
GPMM : Grand Port Maritime de Marseille
IMEP : Institut Méditerranéen d'Écologie et de Paléoécologie
LPED : Laboratoire Population, Environnement Développement
MAAPAR : Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation, de la Pêche et des Affaires Rurales
MEDCIE : Mission d'Étude et de Développement des Coopérations Interrégionales et Européennes
MEDD : Ministère de l'Écologie et de Développement Durable
MEDDTL : Ministère de l'Écologie, du Développement Durable, des Territoires et de la Mer
MEEDDM : Ministère de l'Environnement, de l'Énergie du Développement Durable et de la Mer
METLTM : Ministère de l'Équipement, des Transports, du Logement, du Tourisme et de la Mer
MRE PACA : Maison Régionale de l'Eau PACA
PNR Alpilles : Parc Naturel Régional des Alpilles
SAR : Société d'Aménagement Régional
SCOP : Surface en Céréale Oléagineux et Protéagineux
SCP : Société du Canal de Provence
SI2VB : Syndicat Intercommunal du Vigueirat et de la Vallée des Baux
SIOVB : Syndicat Intercommunal Oléicole de la Vallée des Baux
SMGAS : Syndicat Mixte de Gestion des Association Syndicales du pays d'Arles
SPC Grand Delta : Service de Prévision des Crues du Grand Delta
SYMADREM : SYndicat Mixte interrégionnal d'Aménagement des Digues du delta du Rhône Et de la Mer.

Liste des figures

Figure 1: Recettes de la Tour du Valat pour l'année 2010 d'après.....6
Figure 2: Logo du programme Eaux et Territoires 8
Figure 3: Identification cartographique des trois échelles d'analyse 15
Figure 4: Coupe géologique schématique de la vallée des Baux au niveau de Mouries.....28
Figure 5: Les marais des Baux : une cuvette entre les Alpilles et la Crau.....35

Liste des tableaux

Tableau	I	Attentes des acteurs rencontrés vis à vis du modèle	11
Tableau	II	Intérêts de l'approche multi-scalaire	14
Tableau	III	Caractéristiques des stations météorologiques à proximité de la vallée des Baux	16
Tableau	IV	Programme de suivis - estimation du coût (données météorologiques)	17
Tableau	V	Résumé des principales tendances d'évolution climatique attendues sur le territoire	18
Tableau	VI	Nœuds conflictuels – Irrigation – Serre-Poncon / Fos	22
Tableau	VII	Évaluation des besoins en eau des différentes cultures de la vallée des Baux	24
Tableau	VIII	Occupation du sol de la surface irriguée de la vallée des Baux	24
Tableau	IX	Quantité d'eau consommée par les différentes méthodes d'irrigation	24
Tableau	X	Programme de suivis, estimation du coût (irrigation - échelle du BV topographique)	25
Tableau	XI	Nœuds conflictuels – irrigation – BV topographique	26
Tableau	XII	Evolution du territoire au sein du périmètre de l'ASA d'irrigation entre 1945 et 2010	26
Tableau	XIII	Programme de suivi - estimation du coût (irrigation, échelle des marais relictuels)	29
Tableau	XIV	Nœuds conflictuels – irrigation - Ilon	30
Tableau	XV	Programme de suivis - estimation des coûts (assainissement, échelle Système Vigueirat - Arles à Bouc)	33
Tableau	XVI	Nœuds conflictuels – assainissement – Serre-Poncon / Fos	34
Tableau	XVII	Capacité des stations de pompages de l'ASF	37
Tableau	XVIII	Programme de suivis - estimation des coûts (assainissement, échelle bassin versant)	38
Tableau	XIX	Nœuds conflictuels assainissement – Vallée des Baux	39
Tableau	XX	Proposition de suivis hydrologiques pour caractériser le territoire	42

Introduction générale

Ce mémoire de fin d'études de master professionnel Gestion des Eaux et des Milieux Aquatiques spécialité Zones Humides Méditerranéennes (GEMA ZHM) s'inscrit dans le cadre d'un projet général de recherche conduit par la Tour du Valat intitulé : d'un marais à l'autre, marais en mutation. En réponse à l'appel à projet national du Ministère de l'Écologie, du Développement Durable, des Transports et du Logement (MEDDTL – Programme Eaux et Territoires), ce dernier ambitionne de proposer des pistes de questionnement, quant à la mise en place et l'organisation de la gouvernance des eaux, autour de deux zones humides remarquables, dont l'avenir est au centre des réflexions territoriales [TOUR DU VALAT, 2010]. Pour des contraintes de temps accordées au stage de master professionnel, seul le territoire des anciens marais des Baux a été prospecté dans le cadre de cette mission.

Situés à l'est d'Arles (France – Bouches du Rhône), entre le massif des Alpilles et la Crau (cf. *Figure 3*, page 15), ces marais ont connu successivement trois périodes d'assèchement afin de permettre l'usage agricole des terres [El May, 2010]. Aujourd'hui, la prise de conscience du rôle que peuvent jouer ces milieux vis à vis de la qualité des eaux, le coût de l'entretien et de l'exploitation des ouvrages de drainage, l'inondation de la vallée en 2003, la désignation du site en zone Natura 2000 [HOLMQUIST WESTERBERG, 2010], sont autant d'éléments qui ont incité deux acteurs présents sur le territoire (le Parc Naturel Régional des Alpilles – PNRA, et A. Rocha France) à conduire une concertation générale portant sur l'avenir de ces anciens marais.

La présente étude ambitionne d'identifier les processus hydrologiques qui influent sur le fonctionnement de ces marais. Les documents réalisés serviront de support aux réflexions menées dans l'Axe 1 du projet de recherche : *penser la gouvernance de la renaturation et restauration des zones humides à l'aune du système Eaux-Territoires.* Elle pose pour objectif une vision conceptuelle du fonctionnement hydrologique, au service des gestionnaires du territoire et des partenaires « recherche » du projet. Elle s'appuie sur les références bibliographiques existantes et propose une approche multi-scalaire afin d'identifier les acteurs et les enjeux à différentes échelles d'analyse. Cette synthèse a permis la réalisation de plusieurs documents synthétiques disponibles dans la *Banque de documents (rapport annexé)*. La partie principale du présent rapport consiste en un commentaire de ces schémas. Commentaire critique vis à vis des données existantes, mais aussi support à des réflexions plus larges qui concernent notamment l'organisation de la gouvernance autour des processus hydrologiques et la mise en exergue des nœuds conflictuels, qu'ils soient d'ordre hydrauliques ou « *socio-hydrauliques* ». Un stage de huit mois permet de développer un certain nombre de connaissances qu'il semble difficile de regrouper dans un mémoire tel qu'il est attendu dans le cadre universitaire. Seulement deux des quatre thématiques étudiées seront détaillées dans ce document. Elle permettent d'identifier les informations de la synthèse hydrologique du territoire qui peuvent être valorisées dans le cadre de l'axe A. La discussion qui suivra intégrera les principaux résultats de l'ensemble de la mission.

I. DE LA CAMARGUE AUX MARAIS DES BAUX, IMPLICATIONS DE LA TOUR DU VALAT

Depuis sa création il y a 50 ans, le centre de recherche pour la conservation des zones humides méditerranéennes : la Tour du Valat, s'est placé comme un acteur influent de la gestion et de la recherche « *impliquée* » sur les milieux aquatiques méditerranéens (Jean JALBERT dans [TOUR DU VALAT, 2011]). Cette première partie propose de comprendre le fonctionnement et les objectifs de cette structure particulière afin d'identifier de quelle manière elle intervient sur un territoire nouveau : les marais des Baux.

I.1. Une Fondation d'utilité publique

L'**A**telier **T**echnique des **E**spaces **N**aturels (ATEN) définit une fondation comme un contrat au travers duquel *une ou plusieurs personnes, physiques ou morales, décident l'application de biens (immobiliers, fonciers ...), droits ou ressources à la réalisation d'une œuvre d'intérêt général et à but non lucratif* [MEDD, GIP ATEN, DATAR, *et Al.*, 2005]. Parmi les trois types de fondations que distingue le droit français, la Tour du Valat est autonome (non rattachée à une fondation d'hébergement) et pérenne, dans le sens où elle est dans l'obligation d'assurer *l'immobilisation d'un capital qui doit pouvoir dégager, sur la durée, les revenus annuels nécessaires à la poursuite de son objet* [MEDD, GIP ATEN, DATAR, *et Al*., 2005]. L'ensemble des activités du centre de recherche est donc géré par la fondation Tour du Valat.

Financièrement, elle est soutenue par deux autres fondations :

- La fondation Pro-Valat qui gère le capital privé accordé par le fondateur (M. HOFFMAN) à la Tour du Valat : 14 % des recettes ;
- La fondation MAVA dont le fondateur est aussi M. HOFFMAN qui œuvre dans la préservation de la biodiversité et qui participe environ pour moitié aux recettes de la Tour du Valat.

Le détail des recettes est identifié sur la ***Figure 1***.

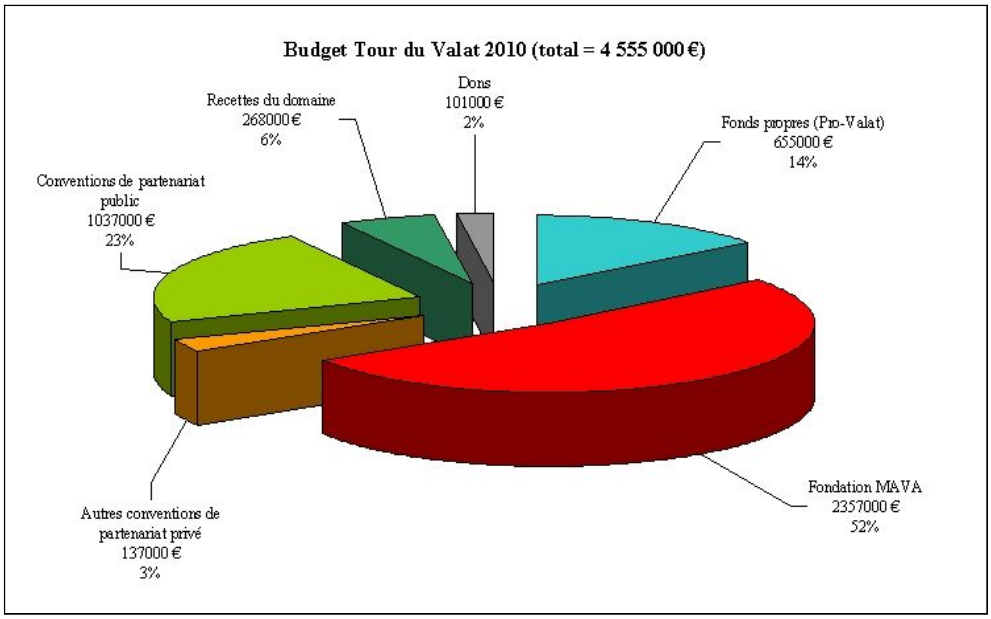


Figure 1: Recettes de la Tour du Valat pour l'année 2010 d'après [TOUR DU VALAT, 2011]

I.2. Une mission de recherche appliquée

La mission principale du centre de recherche peut se résumer en une phrase : *« Mieux comprendre les zones humides pour mieux les gérer »* [TOUR DU VALAT, 2011]. Au centre de la Camargue, le centre de recherche est composé :

- D'un domaine de 2600 ha dans lequel les interventions sont soumises à un plan de gestion depuis 1986 ;
- D'une équipe d'une trentaine de chercheurs spécialistes qui développent des programmes de recherche sur le fonctionnement des zones humides et testent des modes de gestion ;
- D'un centre de ressources documentaires spécialisé en écologie des zones humides.

Le programme 2011 – 2015 s'articule autour de trois axes complémentaires :

1. Conservation des espèces et de leurs populations dans le contexte des changements globaux ;
2. Modélisation, restauration et gestion des écosystèmes ;
3. Suivi-évaluation et politique des zones humides.

La maîtrise du fonctionnement hydrologique d'une zone humide est un préalable indispensable aux recherches, qu'elles soient de l'ordre biologique, chimique, politique … sur ces territoires. Aussi, limiter l'intervention des chercheurs en *hydro-systèmes* dans l'un des axes en particulier semble difficile, bien qu'ils soient souvent associés à l'axe deux. Le présent travail est rattaché à cette cellule mais demande un détachement des aspects hydrauliques uniquement vers une approche qui pourrait être qualifiée de *socio-hydraulique* (cf. *II.2.1. Quelques définitions et notions transversales*) afin de répondre aux attentes des différents partenaires.

I.3. Intervention sur les marais des Baux

De manière générale, les travaux de recherche menés par la Tour du Valat concernent les zones humides du pourtour méditerranéen et en particulier le delta de la Camargue (pour ce qui est des territoires de France métropolitaine). L'expertise de la fondation s'exporte d'avantage, ces dernières années, sur un territoire plus vaste que le delta en lui même : le delta géomorphologique, comme l'a montré récemment son implication dans le programme CAMPLAN[1].

L'intervention de la Tour du Valat au sein du programme Eaux et Territoires s'inscrit dans le cadre d'une convention de partenariat public dont les caractéristiques seront approfondies plus tard (cf. *II.1. Le programme Eaux & Territoires : d'un marais à l'autre)*. Les différentes études menées dans le cadre de ce projet sur le bassin versant Sud – Alpilles sont rendues possibles grâce au partenariat mis en place avec les acteurs gestionnaires du territoire (PNR Alpilles).

Pas uniquement un territoire d'étude, le projet doit aboutir à la mise en place d'outils aux service des différents acteurs, afin d'accompagner les mutations sur cet espace.

1 Gestion intégrée d'un écosystème CAMargue et PLAN du Bourg : Eaux et Territoires 1

II. MODÉLISATION HYDROLOGIQUE DES MARAIS DES BAUX : CONTEXTE ET INTÉRÊT

Cette seconde partie doit permettre de situer le présent travail au sein du programme Eaux & Territoires, d'argumenter l'intérêt de la modélisation au regard des problématiques énoncées dans ce dernier, et de définir les notions principales sur lesquelles s'appuie le projet.

II.1. Le programme Eaux & Territoires : d'un marais à l'autre

II.1.1. Une volonté nationale …

A l'initiative du **M**inistère de l'**É**cologie, de l'**É**nergie, du **D**éveloppement **D**urable et de la **M**er (MEEDDM) et du **C**entre **N**ational de la **R**echerche **S**cientifique (CNRS), le programme Eaux et Territoires finance à hauteur de 1,8 millions d'euros (budget total) les projets de recherches pluridisciplinaires répondant aux deux objectifs suivants [MEDDM, CNRS, CEMAGREF, 2010] :

Figure 2: Logo du programme (MEEDDM)

- Mettre en relation les connaissances relatives au fonctionnement des hydrosystèmes et celles qui portent sur les territoires[2] ;
- Éclairer les politiques actuelles ou à venir portées par les acteurs publics responsables de la gestion des territoires et de l'eau.

Les auteurs du programme insistent sur l'intérêt d'approcher de façon systémique le couple Eau et Territoire afin d'en développer des représentations et des modélisations. L'objectif général étant d'identifier les co-évolutions entre ces deux aspects et de comprendre le fonctionnement en période de crise. L'approche interdisciplinaire apparaît comme une nécessité : il s'agit d'associer les sciences de la vie et les sciences humaines et sociales autour de situations concrètes [MEDDM, CNRS, CEMAGREF, 2010].

II.1.2. … un projet local ...

En réponse cet appel à projet, la Tour du Valat et ses partenaires (cf. *Banque de documents* : document 2) proposent d'apporter des éléments de questionnement quant à l'organisation et l'échelle de la gouvernance des eaux sur deux territoires qui connaissent actuellement des réflexions quant à leur avenir : « **D'un marais à l'autre, marais en mutation** », appliqué aux marais des Baux et aux anciens salins de Giraud. Il s'agit notamment de confronter la perception réglementaire des zones humides aux connaissances issues des sciences de la terre et de la vie, et aux représentations sociales et économiques de ces milieux [TOUR DU VALAT, 2010]. Ces éléments de recherche permettront d'établir des outils applicables et utiles aux différents acteurs et gestionnaires de l'eau sur ces espaces. Les deux figures présentées dans les documents 1 et 2 *(*cf. *Banque de documents)* permettent, une vision schématique et simplifiée de l'approche inter-disciplinaire attendue dans le cadre du programme. Elles proposent aussi d'identifier les caractéristiques principales des deux milieux étudiés qui vont entraîner deux approches différentes de la gouvernance de l'eau.

2 Au sens de la définition suivante : *portion d'espace appropriée de manière matérielle et/ou symbolique par des acteurs sociaux* [MEDDM, CNRS, CEMAGREF, 2010]

II.1.3. … une problématique visée : la modélisation hydrologique

L'étude exposée dans le présent rapport s'inscrit dans le cadre du volet 5 : recherches sur l'hydrosystème (*Banque de documents* : document 2). Elle est réalisée au sein de la cellule hydro-science de la Tour du Valat. Pour des raisons de temps accordé au stage de master II, elle s'intéressera uniquement au territoire des marais des Baux. Comme indiqué dans la description du projet [TOUR DU VALAT, 2010], l'objectif final est d'apporter une expertise extérieure afin de contribuer à la discussion dans les instances de l'eau les plus adéquates sur le territoire. Cette expertise se décline dans la formalisation conceptuelle du fonctionnement du bassin versant des marais des Baux. Le travail doit aboutir à une **vision schématique des processus hydrologiques** influent sur le territoire et qui sera le support à :

- Une mise en exergue des points de **blocage potentiel**, qu'ils soient purement hydrauliques ou « *socio-hydrauliques » ;*
- L'identification des données manquantes et les **lacunes** dans la connaissance des processus hydrologiques ;
- L'intégration des incertitudes liées à la **prospective** ;
- L'**interface** entre les rapports d'études hydrauliques et les gestionnaires.

Le modèle hydrologique ne sera pas réalisé en lui même, il s'agit dans un premier temps (objet du stage) de répondre aux points précédents et de proposer, préparer un modèle « papier ».

II.2. Un préalable à toute modélisation : qui, quand, quoi, pourquoi, où, comment ?

La modélisation, notamment dans l'environnement, est une science à part entière. Il s'agit d'apporter dans cette partie, les notions nécessaires à la compréhension des processus de modélisation ainsi que les contraintes liées au projet (objectifs, destinataires …) qui impacteront les choix réalisés dans la mise en place du modèle.

II.2.1. Quelques définitions et notions transversales

Les trois thèmes abordés ci-dessous (modélisation, approche multi-scalaire et projet trans-disciplinaire) doivent être considérés comme des éléments transversaux de l'approche hydrologique du territoire dans le sens où cette conceptualisation doit être le support de réflexions futures sur des thématiques qui dépassent parfois le cadre purement hydraulique. La dernière définition permet de caractériser les éléments relatifs à la notion de « nœuds hydrauliques ».

– ***La modélisation :***

La définition suivante, proposée par VILLENEUVE *et Al.*, (1998) résume bien les enjeux liés à la (aux) modélisation(s) hydrologique(s) et leurs implications dans la gestion des eaux. D'après ces auteurs, toute démarche scientifique commence par l'observation de variables. Connaissances qu'ils qualifient d'encyclopédiques, et qui prennent tout leur intérêt lorsque un ensemble de liens entre ces variables (ou entre groupes de variables) est identifié. Le langage mathématique, et aujourd'hui les

outils informatiques, permettent de formaliser ces liens et d'intégrer et de synthétiser les informations issues de l'observation des variables sous forme d'un modèle qui se veut une représentation approchée du système étudié. En tant que représentation du système, le modèle pourra être interrogé pour fournir un ensemble de réponses, puis soumis à observation. On parle donc d'outils à la fois inductifs (représentation et description de phénomènes sur la base d'un ensemble de mesures) et déductifs (expérimentation théorique du modèle sous différentes conditions). Il existe plusieurs types de modèles et ce, suivant diverses classifications possibles. Le choix est ici porté sur un modèle qualifié de conceptuel dans le sens où, contrairement aux modèles à base physique, les équations déterminant les processus en jeu comporteront des paramètres empiriques[3].

– ***Un projet trans-disciplinaire :***

Une attention particulière est portée sur l'aspect trans-disciplinaire du projet. Cette notion connaît plusieurs définitions. Elle peut ici être définie telle que la propose SCHOLZ *et Al.* (2000) : une façon de produire des connaissances, en organisant un apprentissage mutuel entre des agents du monde scientifique et du monde non scientifique. La mutualisation de ces connaissances doit permettre d'atteindre un objectif commun qui nécessite l'intégration de compétences variées. L'application concrète de cette définition dans le cadre du projet semble l'un des défis les plus ambitieux. En effet, dans les limites du temps, les limites techniques et les moyens qui seront accordés à la modélisation hydrologique, il s'agira, pour répondre aux attentes de certains partenaires du projet, de pouvoir interroger le modèle sur des aspects purement hydrauliques mais aussi « socio-environnementaux » (cf. *II.2.2. Un modèle pour qui et pour quels objectifs ?)*. Ces réflexions sont importantes à avoir, et à prendre en compte dans les étapes préalables à la réalisation du modèle afin d'avoir les informations permettant de les intégrer. Pour terminer, cet aspect est développé dans l'article de VILLENEUVE *et Al.* (1987) dans lequel, en guise de conclusion, les auteurs insistent sur la nécessité de faire évoluer les modèles hydrologiques vers des outils de plus en plus intégrés (ajout de modules économiques, sociologiques …).

– ***L'approche multiscalaire :***

L'approche multiscalaire de la gestion de l'eau est une notion relativement récente. AARON & WOLF (2002), montrent que cette nouvelle approche donne des résultats très différents dans l'analyse des conflits liés à l'eau suivant l'échelle d'investigation. Ces auteurs insistent sur la nécessité d'observer les processus (environnementaux, décisionnels …) à différentes échelles simultanément pour maîtriser, le plus clairement possible, les dynamiques de la gestion des eaux et les éventuels conflits associés. Si cette approche n'était pas clairement explicitée dans les objectifs du présent travail, il s'est rapidement avéré nécessaire d'en appliquer les fondements sur le territoire. Cette question semble aussi d'une importance capitale dans le projet et se retrouve dans la thématique principale à laquelle il tente d'apporter des éléments de réponse : quelle gouvernance de l'eau et à quelle échelle ?

3 Qui ne peuvent être mesurés (ruissellement par exemple)

– ***Les nœuds hydrauliques :***

La notion de nœuds hydrauliques, utilisée dans la suite du rapport, qualifiera l'ensemble des points conflictuels (ou potentiellement conflictuels) identifiés sur le territoire autour de la ressource en eau. Il pourront être de plusieurs ordres :

- Strictement hydrauliques : dimensionnement d'ouvrage ;
- Réglementaires : problématiques identifiées autour de l'application de la loi ;
- Gouvernance : relations entre les différents acteurs du territoire.

Ces notions définies, l'objectif du rapport est de les utiliser comme un fil conducteur dans l'analyse du fonctionnement hydrologique et l'interprétation de ce dernier sur les marais des Baux.

II.2.2. Un modèle pour qui et pour quels objectifs ?

Toujours d'après VILLENEUVE *et Al.* (1987), avant tout processus de modélisation, il s'agit de bien cerner la problématique et le contexte d'application du modèle. Ensuite, une réflexion sur les échelles caractéristiques (spatiale et temporelle) s'impose.

Le *Tableau I* identifie les utilisateurs potentiels du modèle et leurs attentes vis a vis de ce dernier. Les différents acteurs ont été rencontrés entre janvier et septembre 2011 dans le cadre de réunions du projet Eaux et Territoires. Ces premières attentes vis à vis du modèle permettent d'identifier trois problématiques auxquelles il sera confronté :

- Améliorer la **compréhension** du système ;
- **Prédire** les états futurs du système en fonction de différentes sollicitations et de modifications des conditions climatiques ;
- Évaluer la réponse du système face à différents **scénarios**, notamment concernant les volontés de renaturation d'initiatives privées.

Tableau I: Attentes des acteurs rencontrés vis à vis du modèle

Acteurs rencontrés	Attentes vis à vis du modèle
A. Rocha	Permettre d'estimer l'influence de changement de gestion sur le bassin versant sur la quantité d'eau dans les marais
PNR Alpilles	N'attendent pas un modèle hydraulique uniquement. Souhaiteraient une approche « socio-hydrologique » du territoire. Intégration des réflexions individuelles concernant la renaturation des marais sur le découpage en casier du territoire. Intégration des prévisions de changement climatique. Modèle = outil préventif
Partenaires de l'Axe 1	Vision schématique du fonctionnement hydrologique du territoire. Modèle support aux réflexions socio-anthropologiques. Situation des nœuds conflictuels
Cellule hydro-science (TDV)	Vision schématique du fonctionnement hydrologique. Lacunes dans les connaissances. Identifier les facteurs qui influencent les niveaux d'eau dans les marais et ses conditions de vidange

II.2.3. Échelle spatio-temporelle d'application

Le choix des échelles spatiales et temporelles utilisées dépendra de trois points :

- ***Le fonctionnement hydrologique du territoire et les facteurs qui l'influencent*** : le modèle doit être hydrologiquement cohérent afin de pouvoir être interrogé sur ces bases mais ne pourra peut être pas englober de façon générale l'ensemble des processus qui agissent sur les marais. La synthèse du fonctionnement hydrologique doit permettre d'identifier, plus tard, le territoire d'application le plus pertinent au regard de ces derniers (bassin hydrogéologique, bassin versant topographique, échelle plus petite ?) ;
- ***La précision des données existantes et l'échelle de temps à laquelle elles sont (ou pourront) être collectées*** : les données existantes (pluviométrie, niveaux d'eau …) perdent en précision lorsqu'elles sont utilisées à des échelles plus (ou moins) grandes que ce pourquoi elles ont été collectées ;
- ***Les précisions spatiales et temporelles attendues par les différents acteurs dans les réponses du modèle*** : par exemple, l'une des attentes du PNRA est de pouvoir être en mesure de visionner l'impact de la renaturation de parcelles par un propriétaire privé, sur le reste des marais, alors que les objectifs de la Tour du Valat se situent à une échelle plus globale.

Il s'agira donc de trouver l'échelle la plus adéquate parmi celles attendues par l'ensemble des acteurs, au regard des possibilités techniques et des moyens accordés au projet. La synthèse hydrologique du territoire doit permettre d'apporter des éléments de réponse à ses enjeux.

II.2.4. Vensim® : un outil de la modélisation hydrologique

Vensim® est l'un des logiciels utilisé par la cellule hydrosystème de la Tour du Valat pour la modélisation de processus hydrologiques. Cet outil est développé pour réaliser et analyser des modèles dynamiques à rétroaction (*dynamic feedback models*). Initialement employé dans le domaine économique, les possibilités offertes par le logiciel se sont rapidement exportées aux thématiques environnementales et plus particulièrement à la modélisation des processus hydrologiques [MOORE, 2007 ; AHMAD *et Al.,* 2007]. Ce logiciel utilise trois outils afin de représenter le système étudié :

- Les *levels* : stocks, accumulations ou variables d'état ;
- Les *Flow* ou *Rate* : les flux ou taux permettent de changer la valeur d'un stock (*level)* ;
- Les *auxiliairies* : concepts intermédiaires ou calculs.

La réalisation de modèles dynamiques est facilitée grâce aux outils proposés par Vensim® mais nécessite une conceptualisation préalable des processus en jeu sur le territoire. Ces quelques informations sur le fonctionnement du logiciel sont précisées ici, car elles induisent une vision au préalable très synthétique et schématique du territoire afin d'être formalisée sous forme de modèle.

III. ÉLÉMENTS MÉTHODOLOGIQUES

Les éléments méthodologiques apportés ci-après doivent permettre de comprendre les choix effectués pour la mise en œuvre de l'étude. Ils s'appuieront sur l'analyse d'un diagramme de gant du déroulement de la mission (cf. *Banque de documents* : document 3), et sur une description concise des différentes étapes suivies. Une attention particulière sera portée sur les trois échelles géographiques d'analyse du territoire et sur la valeur ajoutée de cette synthèse au regard des autres études hydrauliques du territoire.

III.1. Déroulement général de l'étude

Le diagramme de Gant du déroulement du projet est présenté dans le document 3 (cf. *Banque de documents*). Réalisé en parallèle de l'Axe A (approche sociologique du territoire), le volet fonctionnement de l'hydrosystème doit fournir aux personnes ressources les éléments du fonctionnement hydrologique qui seront le support de leurs réflexions.

Il permet d'identifier deux « *points de blocage* » qui ont impacté le déroulement général de la mission :

- De manière générale, les études menées actuellement sur le marais des Baux dans le cadre du programme Eaux et Territoires sont le commencement d'un projet de trois ans. Les acteurs et les différents partenaires n'étaient pas forcément mobilisés réellement sur ce projet au début du stage ;
- Le démarrage officiel, au premier Avril 2011, n'a pas permis de débloquer les financements nécessaires à la réalisation d'une réunion de lancement du projet avant cette date. Les différents partenaires ont donc été officiellement avertis du départ de l'étude mi-juin. Pour des questions d'ordre *politique*, le démarchage des différents acteurs du territoire dans le cadre de la récolte des données n'a pas pu être réalisé avant cette date.

Afin d'approcher au mieux les enjeux de la gestion hydrologique du territoire, la mission s'est organisée autour de trois grandes thématiques complémentaires :

- Synthèse du fonctionnement hydrologique global du système Serre-Ponçon / Fos sur Mer :

Recherche et veille documentaire – Synthèse d'informations – Identification des nœuds hydrauliques / socio-hydrauliques – Lacunes dans les connaissances – Réunions de projet.

- Réflexions sur le modèle papier du fonctionnement hydrologique des marais des Baux :

Attentes des partenaires - Identifications des données existantes – Recherche des échelles caractéristiques – Données complémentaires nécessaires (programme de mesure) – Réflexions sur les scénarios – Préparation du modèle papier

- Modélisation hydrologique d'un marais relictuel sur le territoire : le marais de l'Ilon :

Prise en main du logiciel Vensim® - Analyse topographique du site (loi déversoir ; loi hauteur / volume / surface ...) - Modélisation sous Vensim®

III.2. Nouvelle valorisation des études déjà réalisées sur le territoire

De nombreuses études ont déjà été réalisées sur le territoire prospecté [PNR ALPILLES ET BRL INGÉNIERIE, 2008 ; CCCSA, 2010 ; MRE PACA, 2010 ; EL MAY, 2008 ; SMGAS, 2010 ; CONSEIL GÉNÉRAL DE L'ENVIRONNEMENT ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, 2008 …]. Chacune de ces études s'arrête à un territoire particulier et répond à une problématique qui lui est propre (cf. *Banque de documents :* document 4*)*. Ces rapports ne sont pas à opposer mais bien à utiliser comme un ensemble d'informations complémentaires qui, synthétisé et conceptualisé sous forme graphique, permet une vision d'ensemble du fonctionnement hydrologique du territoire et des enjeux qui lui sont associés. Ce travail est l'objet de la présente mission. D'autre part, ils font souvent références à des séries de données qu'il conviendra de réutiliser si elles sont adaptées aux objectifs de la présente mission. Il ne s'agit pas ici de réinventer les processus hydrologiques en jeu sur les marais des Baux, mais bien de s'appuyer sur l'existant afin d'identifier les domaines moins étudiés et, d'en proposer des documents synthétiques, les plus exhaustifs possibles et utilisables rapidement par les partenaires du projet. Enfin, si elle s'appuie sur des bases hydrologiques, l'objectif de la mission est d'avoir une vision plus large afin d'obtenir un modèle qui intégrera au mieux les différentes composantes de la gestion de l'eau (usages, gouvernance, économie, milieux naturels).

III.3. Les trois échelles d'approche du territoire

L'approche hydrologique du territoire s'est déroulée sur trois échelles géographiques différentes et complémentaires. L'analyse du bassin versant topographique des anciens marais des Baux s'est, en effet, avérée insuffisante pour cerner l'ensemble des problématiques, enjeux et processus, qui influent sur le cycle hydrologique des marais. Aussi, un territoire plus grand a été prospecté, depuis Serre-Ponçon où les eaux de la Durance sont dérivées (dont une partie pour l'irrigation de la vallée des Baux), jusqu'à Fos sur Mer, condition limite aval de l'ensemble du système. Dans un autre cadre, la modélisation du fonctionnement hydrologique des marais de l'Ilon a été initiée. L'approche des ces trois territoires (cf. *Figure 3,* page suivante) apporte des éléments complémentaires quant au fonctionnement des marais (cf. *Tableau II*)

Tableau II: Intérêts de l'approche multi-scalaire

Échelle	Informations apportées
Serres Ponçon - Fos	Nœuds socio-hydrauliques extérieurs au bassin versant topographique des marais mais influençant ces derniers ; Conditions amont et aval du système ; Enjeux actuels et futurs de la gestion des eaux.
Bassin versant topographique de la vallée des Baux	Territoire d'étude dans le cadre du programme Eaux et Territoires ; Réflexions quant à l'avenir de ces territoires notamment vis à vis de la ressource en eau ; Territoire que le modèle ambitionne de questionner
Marais de l'Ilon	Modélisation plus précise qui vise à identifier et quantifier la part des différents processus de remplissage et de vidange des marais. Doit permettre d'observer (ou non), des corrélations entre les différents processus : irrigation / niveau dans les marais, quantifier les apports de la Crau s'ils apparaissent...

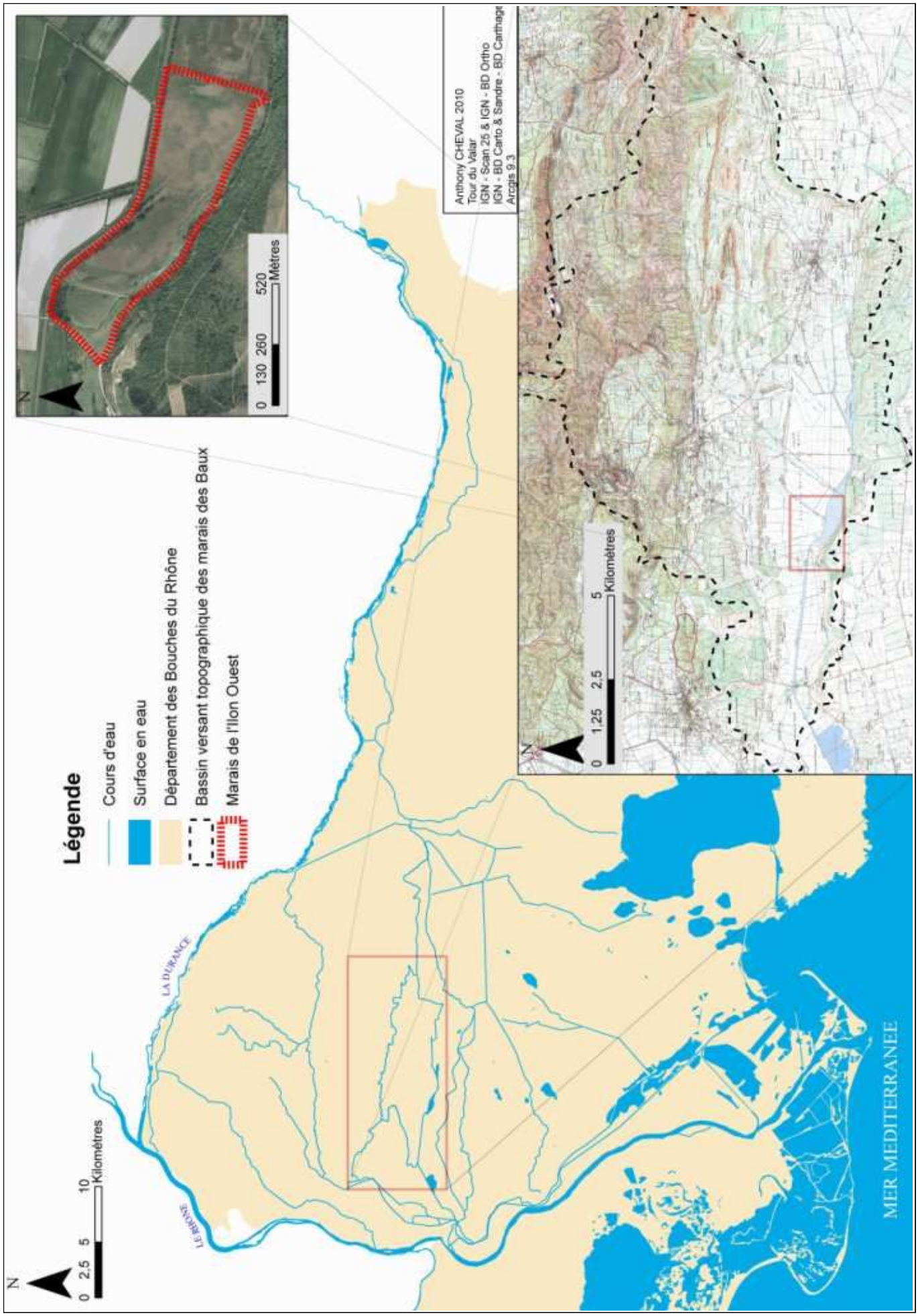


Figure 3: Identification cartographique des trois échelles d'analyse : petite échelle (fond), bassin versant topographique des marais des Baux et exemple de marais relictuel (Ilon)

IV. Entre déficit et excès d'eau : fonctionnement, enjeux et préparation du modèle hydrologique de la Vallée des Baux

De façon à répondre aux objectifs de la mission, ce chapitre apporte une vision synthétique et commentée du fonctionnement hydrologique et des enjeux identifiés sur le bassin versant de la vallée des Baux. Il s'appuie sur une « banque » de schémas et documents cartographiques réalisés pendant la période de stage, et disponibles dans la *Banque de documents*. La présentation des résultats s'articulera autour de trois grandes thématiques que sont : les conditions climatiques, l'irrigation et l'assainissement. Chacun de ces thèmes sera décliné suivant les différentes échelles d'analyse. Les données manquantes ainsi que les nœuds hydrauliques, ou socio-hydrauliques, seront identifiés. Des réflexions quant aux scénarios et enjeux futurs seront proposées.

IV.1. Climat : entre variabilité et incertitudes, une modélisation approchée

La caractéristique principale du climat méditerranéen (d'un point de vue modélisation) est son caractère très irrégulier. Irrégularité qui rend difficile toute identification de tendances [Chauvelon & Pichaud, 2007]. Cette partie expose les données actuellement disponibles sur le territoire ainsi que les possibles évolutions climatiques de ce dernier.

Disponibilité des suivis météorologiques

L'étude hydraulique du territoire [PNR Alpilles & BRL Ingénierie, 2008] identifie six stations météo qui entourent de façon assez homogène la vallée des Baux. Leur situation géographique est précisée en dans le document 5 *(cf. Banque de documents)* et leurs caractéristiques sont présentées dans le tableau suivant.

Tableau III: Caractéristiques des stations météorologiques à proximité de la vallée des Baux, d'après [PNR Alpilles & BRL Ingénierie, 2008]

Nom de la station	Commune	Date de mise en service	Code Météo-France	Années d'observation
Trinquetaille	Arles	1881	13004003	130
Gendarmerie (puis mas de la Chaud depuis1997)	Eyguière	1898	13035002	113
Parc de Baussenq	Saint Martin de Crau	1873	13097002	138
Lycée Agricole	Saint Rémy de Provence	1964	13100002	45
Souspiron.DDE	Tarascon	1955	13108004	56
Le Merle[4]	Salon de Provence	1927	13103004	70

Le PNR Alpilles ne dispose d'aucun suivi météorologique. Les caractéristiques du relief conduiraient à ne pas utiliser les stations situées au nord du massif des Alpilles (Tarascon, Saint Rémy de Provence) car les conditions peuvent être différentes. L'analyse de l'épisode pluvieux de 2003 a en effet montré une spatialisation importante de la pluviométrie entre les parties est et ouest du territoire [PNR Alpilles & BRL Ingénierie, 2008]. Les stations de Saint Martin de Crau, Eyguière et

4 Il semblerait qu'un nouveau suivi soit disponible depuis 2010 - code station : 13103002

Trinquetaille, au vue de leurs nombres d'années d'observation et de leurs situations géographiques semblent être les plus pertinentes à utiliser. L'acquisition de données météorologiques dans le cadre du présent projet s'appuie donc sur plusieurs solutions :

- **M1** - Acquisition de chroniques météorologiques auprès de Météo-France afin d'avoir une première approximation des processus sur le territoire. De part sa proximité et sa position centrale et malgré qu'elle soit située au sud du territoire, la station de Saint Martin de Crau semble la plus pertinente ;
- **Mopt1 –** Achat des données disponibles sur les trois stations actives, analyse de la spatialisation des phénomènes, caractérisation de l'influence de chaque station sur le territoire, données d'Arles, Eyguière et Saint Martin de Crau ;
- **Mopt2** – La mise en place de deux stations de suivi météorologique du territoire (nord et sud-Alpilles) permettrait au PNR Alpilles de suivre ces paramètres et de quantifier la différence de conditions climatiques au sein de leur périmètre.

Tableau IV: Programme de suivis : estimation du coût (données météorologiques)

Libellé	Acteur	Prix du matériel ou des données uniquement TTC
M1	Tour du Valat (ou PNR Alpilles)	2000 € : 1 station, 3 paramètres, 30 ans de suivis quotidiens
Mopt1	Tour du Valat (ou PNR Alpilles)	6000 € : 3 stations, 3 paramètres, 30 ans de suivis quotidiens
Mopt2	PNR Alpilles	2700 € (1 station : températures, précipitations, humidité relative & vent)

La quantification des processus d'évapo-transpiration sera aussi un élément conséquent des bilans hydrologiques sur le territoire. C'est un travail lourd qui ne pourra pas être pris en charge dans le cadre du programme Eaux et Territoires. Toutefois, le domaine du Merle semble étudier et quantifier l'évapotranspiration à partir de leurs données météo (Salon de Provence). Si ces données ne sont pas disponibles, les estimations spatialisées de l'ETP de Météo-France pourront être utilisées (coût d'un paramètre dans la climathèque de Météo-France).

Prévisions climatiques

L'un des objectifs attendu de la modélisation, par le PNR Alpilles notamment, concerne l'évolution de la disponibilité des ressources et des besoins en eau au regard des prévisions du changement climatique. D'autre part, nous verrons que l'assainissement du bassin versant est impacté par le niveau de la mer à Fos sur Mer, ce dernier influence la gestion du barrage antisel, condition limite aval du système (cf. IV.3.1.).

Dès lors, à défaut de données plus précises, l'analyse des effets potentiels du changement climatique sur le grand Sud-Est [MEDCIE GRAND SUD-EST, 2008] permet d'identifier les grandes tendances d'évolution. En complément, les études actuellement en cours dans le cadre du projet GIZCAM[5] tentent d'appréhender à une échelle plus locale l'impact des changements globaux [LOUBET, EN PRÉPARATION].

5 Gestion Intégrée d'une Zone humide littorale méditerranéenne aménagée : contraintes, limites et perspectives pour l'île de CAMargue .

Les principales tendances[6] identifiées dans ces documents sont rapportées ci-après.

	2030			
	Printemps	**Été**	**Automne**	**Hivers**
Températures moyennes	+ 0,8° à + 1,4°	+ 1,3° à +1,7 °	+ 0,8° à + 1,4°	+ 1,5 ° à + 1,9°
Nombre de jours avec T°>35° (actuel : 0-2 jours)		6 jours		
Durées des fortes chaleurs >6 jours (actuel 0-2 jours)		2 à 4 jours		
Précipitations moyennes journalières	0 mm à – 0,25 mm/jours			
Nombre moyen de jours avec précipitations > 10 mm	0 à – 2 jours			
Nombre de jours secs consécutifs	30 – 40 jours consécutifs (act. 25-30j.)			

	2050			
	Printemps	**Été**	**Automne**	**Hivers**
Températures moyennes	+ 1,1° à + 2,5°	+ 1,5° à + 2,8°	+1,2° à +2,3°	+ 1,4° à + 1,6°
Nombre de jours avec T°>35° (actuel : 0-2 jours)		6 à 15 jours		
Durées des fortes chaleurs >6 jours (actuel 0-2 jours)		4 à 15 jours		
Précipitations moyennes journalières	0 mm à – 0,25 mm/jours			
Nombre moyen de jours avec précipitations > 10 mm	0 à – 2 jours			
Nombre de jours secs consécutifs	30 – 40 jours consécutifs (act. 25-30j.)			

	2080			
	Printemps	**Été**	**Automne**	**Hivers**
Températures moyennes	+ 1,7 ° à + 2,9°	+ 2,5° à + 4,3°	+ 1,8 à + 3,7°	+ 2,1° à + 2,7°
Nombre de jours avec T°>35° (actuel : 0-2 jours)		15 à 35 jours		
Durées des fortes chaleurs >6 jours (actuel 0-2 jours)		15 à 50 jours		
Précipitations moyennes journalières	0 mm à – 0,25 mm/jours			
Nombre moyen de jours avec précipitations > 10 mm	- 2 à + 1 jours			
Nombre de jours secs consécutifs	30 – 40 jours consécutifs (act. 25-30j.)			

Tableau V: Résumé des principales tendances d'évolution climatique attendues sur le territoire d'après [MEDCI GRAND SUD-EST, 2008]. La durée des périodes de forte chaleurs est une moyenne sur les 30 années considérées. Sont comptabilisés les jours consécutifs présentant une anomalie de température de 5°C. Ne sont conservées que les durées des périodes qui dépassent six jours. Si aucune période de forte chaleur n'a duré plus de six jours consécutifs, l'année prend une valeur nulle (les durées moyennes peuvent donc être inférieures à six jours).

Les principaux résultats de cette étude montrent que le territoire pourrait connaître une augmentation générale des températures ainsi qu'un accroissement des effets de la saisonnalité : l'été serait la saison la plus exposée au réchauffement avec des épisodes de fortes chaleurs qui pourront être relativement longs. Les hivers tendraient à être de plus en plus doux avec une augmentation des épisodes pluvieux. Le territoire, avec le Delta du Rhône, serait parmi les moins concernés par la baisse moyenne des précipitations en PACA : - 90 mm en cumulé par an. Par contre, il pourrait être particulièrement touché par l'allongement des périodes sèches.

6 Les différents modèles qui ont été testés sur la région méditerranéenne aboutissent, malgré les fort taux d'incertitude, à l'identification de grandes tendances générales autours de résultats convergents.

De plus, l'étude insiste sur le fait que les reliefs subiront une modification plus conséquente des paramètres climatiques que la vallée des Baux en elle même. Même si les changements pourront être de moindre ampleur sur le bassin versant topographique des marais, les enjeux pourraient se situer au niveau des conditions limites amont et aval du système.

Cette même étude propose une analyse sectorielle de l'impact potentiel de ces changements. Ils pourraient en effet être à l'origine d'une augmentation des conflits d'usage liés à l'eau (notamment en confrontation avec les activités touristiques au bord des plans d'eau). Les problématiques de qualité des eaux pourraient être exacerbées et cette répartition de la ressource serait une question de plus en plus centrale de l'aménagement du territoire (hydroélectricité, débits réservés …).

Ces informations restent élaborées à une échelle très globale (maillage de 50 km) et ne sont pas assez spatialisées pour identifier des tendances plus précises et davantage saisonnalisées sur le territoire. Il semble toutefois que ce soit le document le plus précis qu'il existe.

Un autre aspect important lié au changement climatique, cité dans les documents du GIZCAM [LOUBET, EN PREPARATION], concerne l'élévation du niveau de la mer et la modification du régime des tempêtes. Des données plus précises que l'étude précédente existent : mesures depuis 1905 du niveau de la mer au marégraphe des salins du midi. Cet aspect est particulièrement important car le niveau marin impactera la gestion du barrage anti-sel de Fos sur Mer. Un niveau de la mer élevé entraînera une fermeture des vannes de l'ouvrage telle qu'elle limitera la capacité de drainage de l'ensemble du territoire par effet de rétro-action (cf. IV.3.1.). De manière générale, les différentes études montrent une augmentation de 2 mm par an du niveau marin depuis 1905. Il ressort aussi une augmentation à la fois de l'intensité et de la fréquence des sur-côtes marines.

En conclusion sur les aspects météorologiques

L'absence de stations météorologiques situées sur le territoire, la spatialisation importante des conditions climatiques ainsi que le manque de suivi à long termes des données, ne permettront pas une caractérisation précise des phénomènes climatiques sur la zone d'étude. Au regard des projets et enjeux présents sur le territoire (analyse des ressources en eau, nouveaux projets d'irrigation, identification des anciens marais comme casier d'inondation du Rhône …), et de la spatialisation importante des phénomènes, la mise en place d'une station météo, centrée sur cet espace est justifiée.

En matière d'évolution du site au regard des modifications climatiques en particulier, l'incertitude reste très grande. La seule étude réalisée à l'échelle régionale, si elle ne permet pas de quantifier précisément les changements, apporte une idée des tendances d'évolution à long termes, qui pourront être utilisées mais avec précaution dans les scénarios.

IV.2. L'irrigation agricole : une thématique récurrente du fonctionnement des écosystèmes de Provence

Activité ancienne sur les territoires de la Provence, l'irrigation est aujourd'hui un élément clef du fonctionnement hydrologique de ces espaces. Son implication dépasse parfois largement les objectifs agricoles initiaux qui l'ont motivé. La quantification de son rôle quant à l'alimentation des marais est nécessaire et doit permettre d'identifier quel est l'impact de décisions prises en dehors du territoire sur le fonctionnement des marais.

IV.2.1. Des enjeux externes au bassin versant topographique

L'aménagement de la Durance est une volonté ancienne. Les XII^{ème} (canal Saint Julien), XVI^{ème} (Craponne), XIX^{ème} (Canal de Marseille) et XX^{ème} siècles (Serre-Ponçon), ont vu la réalisation de travaux considérables afin d'exploiter cette dernière [ROUX, 1999] en vue d'un certain nombre d'usages, dont l'irrigation. Les documents 6 à 9 (cf. *Banque de documents*) proposent une vision schématique du fonctionnement actuel du réseau d'irrigation en rive gauche de la basse Durance. De manière générale, l'eau dérivée à Serre-Ponçon est conduite jusqu'à l'étang de Berre par le canal usinier de la Durance. A partir de Lamanon, une série de partiteurs répartit les eaux vers la Petite Crau (secteur compris entre la confluence Rhône – Durance et le Nord du massif des Alpilles), la vallée des Baux et la Crau, correspondant à une surface totale irriguée en Basse Durance de l'ordre de 75 000 ha [ROUX, 1999].

Gouvernance (*banque de documents :* document 9*)*

La gouvernance, à cette échelle et sur cette thématique s'articule autour d'un acteur qui va permettre d'arbitrer le partage des eaux vers les différents usages et sur les territoires identifiés dans la carte du réseau d'irrigation (cf. *Banque de données* : document7) : la Commission Exécutive de la Durance (CED)[7] qui assure le rôle de police, aujourd'hui en partenariat avec EDF [ROUX, 2003]. Cette commission est composée de représentants des associations syndicales ainsi que de membres de l'administration. Elle se réunit environ deux fois par ans et justifie particulièrement son rôle lors des épisodes de sécheresse en ayant une action préventive et concertée.

L'État est partie prenante de la distribution des eaux de la Durance, notamment par l'intermédiaire du plan Durance multi-usages (2004) qui, au travers de six orientations déclinées sous une quarantaine d'actions, énonce les grands principes de partage des eaux. Sur ce territoire, l'État doit orienter les choix stratégiques, arbitrer la répartition des eaux et participer au financement des actions. Autre acteur important de la distribution des eaux à l'échelle de la Provence, la Société du Canal de Provence -SCP (Société d'Aménagement Régional (SAR) dont les actionnaires principaux sont des collectivités territoriales) est concessionnaire d'une partie de l'aménagement hydraulique de Provence et tire ainsi ses revenus des volumes d'eau vendus pour les différents usages.

7 Structure institutionnelle issue de la loi du 11 juillet 1907 visant l'instauration d'un règlement destiné à prescrire les mesures à prendre pour assurer la répartition des eaux de la Durance

Enfin, sur les territoires irrigués proprement dits, les utilisateurs de la ressource gravitaire sont regroupés au sein d'associations (loi 1865 sur les associations syndicales de propriétaires) dont l'objectif est la gestion du bien commun à ceux qui sont de ce corps. Ces associations sont établies sur un périmètre donné et possèdent un droit d'eau établi lors de leur création. Elles tirent leurs revenus des cotisations des irriguants, ce qui leurs permet d'assurer la gestion des canaux (entretien, modernisation ...).

Ces associations peuvent être regroupées au seins de structures plus importantes. Sont identifiées en dans les documents 6 à 9 (cf. *Banque de documents*) :

- Les Unions : *Boisgelin-Craponne* qui regroupe six associations en tête de réseau ;
- L'*ASCO des Arrosants de Crau* et le *congrés des Alpines et du Canelet* : assurent la distribution de l'eau à la parcelle ou, à d'autres associations d'irriguants plus petites.

Une autre structure importante n'apparaît pas sur le schéma. Il s'agit du Syndicat Mixte de Gestion des Associations Syndicales du pays d'Arles et de Camargue (SMGAS) qui réalise la partie administrative de la gestion des associations. C'est l'unique organisme qui regroupe à la foi des associations d'irriguants et d'assainissement.

Données existantes et lacunes en termes de connaissances

La répartition générale des eaux de la Durance est relativement bien maîtrisée. Les dotations mensuelles aux différents canaux sont données dans un document réglementaire. La base de donnée Hydra de la chambre d'agriculture des Bouches du Rhône contient les données des réseaux de mesure sur les différents canaux. Les périmètres des différentes associations syndicales sont recensés. La problématique principale en termes de données à cette échelle ne semble pas être l'acquisition en elle même de ces dernières (la banque Hydra recense un certain nombre de stations de mesure), mais plutôt, leur mise à disposition et leur transfert, au travers des différents échelons de gestion.

Concernant les secteurs plus proches, la partie *IV.2.3. Impact des eaux agricoles sur un système de marais relictuel* met en évidence l'impact potentiel du drainage des excédants d'irrigation depuis le canal de la haute Crau sur le niveau d'eau dans les marais relictuels. Le bilan hydraulique du canal d'irrigation de haute Crau estime un apport annuel à la nappe de l'ordre de 16,3 Mm^3/an soit 58 % du volume moyen annuel prélevé par le canal au partiteur [ASSALI, 2008]. Il est nécessaire d'évaluer les transferts (modalité, temps de transferts, quantités, qualité) depuis la Crau vers la vallée des Baux. L'utilisation des marqueurs chimiques n'a jamais réussi à mettre en évidence ces relations. La complexité du système hydrogéologique et les temps de transfert sûrement très long entraînent la recherche d'autres solutions pour mettre en évidence ces écoulements souterrains (cf. IV.2.3.)

Nœuds conflictuels

A cette échelle d'analyse, un premier nœud conflictuel se dessine. Il peut être qualifié de « gouvernance » dans le sens où les quantités d'eau qui seront allouées au territoire, surtout en période de crise, seront décidées par des acteurs qui ne sont pas directement impliqués sur cet espace. La question de la représentation de la vallée des Baux au sein de ces instances de décision (*Banque de documents* : document 9) s'impose : quel est l'acteur qui a le plus de légitimité à représenter la vallée des Baux ? Est-ce que la vallée des Baux en elle même est une échelle pertinente, ou est-ce plutôt du ressort du contrat de canal qui s'intéresse à un territoire plus vaste mais qui semble cohérent en matière de particularités locales ? Au regard des externalité liées à l'irrigation (et plus particulièrement, la recharge des nappes, l'alimentation en eau des zones humides du territoire, les difficultés assainissement liées au surplus d'eau d'irrigation), un acteur tel que le PNR Alpilles peut il représenter un espace dans lequel cette eau de provenance extérieure joue un (des) rôle(s) structurant(s) ?

Si l'objet du présent rapport n'est pas de répondre directement à ces questions, il semble judicieux de les mettre en avant car elles font partie de la question centrale auquel le projet général tente d'apporter une réponse.

Tableau VI: Nœuds conflictuels – Irrigation – Serre-Poncon / Fos

Code	Territoire	Type	Problématique
Gouv 1	Serre-Ponçon / Fos	Gouvernance/irrigation	Représentation de la vallée des Baux au sein des instances de gouvernance

Enjeux et scénarios

Cette organisation générale de la gouvernance, si elle est restée longtemps sous cette forme, semble aujourd'hui, être remise en question sur de nombreux autres secteurs irrigués [LPED, IMEP, GIEST, 2011]. En effet, la diminution des parcelles irriguées au profil de l'urbanisation ainsi que les changements de pratiques d'irrigation entraînent une réflexion quant aux nouvelles destinations des eaux sur ces territoires. De ce fait, c'est aussi le statut et le fonctionnement des associations syndicales qui sont actuellement en pleine réflexion : que vont devenir ces structures au regard de ces nouvelles utilisations des eaux, comment soutenir financièrement l'entretien des canaux alors que les cotisations diminuent ? Ces aspects seront précisés dans la partie suivante mais il s'agira pour les gestionnaires et les chercheurs de surveiller l'évolution du statut des différentes structures afin d'accompagner la restructuration des territoires autour de cette thématique.

De plus, les volumes d'eau alloués à l'irrigation sont fortement liés à la gestion de la réserve de Serres Ponçon. Jusqu'à aujourd'hui, cette réserve a connu deux défaillances en 40 ans [CCCSA, 2010] :

- Lors de la sécheresse exceptionnelle de 1989 ;
- Lors de la sécheresse de 2006 (issue d'une longue période de faible pluviométrie commencée en 2002).

Quelle serait la réaction du territoire face à une nouvelle période de crise ? Cette question apparaît comme un enjeux actuel important sur le territoire puisque certains acteurs cherchent des solutions pour sécuriser ces apports (cf. *IV.2.2. La place de l'irrigation dans la vallée des Baux*)

Enfin, s'il est possible de mettre en évidence une relation entre la haute Crau et les marais relictuels, il sera important de suivre l'évolution des modalités d'irrigation sur ce territoire. En effet, le schéma directeur de l'ASA de Haute Crau propose 20 scénarios d'évolution dont un certain nombre sont susceptibles de réduire ces apports à la nappe [ASSALI, 2008]

IV.2.2. La place de l'irrigation dans la vallée des Baux

Le canal d'irrigation de la vallée des Baux est l'un des ouvrages les plus récents du territoire. Depuis sa mise en eau au début du XX^{ème} siècle, il permet l'irrigation de 2800 ha sur le piémont des Alpilles soit environ 1600 adhérents (*Banque de documents* : document 10). L'ouvrage est situé au pied du versant sud des Alpilles depuis Eyguière jusqu'en Arles. Il connaît plusieurs exutoires (Gaudre du Mas Neuf, Caussette Vieille) et décharges qui sont schématisées sur les documents 10 et 11 (cf. *Banque de documents*). Deux conduites sous pression sont présentes sur les communes de Paradou et Maussane les Alpilles.

La destination finale des eaux apportées sur le territoire reste le réseau d'assainissement et son canal de drainage principal : le canal d'assèchement de la vallée des Baux. Le débit annuel moyen dans le canal d'irrigation est de 2,8 m^3/s pour une capacité maximum de 3.86 m^3/s [HYDROSOL INGÉNIÉRIE, 2000]. Le volume total annuel prélevé au partiteur d'Eyguière a été estimé à 44 Mm^3/an. Les modes d'irrigation principaux utilisés sont la submersion à la raie ou totale. Le mode de desserte est à la demande avec un tour d'eau de 9,5 jours.

Gouvernance

La gestion de l'irrigation sur le territoire s'articule autour de l'Association Syndicale Agréée (ASA) d'irrigation de la vallée des Baux (*Banque de documents* : document 10). Cette structure est soutenue dans ces démarches administratives et financières par le SMGAS. Elle fait aussi partie de l'Union Boisgelin Craponne (*Banque de documents* : document 7) et participe ainsi à l'entretien et à l'exploitation de l'adducteur principal : le canal commun Boisgelin Craponne.

Les irriguants, réunis au sein de l'ASA d'irrigation, sont donc les acteurs clef de la gestion des eaux d'irrigation à cette échelle. Des représentants sont élus dans ces structures et la répartition de l'eau concédée à leur territoire, ainsi que l'entretien et l'exploitation des ouvrages, leur revient. Des regroupements d'ASA sont actuellement en cours au sein de structures plus vastes (*Banque de documents :* document 9) afin de combiner les moyens sur un territoire plus cohérent : le Contrat de Canal Crau Sud-Alpilles (CCCSA). Ce dernier regroupe dix ASA d'irriguants et mène une réflexion sur l'avenir des canaux d'irrigation et la prise en compte des externalités.

Données existantes et lacunes dans les connaissances

Un modèle sur la vallée des Baux, même s'il reste conceptuel, doit s'appuyer sur des données les plus applicables possibles au territoire. Les informations qui sont nécessaires concernent essentiellement la destination des eaux d'irrigation sur le bassin versant topographique : quel volume reste sur le territoire, à quel période est-il apporté, comment se répartissent les eaux ? …

Par l'intermédiaire d'un bilan hydrique du territoire, l'étude d'HYDROSOL INGÉNIERIE (2000) s'est intéressée à cette répartition [LADKI, 2004]. Les résultats montrent que seulement **19** % du volume total apporté est utilisé par les plantes, le reste, 81 %, retourne au milieu naturel (**47** % à la nappe par infiltration et **34** % sont rejetés en colature dans les canaux) sur le territoire des marais des Baux.

Apparaît ici une externalité importante de l'irrigation sur le territoire : l'alimentation des milieux naturels. Par son soutien estival aux nappes *(Banque de documents* : document 11)*,* l'apport d'eau d'irrigation participe à l'alimentation des marais, parties basses du territoire. Elle entraîne un lissage des particularités méditerranéennes (diminution de l'assèchement estival des terres). Une seconde externalité est apparue lors des incendie de 1999 : la moitié du débit du canal a été utilisée pour la protection contre l'incendie.

Cette même étude propose un récapitulatif des besoins en eau des différentes cultures du territoire obtenu en croisant l'évaporation et le coefficient de culture diminué des précipitations :

Tableau VII: Évaluation des besoins en eau des différentes cultures de la vallée des Baux [HYDROSOL INGÉNIERIE, 2000]

	Fruitiers	**Maraîchage**	**Vignes**	**Fourrage**	**Oliviers**
Besoins m3/ha	5136	3439	4941	3016	3234

Les autres informations disponibles peuvent permettre une caractérisation des besoins en eau de ce dernier ainsi qu'une approximation des volumes d'eau apportés. La répartition de ces cultures dans le périmètre irrigué est proposée comme suit :

Tableau VIII: Occupation du sol de la surface irriguée de la vallée des Baux [HYDROSOL INGÉNIERIE, 2000]

Culture	**Fruitiers**	**Maraîchage**	**Vignes**	**Fourrages**	**Oliviers**
Superficie irriguée (ha)	125	3439	100	1070	460

Enfin, la synthèse de l'état des lieux du territoire par le CCCSA [CCCSA, 2010] donne des valeurs de consommation d'eau moyennes pour les différentes méthodes d'irrigation :

Tableau IX: Quantité d'eau consommée par les différentes méthodes d'irrigation [CCCSA, 2010]

Irrigation par submersion	**Irrigation par aspersion**	**Irrigation localisée**
15000 – 20000 m3/ha/an	3000 – 5000 m3/ha/an	2000 – 3000 m3/an

L'ensemble de ces informations, si elles restent approximatives, montre toutefois qu'un changement de pratique d'irrigation, de type de culture ou d'occupation générale des sols à l'intérieur du périmètre irrigué modifiera considérablement la quantité d'eau disponible pour la nappe et donc pour les marais.

De manière à approfondir la connaissance du territoire la maîtrise des volumes réels apportés par l'irrigation en continu est nécessaire afin d'avoir, en parallèle, les volumes transitant par le canal des Baux (Irr1) et ceux du canal d'assèchement. D'après les informations disponibles sur la banque Hydra, il semble que l'ASA d'irrigation dispose déjà de huit stations de mesure des hauteurs d'eau sur leurs ouvrages. Il n'a pas été possible de les rencontrer durant la période du stage.

Tableau X: Programme de suivis, estimation du coût (irrigation - échelle du BV topographique)

libellé	Acteur	Estimation financière TTC (matériel uniquement)
Irr1	ASA d'irrigation ou contrat de canal & PNR Alpilles	Un appareil de mesure à la prise d'eau et au niveau de chaque exutoire : 8 x 3000 €

Nœuds conflictuels

Un certain nombre de nœuds conflictuels apparaît à cette échelle. Le premier rejoint les conclusions de la partie précédente : les quantités maximales d'eau apportées au territoire sont limitées à la concession inscrite dans la loi. La répartition des eaux au partiteur d'Eyguière est-elle suffisante au regard des besoins du territoire ? Ce nœud peut être considéré comme « gestionnaire » dans le sens où la quantité d'eau apportée au territoire dépend de la gestion de cet ouvrage qui revient, en partie, à l'ASA d'irrigation de la vallée des Baux.

Deux nœuds hydrauliques sont aussi identifiés :

- La capacité maximale du canal d'irrigation de la vallée des Baux est limitée à 3800 l/s. Lors des épisodes de sécheresse (2003), les agriculteurs en bout de réseau ont fait ressortir une faiblesse des volumes apportés par rapport aux besoins ;
- Le canal connaît plusieurs décharges (*Banque de documents :* documents 10 & 11) qui peuvent accentuer les phénomènes de crues. En période pluvieuse, ce dernier peut en effet intercepter les eaux des bassins versants situés en amont de son tracé. Des ouvrages (siphons) permettent le passage de ces écoulements sous l'ouvrage mais des sous-dimensionnements ou des problèmes d'obstruction peuvent entraîner un déversement des eaux vers le canal. Il n'existe pas de règlement d'eau pour les décharges. Lors des fortes pluies, l'ASA gère ces ouvrages en fonction de la dangerosité pour les habitations et de la sécurité de l'ouvrage. L'étude hydraulique [PNR ALPILLES & BRL INGÉNIERIE, 2008] met en évidence que les débits de décharge peuvent être supérieurs ou équivalents aux débits de pointe de crue des gaudres. Ils ne sont donc pas négligeables au regard des apports propres au bassin versant. D'après cette même étude, une meilleure appréhension de ces processus nécessiterait une modélisation précise des ouvrages (canal et siphons) qui doit s'appuyer sur un suivi des débits dans les différents biefs du canal.

D'autres nœuds d'ordre plus réglementaire sont aussi à prendre en compte et ont des conséquences en matière de gouvernance. L'évolution de l'occupation des sols sur le périmètre irrigué (urbanisation, changements de type de culture) entraîne généralement une diminution des cotisations auprès de l'ASA. Cette dernière doit supporter à elle seule l'entretien et l'exploitation des

canaux. Or, la prise en compte des externalités liées à l'irrigation entraîne aujourd'hui des réflexions quant à la gestion participative et le support financier par l'ensemble des bénéficiaires.

Tableau XI: Nœuds conflictuels – irrigation – BV topographique

Code	Territoire	Type	Problématique
Gest1	VDB	Gestion / irrigation	Répartition des eaux au partiteur d'Eyguière
Hydr1	VDB	Hydraulique / irrigation	Capacité limitée du canal d'irrigation 3800 l/s
Hydr2	VDB	Hydraulique / irrigation	Impact des décharges en période de crue
Regl1	VDB	Réglementaire / irrigation	Fonctionnement des ASA – prise en charge financière de la gestion et de l'exploitation des ouvrages - externalités

Enjeux et scénarios

Au vue des informations apportées ci-avant, il peut être présagé que la politique d'aménagement de ce territoire peut impacter de façon conséquente la ressource en eau. Aussi, les réflexions menées dans le cadre du volet 4 du présent projet (dynamique des paysages) mettent en avant les grandes tendances d'évolution du paysage depuis 1945. Le croisement des deux volets, pour la période 1945 – 2003 [CHENEVAZ, 2011][8] et au sein du périmètre de l'ASA est récapitulé dans le tableau suivant. Il fait ressortir, l'essor du tissu urbain et des équipements sportifs (golf) au détriment des surfaces irriguées et des vergers. Cette diminution de l'ordre de 150 ha de surfaces potentiellement irriguées se traduirait par un volume qui peut être approximé à 2,25 Mm3/an (d'après les valeurs moyennes de consommation d'eau proposées plus tôt), et dont un peu moins de la moitié devrait participer à l'alimentation de la nappe. L'impact sur la nappe dépendra donc de trois points [ASSALI, 2008] : l'usage futur des eaux (agricole, urbain), la répartition et la surface des espaces irrigués ainsi que le mode d'irrigation.

		2003								
		Foret	Garrigues	Système parcellaire potentiellement irrigué	Urbain	Olivier verger	Pelouses	Équipement sportifs	Total 1944	%
1944	Foret	143,5	76,3	9,3	9,2	43,4	0,3	2,8	**284,8**	9,3
	Garrigues	114,7	236,9	20,5	3,8	72,9	15,8	0,0	**464,5**	15,2
	Système parcellaire potentiellement irrigué	40,9	14,4	814,4	198,8	85,0	16,4	31,1	**1201,0**	39,3
	Urbain	1,0	0,2	5,9	41,1	0,5	0,0	0,0	**48,7**	1,6
	Olivier – vergers	57,3	44,2	197,6	22,9	668,2	41,1	10,3	**1041,6**	34,1
	Pelouses	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	12,8	0,0	**13,0**	0,4
	Équipements sportifs	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	**0,0**	0,0
	Total 2003	**357,4**	**372,0**	**1047,6**	**275,7**	**870,1**	**86,4**	**44,2**	**3053,5**	100

Tableau XII: Evolution du territoire au sein du périmètre de l'ASA d'irrigation entre 1945 et 2010 d'après les données de [CHENEVAZ, 2011]. Le tableau peut être lu de plusieurs manières :

- *L'essor urbain entre 1944 et 2003 s'est traduit par une augmentation des surfaces de 227 ha (275,7 – 48,7)*
- *Sur ces 227 ha, plus de la moitié a été gagnée sur des terres agricoles potentiellement irriguées*

8 Ce travail n'a pas pu être réalisé sur l'ensemble du périmètre de l'ASA (environ 5000 ha) car l'étude de l'évolution du paysage s'est intéressée à un territoire plus ciblé

Si ces informations sont apportées à titre d'exemple, elles n'en démontrent pas moins que les politiques d'aménagement sur ce territoire peuvent impacter de façon conséquente le cycle de l'eau. Elles pourraient être précisées si l'ASA d'irrigation dispose de données cartographiques plus précises des parcelles irriguées. Aussi l'irrigation et l'occupation des sols semblent être des facteurs clés du modèle puisque ce sont des éléments sur lesquels l'utilisateur pourra intervenir. Peut-être alors identifié un certain nombre de questions prospectives auxquelles le modèle doit être amené à pouvoir répondre telles que :

- Le territoire est reconnu pour son attractivité. Les zones urbaines se développent rapidement et, préférentiellement sur les piémonts (zone irrigable). Quelles sont les conséquences d'une urbanisation en progression sur le fonctionnement hydrologique du territoire ?
- La recherche des économies d'eau, enjeux réglementaires et économiques pour les exploitations agricoles, par un changement de pratiques d'irrigation, peut elle induire une diminution des quantités d'eau sur le territoire et de quel ordre de grandeur ?

Enfin, il semble important de noter qu'un nouveau projet d'irrigation est actuellement en réflexion. Un autre acteur apparaît : le Syndicat Intercommunal Oléicole de la Vallée des Baux (SIOVB) qui, en collaboration avec la Compagnie Nationale du Rhône (CNR) cherche des solutions afin d'assurer (plutôt que d'intensifier) les apports d'eau. Plusieurs projets sont à l'étude concernant l'apport d'eau en provenance du Rhône (par un nouveau canal ou par le biais du canal d'assainissement). Cela remet en question le maintien de la fonctionnalité du système de drainage [El May, 2010].

IV.2.3. Impact des eaux agricoles sur un système de marais relictuel

L'impact du drainage de l'eau agricole non utilisée, sur le fonctionnement des marais relictuels du territoire est fortement présagé mais n'a jamais été réellement prouvé et quantifié. Les utilisateurs et observateurs du marais soulignent un lissage annuel des niveaux d'eau avec une diminution importante de l'assec estival.

Ces marais relictuels sont situés au pied du talus de Crau. Cet espace est reconnu pour posséder un certain nombre de laurons (sources situées en bordure de la nappe de Crau). Si ces milieux sont étudiés pour leurs caractéristiques écologiques, leur fonctionnement hydrologique reste par contre très peu maîtrisé. Au vu de la configuration géologique du site (complexe et peu étudiée), certains auteurs proposent une provenance des eaux depuis la nappe profonde de la Crau [SEGUIER, 1981]. Le fonctionnement cette dernière, surtout dans sa partie nord, étant fortement influencé par l'irrigation, des volumes d'eau pourraient donc transiter par ces laurons, même en période estivale. Des tentatives de traçage chimique des eaux depuis la Crau ont eu lieu mais aucun retour n'a été enregistré dans les marais [PNR ALPILLES & BRL INGÉNIERIE, 2008]. Au regard de la coupe schématique de la vallée des Baux (cf. Figure 4, page suivante), les eaux pourraient tout aussi bien provenir du drainage du système karstique des Alpilles. Une caractérisation du fonctionnement hydrogéologique du territoire est nécessaire et sera aussi le support à l'estimation des ressources en eau disponibles du territoire (problématique actuelle du PNR Alpilles).

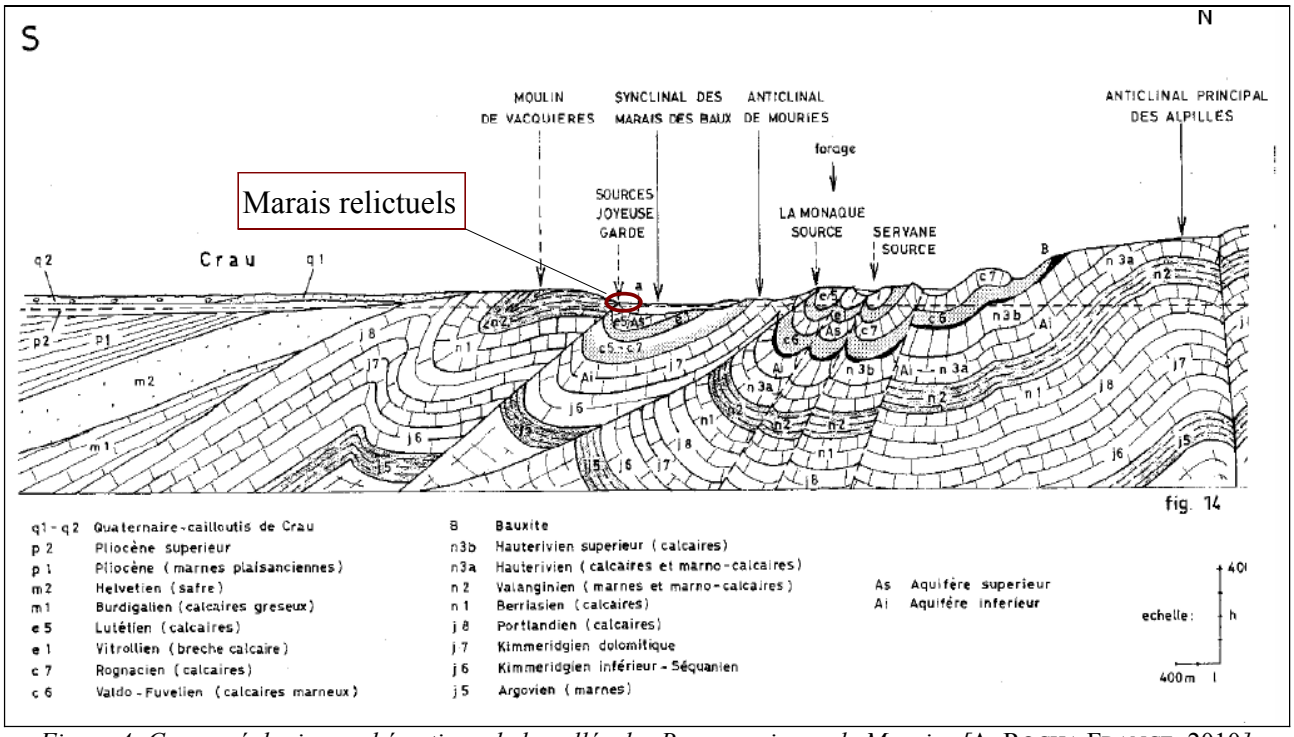


*Figure 4: Coupe géologique schématique de la vallée des Baux au niveau de Mouries [*A. ROCHA FRANCE, 2010*]*

La partie ouest du marais de l'Ilon ne semble plus influencée par ces Laurons depuis le creusement du canal séparant cette dernière de la partie est [A. ROCHA FRANCE, 2010]. L'entrée principale des eaux provient des brèches présentes en rive gauche du canal d'assainissement. Depuis 2009, un appareil de mesure permet l'observation des niveaux d'eau en continu sur ce canal. Étant l'exutoire de l'ensemble du territoire, et donc des excédants d'eaux d'irrigation, il est plus que probable que l'exploitation des données mette en évidence l'impact des apports estivaux sur les volumes transportés par le canal.

Gouvernance

Les marais de l'Ilon, au même titre que les anciens marais des Baux appartiennent à des propriétaires privés et sont, à ce titre, le support d'activités agricoles (ici, pâturage par les taureaux). Ce sont des espaces considérés comme des zones agricoles dans les documents d'urbanisme [A.ROCHA FRANCE, 2010]. Ces marais sont reconnus pour leurs potentialités écologiques comme en témoigne la mise en place dernièrement, d'une procédure Natura 2000 sur un peu plus de 11 000 ha (marais des Baux et marais d'Arles). Ils sont suivis par une association naturaliste : A.Rocha France au travers de conventions qu'elle passe avec les propriétaires. D'autre part, ils sont situés à l'intérieur du territoire du PNR Alpilles dont la vocation est la valorisation et la protection du patrimoine naturel, culturel et humain. Il accompagne et participe aux études et aux suivis réalisés sur les marais en travaillant en partenariat étroit avec l'association A.Rocha France. Outre leurs intérêts écologiques et agricoles, des résultats récents d'études sociologiques menées auprès des résidents du territoire montrent un aspect récréatif important et sous exploité de ces espaces [HOLMQUIST WESTERBERG, *et Al.,* 2010].

Données disponibles et lacunes dans les connaissances

Il sera important de déterminer quelle est la part des excédants d'irrigation dans le volume d'eau total des marais (cf. nœuds hydrauliques ci-dessous). Il n'existe pas, avant 2009, de suivis en parallèle des volumes dans les marais, dans le canal d'assainissement et dans le canal d'irrigation. De manière à maîtriser le fonctionnement des marais et l'impact du drainage ou de l'assainissement des excédants d'irrigation, plusieurs solutions sont possibles :

- **Irr2 - Analyse Isotopique** des eaux du marais : permet de retracer les mouvements de l'eau dans le cycle hydrologique en observant les isotopes stables et les isotopes radioactifs. A partir de l'analyse de plusieurs échantillons d'eau il est possible de déterminer la provenance et « l'age » de la molécule d'eau. Ces études coûtent relativement chère mais le prix doit être mis au regard de l'information apportée. Il semble en effet que ce soit l'une des solutions la plus fiable quant à la quantification des eaux de provenance extérieure au bassin versant, dans les marais [LADKI, 2004].
- **Irr3** - Suivi quantitatif des différents volumes et **bilan hydrologique** : l'actuel travail de modélisation du fonctionnement hydrologique du marais de l'Ilon ouest pourra permettre d'approcher l'impact des apports externes sur ces marais tant en termes de quantité d'eau qu'en matière de période d'inondation. Une partie de ces mesures est à réaliser sur des territoires et des thématiques extérieures aux marais proprement dit (cf. données météorologiques, irrigation, assainissement ...). Les suivis actuels permettant l'étude du fonctionnement des marais sont aussi à perpétuer (niveau d'eau dans les marais et niveau d'eau dans le canal d'assainissement). L'ensemble de ses données doit être collecté à des fréquences et précisions les plus similaires possibles afin de pouvoir être comparé. Cela permettra de plus une valorisation des suivis de niveaux d'eau existants.

Tableau XIII: Programme de suivi : estimation du coût (irrigation, échelle des marais relictuels)

libellé	Acteur	Estimation financière TTC (matériel uniquement)
Irr2	Tour du Valat – PNR Alpilles – A Rocha – ASA d'irrigation et ASA d'assainissement	Donnée indisponible durant la période de stage (coût élevé)
Irr3	Tour du Valat – A Rocha France	Appareils de mesure déjà installés

Nœuds hydrauliques

les réflexions se situent typiquement dans des problématiques gestionnaires sur le devenir de ces milieux : quel(s) avenir(s) pour ces marais ? La présence de l'eau en continu a entraîné l'installation d'habitats et d'espèces qui n'auraient pas pu persister dans les conditions d'assèchement estival (*Cariçaie à Carex elata* – code CORINE : 53.2151). Le paysage induit par ces nouveaux apports est complètement le fruit des activités humaines sur le territoire. Les actions envisagées dans le cadre du plan de gestion des marais de l'Ilon proposent, entre autres, la maîtrise d'un assec estival régulier (pas forcément annuel), afin de préserver une roselière de bonne qualité. L'objectif est donc de supprimer les effets induits du drainage des excédants d'irrigation. Pour cela, il semble important

d'insister sur la nécessaire quantification de la provenance des eaux du marais, au préalable, afin d'identifier quelle part des eaux provient des précipitations ou du drainage puis, d'évaluer si ces apports externes proviennent essentiellement de la Crau ou du bassin versant topographique des marais. L'identification des externalités de l'irrigation apparaît donc comme un aspect central de la gestion et de la gouvernance du territoire étant donné qu'elles peuvent entraîner des coûts supplémentaires non prévus et qu'elles remettent en partie en question le système d'assainissement.

Tableau XIV: Nœuds conflictuels – irrigation - Ilon

Code	Territoire	Type	Problématique
Gest2	Ilon	Gestion / irrigation	Quel avenir pour les marais ? Limiter les coût des effets induits de l'irrigation – Adaptation du territoire au fonctionnement actuel du bassin versant ou retour à un fonctionnement « naturel »

En conclusion sur l'irrigation

L'irrigation est devenue un élément central du fonctionnement du territoire. Elle est au centre d'enjeux différents et parfois contradictoires qui complexifient les relations entre acteurs et donc, la gouvernance. Les tenants et aboutissants sur cette thématique évoluent en fonction de l'échelle d'observation et la question de la représentativité du territoire dans les instances décisionnelles se pose. Cette question en entraîne une autre : Quel territoire doit être (ou veut-on) représenter ?

Afin de répondre à ces questions qui sont l'une des problématiques de l'axe A du projet, il semble nécessaire de s'appuyer sur un suivi quantitatif du devenir des eaux d'irrigation. Une partie des données existe mais elle reste parfois trop générale et exploitée indépendamment d'autres paramètres pour appréhender le plus justement possible l'impact sur les marais.

La gouvernance sur cette thématique évolue rapidement en parallèle de l'évolution de la loi (mise en place du contrat de canal). Le rôle des différents acteurs, directs ou indirects, est actuellement remis en question par plusieurs programmes de recherche sur d'autres territoires irrigués.

Paramètre important, le réseau de suivi lié à l'irrigation doit permettre de questionner le système sur des politiques d'aménagement du territoire, en intégrant les tendances du réchauffement climatique ou encore sur les orientations de gestion des marais.

IV.3. L'assainissement : une autre vision du territoire

En l'espace de quelques kilomètres, la vallée des Baux passe d'un milieu où l'eau est une ressource rare vis à vis des besoins, à un espace au sein duquel les acteurs sont confrontés à un excès d'eau permanent. Cela a entraîné le développement d'un réseau conséquent de roubines et de canaux afin d'améliorer les capacités d'assainissement. Autre problématique importante du territoire, il s'agit d'identifier ici la manière dont s'est organisé le réseau d'assainissement et les acteurs qui en ont la charge.

IV.3.1. De CAMPLAN au marais des Baux, il n'y a qu'un … canal !

De la même façon que pour l'irrigation, cette thématique nécessite une vision bien plus large que l'unique bassin versant topographique des marais. Ce travail complète et précise le projet CAMPLAN (Eaux et Territoires 1) en intégrant les problématiques d'un milieu situé en amont mais dépendant des mêmes ouvrages.

L'organisation générale du réseau, telle qu'elle est présentée dans les documents 12 à 14 (cf. *Banque de documents*), s'articule autour de deux ouvrages majeurs dont la vocation est l'assainissement d'un territoire qui s'étale depuis la petite Crau (nord Alpilles), jusqu'à Fos sur Mer, soit un bassin versant topographique de l'ordre de 100 000 ha :

- **Le canal du Vigueirat** qui reçoit les eaux de drainage et les excédants d'irrigation des Alpilles et du Nord Crau. Il achemine les eaux vers le canal d'Arles à Bouc en amont du barrage anti-sel (connexion entre l'étang du Landre et le canal d'Arles à Bouc par un ouvrage hydraulique : le Galéjon) ;
- **Le Canal d'Arles à Bouc**, ancien canal de navigation, qui amène aujourd'hui l'eau douce vers le complexe industriel de Fos sur mer. Il est alimenté par les eaux du Rhône (gestion par le service de navigation Rhône- Saône à l'amont du pont Van Gogh). Il recueil en particulier les eaux de drainage des quartiers ouest d'Arles, les excédants d'irrigation et les eaux de drainage du marais des Baux ainsi que de certains marais en bordure ouest de la plaine de la Crau.

Aux apports d'eau « naturels », peuvent être ajouté l'ensemble des eaux d'irrigation non utilisées par les plantes et qui rejoint directement en colature ou par transfert souterrain, le réseau d'assainissement. La synthèse du système d'irrigation a souligné les apports importants qu'ils peuvent représenter.

La schématisation du fonctionnement général (*Banque de documents* : document 14) permet d'identifier la condition limite aval de l'ensemble de ce système : le barrage anti-sel de Fos sur Mer. Les problématiques engendrées par cet ouvrage mobilisent un certain nombre d'acteurs :

- Le **G**rand **P**ort **M**aritime de **M**arseille (GPMM), gestionnaire de l'ouvrage. L'objectif consiste à l'imiter les remontées d'eau salée dans le canal d'Arles à Bouc afin de protéger les captages d'eau douce situés à l'amont pour un usage industriel ;

- L'œuvre du Galéjon regroupe plusieurs acteurs (association des amis du Vigueirat, commune d'Arles, gestionnaires de canaux, grand port maritime …) autour de la gestion concertée de cet ouvrage. La problématique principale de cette structure est l'amélioration des écoulements ;
- Le SMGAS intervient comme support technique à la gestion et à la concertation ;
- La commune d'Arles, en lien avec le SYMADREM[9], cherche des solutions techniques afin de limiter l'effet des crues dans le cadre des financements du Plan Rhône.

Gouvernance

La gouvernance de la gestion de l'assainissement semble aussi complexe que celle de l'irrigation, du fait de la multiplicité des acteurs intervenants (*Banque de documents* : document 13). Multiplicité d'autant plus grande que les enjeux sont nombreux. C'est le cas sur l'ensemble de ce système où les problématiques agricoles sont confrontées à des problématiques environnementales, récréatives, qualitatives, le tout cumulé avec des objectifs de protection des personnes et des biens contre les inondations, argument qui semble apparaître comme principal au regard des riverains, surtout depuis l'épisode de 2003 [SMGAS, 2010]. La question de la gouvernance se pose à cette échelle d'analyse puisque la capacité de vidange de la vallée des Baux sera d'autant plus importante que le niveau dans le canal d'Arles à Bouc est bas, donc si les vannes du barrage anti-sel sont ouvertes (si le gradient hydraulique permet la sortie des eaux vers le milieu marin) pour ne citer qu'un exemple.

Aux acteurs cités plus haut qui interviennent dans les réflexions autour de la gestion du barrage anti-sel peuvent s'ajouter pour les différents canaux (*Banque de documents* : documents 14 & 15) :

- ***Canal du Vigueirat*** *:*
  - L'Association Syndicale du corps de dessèchement des marais d'Arles ;
  - Le Grand Port Maritime de Marseille ;
  - Le Syndicat Intercommunal du Vigueirat et de la Vallée des Baux (SI2VB) ;
- ***Canal d'Arles à Bouc :***
  - Le Service de Navigation du Rhône – Saône ;
  - Le GPMM ;
- ***Les Marais d'Arles :***
  - L'Association Syndicale du corps de dessèchement des marais d'Arles ;
- ***La vallée des Baux :***
  - L'Association Syndicale du dessèchement des Marais des Baux ;
  - Le Syndicat Intercommunal du Vigueirat et de la Vallée des Baux.

Vouloir être exhaustif dans l'énumération de l'ensemble des acteurs concerné par ces problématiques, et par la gestion des canaux d'assainissement semble difficile, seuls les gestionnaires de canaux principaux et dont les actions peuvent impacter directement les capacités de vidange de la vallée des Baux sont cités.

9 Syndicat mixte interrégionnal d'aménagement des digues du delta du Rhône et de la mer.

Données disponibles et lacunes dans les connaissances

Malgré un nombre d'études important sur ce système, très peu de données sont finalement exploitables à l'heure actuelle. Les informations existantes concernent essentiellement les capacités maximales des différents ouvrages, dans une optique de lutte contre les inondations. Si le SMGAS dans sa synthèse thématique recense un certain nombre de points de mesures, ces données sont réparties chez l'ensemble des acteurs et aucune coordination n'existe. De plus, toutes ces stations ne sont plus suivies actuellement. Enfin, les éléments de la gestion hydraulique du barrage anti-sel, s'ils existent, ne sont pas facilement accessibles.

Un réseau de suivi de l'ensemble du système est indispensable, pour l'ensemble des problématiques qui existent sur le territoire d'une part mais aussi pour identifier plus particulièrement dans le cadre du projet, de quelle manière les conditions d'écoulement dans les canaux principaux impactent la capacité de vidange de la vallée des Baux. La question qui se pose alors rejoint les informations apportées dans la partie gouvernance : qui doit prendre en charge ce réseau ? Dès lors, à défaut de solutions actuelles, les propositions de la partie analyse de la synthèse du système [SMGAS, 2010] peuvent être retranscrites ici et contextualisées à notre étude :

- A l'échelle du **bassin versant** de la vallée des Baux :
    - Cf. partie suivante ;
- A l'échelle des **canaux maîtres**, Vigueirat - Arles à Bouc :
    - Le suivi en continu des niveaux d'eau est nécessaire dans le cadre de l'étude, au moins sur le canal d'Arles à Bouc ;
- A l'échelle des **ouvrages particulier** :
    - Il est fondamental de pouvoir quantifier l'impact d'ouvrages tels que le siphon de Montcalde ou le barrage anti-sel sur l'écoulage général des eaux de la vallée des Baux.

Dans le cadre du projet, le scénario optimal en termes de suivis consisterait à placer un limnigraphe en amont de la confluence avec le canal des Baux et un autre à l'aval, de façon a caractériser l'impact de ce canal sur le système Arles à Bouc. Des appareils de mesure existent en amont et en aval du barrage anti-sel [SMGAS, 2010] mais l'accès aux données semble difficile. La mise en place d'un suivi sur ce canal devra être réalisée en coopération avec le GPMM, gestionnaire de l'ouvrage. Le canal de Vidange pourrait aussi être équipé afin de quantifier l'apport des anciens marais d'Arles.

Tableau XV: Programme de suivis : estimation des coûts (assainissement, échelle Système Vigueirat - Arles à Bouc

libellé	Acteur	Estimation financière TTC (matériel uniquement)
Ass1	GPMM ou Tour du Valat	5 thalimèdes : 5 x 3000

Nœuds hydrauliques

La synthèse du fonctionnement du système Vigueirat – Arles à Bouc [SMGAS, 2010] rapporte la difficulté de concertation entre ces différentes structures. Cette dernière, lorsqu'elle existe ne prend pas en compte l'ensemble des enjeux liés à ces canaux. Les auteurs insistent sur la nécessité d'une intervention globale sur l'ensemble du système. Concertation qui s'appuierait autour de trois échelles : le bassin versant, les canaux maîtres (Vigueirat et Arles à Bouc) et les ouvrages eux même.

Les actions devraient être réfléchies en concertation avec l'ensemble des acteurs du système et non plus uniquement sur des territoires très localisés. Elles devraient de plus s'intégrer au sein d'autres problématiques (protection de l'environnement) : la gestion intégrée. Les réflexions menées en termes de gestion de l'assainissement sur le bassin versant des Baux doivent suivre un processus itératif en collaboration avec les autres acteurs de ce système global.

Tableau XVI: Nœuds conflictuels – assainissement – Serre-Poncon / Fos

Code	Territoire	Type	Problématique
Gouv 2	Serre-Ponçon / Fos	Gouvernance /drainage	Représentation de la vallée des Baux au sein des instances de gouvernance
Gest 3	Serre-Ponçon / Fos	Gestion /drainage	Capacité d'écoulage de l'ensemble du système influencée par la gestion du barrage anti-sel

Enjeux et scénarios

Une attention particulière est à porter sur cette thématique, à cette échelle d'analyse dans le cadre du projet. S'il n'est pas possible, à l'heure actuelle de quantifier l'impact du fonctionnement du système Vigueirat - Arles à Bouc sur l'assainissement du bassin versant de la vallée des Baux, un certain nombre de projets est actuellement en cours de réflexion. Certains pourront impacter le fonctionnement de la vallée des Baux :

- Permettre le délestage du canal du Vigueirat vers le canal de vidange par la mise en place de déversoirs latéraux et le recalibrage des siphons du Quenin et de la Flèche (assainissement pluvial des quartiers est et nord d'Arles). Il semblerait que ces travaux aient été réalisés depuis la crue de 2003 [SMGAS, 2010] ;
- Permettre le délestage du Vigueirat dans le canal d'Arles à Bouc en amont du siphon de Montcalde par l'intermédiaire de la vanne du Contour. Il s'agirait alors de permettre la vidange du canal d'Arles à Bouc vers le Rhône en amont du rejet du canal de la vallée des Baux par une pompe ou par l'utilisation de l'écluse [SMGAS, 2010].

Une meilleure approche du fonctionnement du système, par la mise en place et l'analyse d'un réseau de suivi des débits, permettrait de prévoir les impacts potentiels de ces aménagements sur les différents territoires rattachés au réseau.

D'autre part, les changements attendus par les prévisions du changement climatique concernant l'élévation du niveau marin sont susceptibles d'entraîner une multiplication et une amplification des problématiques identifiées sur le système [SMGAS, 2010].

IV.3.2. L'assainissement de la vallée des Baux : quelle place aujourd'hui ?

Entre le massif des Alpilles et le talus nord de la Crau, la vallée des Baux présente une forme générale de cuvette (déflation hydro-éolienne – [BRUNETON, *et Al.*, 1998]), fermée à l'ouest par le verrou de Barbegal. La topographie générale du site entraîne donc une évacuation difficile des eaux du territoire (cf. *Figure 5*). Le territoire, tel qu'il peut être observé actuellement (*Banque de documents* : document 15) est le résultat d'un siècle de travaux d'assèchement dont l'objectif a été la transformation de cette dépression en un polder continental [LEVEAU, 1999]. Travaux qui ont conduit à la mise en place du canal d'assèchement de la vallée des Baux (1646). Cet ouvrage permet l'évacuation des eaux de provenance diverse sur le territoire [SMGAS, 2010] :

- Les « hautes terres » : canaux sur-élevés par rapport au niveau du sol. Ils collectent les eaux des gaudres qui drainent le versant sud des Alpilles et qui, auparavant, participaient à l'alimentation des marais ;
- Les « terres basses » : canaux collectant l'ensemble des eaux de drainage des terres agricoles apportées au canal d'assèchement par l'intermédiaire de stations de pompage ;

En réalité, deux types de nappes superposées caractérisent les « terres basses » [SEGUIER, 1981] :

- La nappe superficielle localisée dans les alluvions récentes, alimentée par les précipitations et les eaux d'irrigation ;
- La nappe profonde dont les eaux proviendraient du drainage de la nappe des cailloutis de Crau [SEGUIER, 1981]. Un ensemble de failles permettrait la mise à jour de ces eaux profondes (sources, laurons). L'origine de ces eaux est relativement mal connue.

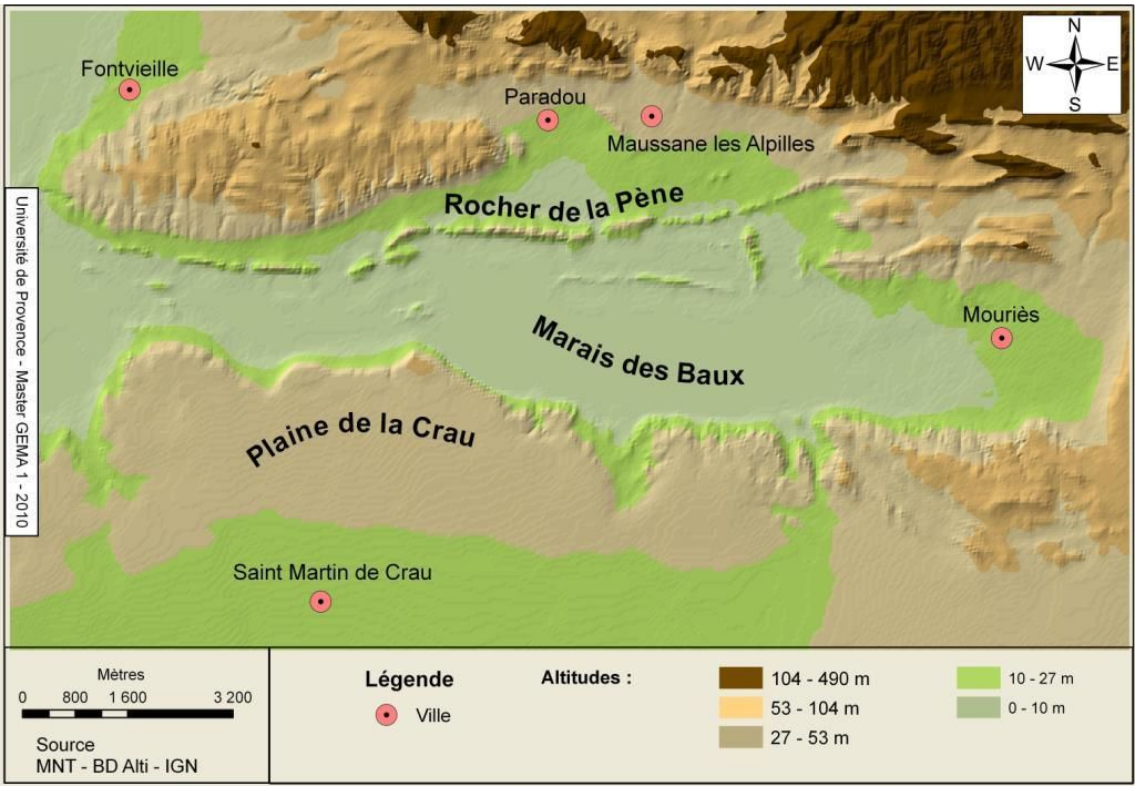


Figure 5: Les marais des Baux : une cuvette entre les Alpilles et la Crau

Les nombreux canaux d'assainissement présents sur le territoire permettent le drainage d'une surface d'environ 230 km² [SMGAS, 2010] qui comprend le bassin versant des marais des Baux (à l'amont de Barbegal) et le bassin versant des marais d'Arles (de Barbegal à Montcalde). Le canal principal d'assainissement reçois à trois reprises les excédants d'irrigation (*Banque de documents* : document 10) :

- La branche des Coussouls en amont de l'ouvrage ;
- La branche de Caparon au niveau de Barbegal ;
- L'exutoire final par l'intermédiaire de la Caussette Vieille puis du canal de vidange.

Gouvernance

Trois structures sont présentes directement sur le territoire *(cf. Banque de documents :* document 15*)* :

- L'**A**ssociation **S**yndicale **F**orcée (ASF) pour l'entretien du dessèchement de la vallée des Baux (1854), permet l'assainissement de 1786 ha de terres du marais. Elle gère 40 km de canaux, dont le canal principal ainsi que 16 stations de pompage ;
- L'ASA du Bas Paradou (1911), a en charge l'entretien et la surveillance du fossé de l'Estagnols, ainsi que de la roubine de la Tronflette ;
- L'ASA d'assainissement du bas Mouries (1926), est chargée de l'entretien et de la surveillance des canaux de son territoire ainsi que de la défense des terrains riverains vis à vis du gaudre du Mas Neuf.

A l'ouest du verrou de Barbegal, le corps de dessèchement des marais d'Arles (1619) permet l'assainissement des quartiers nord et est d'Arles ainsi que des anciens marais d'Arles. Elle gère entre autres, le canal de vidange, collecteur principal du périmètre, dont l'exutoire est le canal de la vallée des Baux.

Les deux premières structures sont soutenues, dans leur démarches administratives par le SMGAS. Le SI2VB, syndicat de coopération intercommunal, à pour vocation la réalisation de travaux sur une partie des ouvrages dans une optique de protection contre les inondations.

De façon similaire à l'organisation de la gouvernance autour de l'irrigation, à cette échelle d'analyse, les agriculteurs sont les acteurs en charge de l'assainissement du territoire, par l'intermédiaire des ASA et ASF auxquelles ils adhèrent.

Données existantes et lacunes dans les connaissances

Les données disponibles en termes de suivis hydrauliques sont presque inexistantes sur les ouvrages pré-cités. Aucun suivi de débit n'est réalisé sur le canal principal, ni sur les canaux secondaires. Depuis 2009, un appareil de mesure installé dans les marais de l'Ilon par A. Rocha et la Tour du Valat, permet le suivi des niveaux en continu dans le canal. Ces données n'ont pas encore été réellement exploitées.

L'étude hydraulique du territoire s'est intéressée au fonctionnement en crue. Elle estime la capacité maximale du canal à 25 m3/s avant débordement en rive droite [PNR ALPILLES & BRL INGÉNIERIE, 2008]. Cependant, il lui est possible de déborder en rive gauche pour des débits plus faibles, dans les marais relictuels. Ces mêmes auteurs évaluent la capacité du siphon de Montcalde à 14 m3/s ce qui correspond donc à la capacité maximale de ressuyage du territoire.

La capacité totale de pompage des stations de l'ASF des marais des Baux est estimée à 7m3/s avec des valeurs données, par stations disponibles, dans le tableau suivant [PNR ALPILLES & BRL INGÉNIERIE, 2008].

Rive droite	Rive gauche
Stations syndicales	**Stations syndicales**
Mérindoles : 500l/s	Goudègues 500l/s
Caparon 250l/s	**Stations privées**
Ilon 150l/s	Barbegal 300l/s
Faubourguettes 250l/s	Mireille 450l/s
St Jean 800l/s	Joyeuse Garde 600l/s
Etroit 1000l/s	
Etang du Comte 300l/s	
Cavaillone 200l/s	
Stations privées	
La Plantade 700l/s	
Le Monestier 300l/s	
Malaga Nord 250l/s	
Malaga Sud 500l/s	

Tableau XVII: Capacité des stations de pompages de l'ASF [PNR Alpilles & BRL Ingénierie, 2008]

Dans le cadre de l'étude hydraulique du bassin versant sud-Alpilles, ces mêmes auteurs proposent une évaluation des apports aux marais depuis le bassin versant en s'appuyant sur les chroniques de débit observées sur trois anciennes stations de mesures situées sur trois gaudres (1975 – 1994) :

- Apports moyens annuels du bassin versant de l'ordre de 600 l/s ;
- Saison sèche (juin à septembre) : environ 200 l/s ;
- Saison moyenne (octobre à décembre) : 600 l/s ;
- Saison humide (janvier à mai) : 800 l/s.

Ils proposent aussi une estimation des temps de ressuyage des casiers en fonction de différents scénarios de crues. Cette étude permet de faire ressortir le rôle apparemment non négligeable de la condition limite aval du système : un phénomène de tempête (niveau de la mer à 1,2 m NGF) entraînerait une augmentation d'un à deux jours des temps de ressuyage. Elle met aussi en avant que les marais relictuels, alimentés par des brèches dans le canal d'assainissement calées à 1 m NGF, subissent de façon plus importante les effets de la gestion du barrage anti-sel. L'impact de cet

ouvrage semble se ressentir de façon plus prononcée pour des épisodes de faibles périodes de retour. Il impactera en particulier les territoires en aval de Barbegal ainsi que les marais relictuels.

En accord avec l'état des lieux de la connaissance de l'eau sur le territoire du PNR Alpilles [MAISON RÉGIONALE DE L'EAU PACA, 2010], avec la synthèse du fonctionnement du système Vigueirat / Arles à Bouc [SMGAS, 2010], l'étude hydraulique insiste sur l'absence de suivis en continus qui limite l'analyse du fonctionnement hydrologique du territoire.

La réalisation d'un modèle nécessite une préalable quantification des apports d'eau au canal d'assèchement. La mise en place, en parallèle, d'un réseau de suivi des écoulements de surface et souterrains est justifiée pour mieux comprendre le fonctionnement du système [PNR ALPILLES & BRL INGÉNIERIE, 2008].

Il s'agirait dans un premier temps de reprendre le suivis des débits sur les gaudres équipés. Une demande de remise en fonctionnement de ces appareils pourrait être adressée à la SPC Grand Delta. Ces apports doivent être mis au regard des entrées liées à l'irrigation (cf. irr2) afin d'identifier, le rôle du canal d'irrigation dans le régime hydrologique des gaudres.

Une caractérisation et un suivi du fonctionnement de la nappe semble aussi nécessaire afin de cerner les processus d'échange nappe / réseau de surface. Ces données seraient à utiliser en relation avec un suivis en continu du fonctionnement des pompes afin d'estimer les volumes pompés (Ass2).

Tout ces éléments du bilan hydriques doivent être analysés au regard des débits transitant réellement dans le canal d'assainissement principal sur lequel il conviendrait de renforcer le réseau de suivi, en observant au préalable les niveaux d'eau dans cet ouvrage (Ass3).

L'acquisition de l'ensemble de ces données représente un coût, en temps et en moyens, relativement lourd. Il semble toutefois judicieux d'insister sur le fait que ce rapport est le quatrième en l'espace de trois ans qui met en avant des lacunes considérables en termes de connaissances du fonctionnement hydrologique du territoire.

Tableau XVIII: Programme de suivis : estimation des coûts (assainissement, échelle bassin versant)

libellé	Acteur	Estimation financière TTC (matériel uniquement)
Ass2	ASF, PNRA, SI2VB	Enregistreur automatique : 4 x 3000
Ass3	ASF, PNRA, SI2VB	4 thalimèdes : 4 x 3000

Nœuds hydrauliques

Deux nœuds purement hydrauliques peuvent être identifiés :

- Le **dimensionnement du canal principal d'assainissement** (25 m3/s) est insuffisant pour les crues supérieures à une période de retour de cinq ans [PNR ALPILLES & BRL INGÉNIERIE, 2008] ;
- Avant d'être impactée par le barrage anti-sel, le ressuyage du système est limité par le **dimensionnement du siphon de Montcalde** (14 m3/s).

D'autres nœuds liés à l'organisation de la gouvernance et au devenir du réseau d'assainissement apparaissent. La gestion de l'assainissement est l'une des préoccupation de six acteurs sur le territoire (ASA, ASF, PNRA, SI2VB et les communes). La gestion de l'eau doit être réfléchie de manière cohérente avec l'ensemble de ces acteurs. Les ASA et ASF soutiennent financièrement l'entretien et le suivi des ouvrages avec une vocation agricole. Or, la crue de 2003 a montré les capacités offerte par ces marais asséchés comme zone d'expansion des crue. La synthèse du système Vigueirat / Arles à Bouc pose deux questions sur l'avenir de ces marais [SMGAS, 2010] :

- Quel rôle doivent-il jouer quant à l'écrêtement des eaux provenant des Alpilles, sur la protection du système aval ?
- Dans quelle mesure la gestion des flux aval est elle intégrée dans la gestion des marais des Baux ?

Une question similaire à celle posée dans la partie irrigation concerne donc le rôle futur des associations de propriétaires sur ces territoires. Doivent elle supporter financièrement des ouvrages autours desquels les enjeux dépassent leurs vocations agricoles (gestion du pluvial urbain …) ? Quel est l'acteur le plus à même d'apporter cette vision globale sur le territoire et quels sont les moyens qui devraient lui être accordés ? Ces pistes de réflexions pourraient être envisagées dans l'axe A du présent projet.

Tableau XIX: Nœuds conflictuels assainissement – Vallée des Baux

Code	Territoire	Type	Problématique
Hydr3	VDB	Hydraulique/drainage	Dimensionnement du canal d'assainissement de la vallée des Baux
Hydr4	VDB	Hydraulique/drainage	Dimensionnement du siphon de Montcalde
Gouv4	VDB	Gouvernance/ drainage	Multiplication des acteurs sur le territoire – quels rôles ?
Gouv5	VDB	Gouvernance / drainage	Adaptation de la gouvernance face aux nouvelles vocations des canaux

Enjeux et scénarios

L'assèchement général des marais est actuellement remis en cause de plusieurs manières sur ce territoire :

- Difficultés financière d'entretien du réseau et des ouvrages ;
- Mise en avant de leur rôle d'écrêtement des crues lors de l'épisode de 2003 : peuvent-ils et doivent-ils permettre le stockage des eaux de crues provenant des Alpilles, du Vigueirat ou du Rhône ? Ces milieux étant identifiés comme tels dans le plan de protection des crues du Rhône, la question de l'indemnisation des agriculteurs installés se pose. D'autant plus que les crues sont une problématiques majeure des zones urbanisées sur le piemont ;
- Volonté, au vue des deux points précédents, de plusieurs propriétaires de réinstaurer un fonctionnement « naturel » à leurs parcelles. Ces réflexions ont conduites à la mise en place d'une concertation sur le territoire animée par l'association A. Rocha ;

- La problématique des ressources en eaux disponibles du territoire : l'estimation de ces ressources fait actuellement l'objet d'une étude à part entière pour le PNR Alpilles. Les conclusions ne sont pas encore disponibles. D'autre part, comme indiqué plus haut dans le présent rapport, la recherche de nouveaux apports externes pour l'irrigation est en cours de réflexion. L'un des projets envisage d'utiliser le canal d'assainissement, non plus comme un ouvrage de drainage mais permettant l'apport d'eau en provenance du Rhône.

Tous ces éléments permettent de voir à quel point la question du (des) rôle(s) joué(s) par les zones humides peut être au centre des politiques d'aménagement territorial. Les réflexions quant à la « renaturation » de ces territoires semblent aller bien au delà d'ambitions uniquement naturalistes puisque les enjeux qui sont identifiés, depuis le chapitre sur l'irrigation, questionnent l'ensemble du système hydrologique.

IV.3.3. Assainissement et marais relictuels

Situés en rive gauche du canal principal d'assèchement de la vallée des Baux, ces marais sont alimentés par l'intermédiaire de brèches dans la berge de ce dernier. Ils sont assainis de différentes manières, suivant qu'ils soient équipés de station de pompage (Joyeuse garde, Barbegal), ou non (écoulement gravitaire ou aucun système d'assainissement – marais de l'Ilon).

Les conclusions quant à l'assainissement des marais de l'Ilon ouest rejoignent celles apportées dans la partie *IV.2.3. Impact des eaux agricoles sur un système de marais relictuel*. La station de pompage située sur les marais de l'Ilon ne fonctionnant plus, l'assainissement du site se fait de manière gravitaire, par les même canaux qui apportent l'eau. La différence entre le niveau d'eau dans le canal et le niveau d'eau dans les marais est le facteur déterminant le sens des échanges.

Apparaît donc une vision contradictoire de l'utilisation de ces marais relictuels où l'initiative individuelle tend vers la mise en place d'ouvrages permettant de limiter l'entrée d'eau en période estivale pour préserver la roselière alors que la « volonté public » serait plutôt de permettre un libre transit de l'eau vers ses milieux. La proposition formulée dans le plan de gestion des marais de l'Ilon [A. ROCHA FRANCE, 2010] consiste en la fermeture des brèches de la digue est du marais suivie de la mise en place d'une martelière permettant l'entrée d'eau quasi permanente sur le site mais qui doit rendre possible l'assèchement estival régulier (tous les 2 à 4 ans). Un planning de gestion devra donc être mis en œuvre. Il serait intéressant que le modèle des marais de l'Ilon ouest puissent simuler l'effet d'une crue telle que celle de 2003 sur le nouvel aménagement des marais. Quelles seront les conséquences sur la quantité d'eau stockée et sur les temps de remplissage et de vidange du marais.

En conclusion sur l'assainissement :

La topographie et la géologie particulière de la vallée des Baux entraîne la formation d'une zone marécageuse dans les parties les plus basses du territoire. La création du réseau d'assainissement à permis de gagner sur ces terres quelques centaines d'hectare de parcelles cultivables. L'ensemble des eaux est conduit vers la mer par l'intermédiaire du canal d'assèchement de la vallée des Baux, en rejoignant le système Vigueirat – Arles à Bouc.

Le fonctionnement de ce système semble fortement influencé par la gestion du barrage anti-sel (GPMM) de Fos sur Mer. Par effet de retro-action, son impact a pu être mis en évidence dans les scénarios de l'étude hydraulique [PNR ALPILLES & BRL INGÉNIERIE, 2008].

Très peu de données utilisables sont disponibles sur ces deux systèmes interconnectés (Baux & Vigueirat - Arles à Bouc). La multiplication des acteurs et des enjeux intervenant sur ces ouvrages rend difficile toute forme de gestion globale [SMGAS, 2010].

La crue de 2003 a mis en évidence les risques liés à ces ouvrages ainsi que la capacité d'écrêtement des crue des anciens marais des Baux. De cet épisode est né, chez quelques propriétaires agricoles, une volonté de restauration de leurs parcelles en marais. Le coût financier de l'entretien des ouvrages ainsi que le nouveau projet d'irrigation tendent actuellement à remettre en question ce système de drainage. Cela a conduit à la mise en place d'une concertation globale sur le territoire : *envisager l'avenir des anciens marais des Baux,* animée par l'association A. Rocha France.

Après avoir identifié leurs provenance et quantifié les écoulements qui rejoignent le réseau d'assainissement, tout l'enjeu sur ce territoire sera d'avoir une action globale et concerté sur la vallée des Baux d'une part, et qui soit compatible avec la gestion et les problématiques du système Vigueirat / Arles à Bouc d'autre part.

V. CONCLUSION GÉNÉRALE : VERS UNE VISION GLOBALE ?

Le chapitre précédent a permis de tirer plusieurs conclusions générales sur le milieu ;

- Les anciens marais des Baux sont situés sur un territoire aux intérêts divergents et parfois contradictoires. Les enjeux et problématiques y sont nombreuses et dépassent largement les limites du bassin versant topographique ;
- Les caractéristiques naturelles (géologie, topographie …) et les actions anthropiques (systèmes d'irrigation et d'assainissement) sur ce territoire entraînent une complexification considérable des processus hydrologiques et hydrogéologique. La connaissance et la maîtrise du cycle de l'eau au regard des particularités du territoire est rendu d'autant plus difficile ;
- La connaissance du fonctionnement hydrologique de ce territoire repose essentiellement sur l'observation empirique de phénomènes. Il existe très peu de données mesurées de débits, volumes ou niveaux d'eau qui permettraient de quantifier précisément les processus en jeu ;
- Ce territoire est dans une dynamique de mutation. Dynamique induite (volontés individuelles de restauration) mais aussi parfois subie (réorganisation possible de la gouvernance autour des nouveaux usages et fonctions attribuées aux marais et ouvrages hydrauliques).

Cette dernière partie, propose une conclusion et une discussion générale autour des objectifs fixés au début de la mission et au regard des conclusions du chapitre précédent. Sans remettre en cause l'intérêt de la modélisation, il s'agit d'insister ici sur le fait que la réalisation de modèles doit s'appuyer sur un ensemble de données mesurées afin d'obtenir une représentation la plus proche possible du système étudié. Or, la littérature disponible sur ce territoire insiste déjà depuis plusieurs années sur le manque de suivis qui ne permet pas une caractérisation précise du fonctionnement hydrologique. Le tableau en page suivante propose une vision globale des données minimales, par thématiques et par échelle d'analyse à obtenir en préalable à la réalisation d'un modèle. La localisation géographique des mesures est proposée dans le document 16 (cf. *banque de documents*).

Tableau XX: Proposition de suivis hydrologiques pour caractériser le territoire

Code	Thématique	Échelle	Remarque
	Climat	VdB	Données disponibles auprès de Météo-France
Irr	Irrigation	VdB	Suivi des quantités réelles apportées en continu sur le canal d'irrigation de la vallée des Baux
Ass1	Assainissement	SP-Fos	Suivis des niveaux sur le canal d'Arles à Bouc et le canal de vidange
Ass2	assainissement	VdB	Suivis des niveaux dans le canal d'assèchement de la vallée des Baux
Ass3	Assainissement	VdB	Suivis des volumes pompés pour l'assainissement des marais asséchés et relictuels
Hyd1	Hydrologie	VdB	Ré-activer les stations de mesures sur les gaudres du versant sud-Alpilles
geol	Hydrogéologie	VdB	Caractérisation des nappes profondes et superficielles du territoire (analyse isotopique, suivis piezométrique, inventaire des sources et des laurons
	Occupation des sols	VdB	Suivre plus finement l'évolution de l'occupation des sols au sein du périmètre irrigué et les modes d'irrigation (teledetection)

Cet ensemble de suivis est un préalable minimum à la compréhension du fonctionnement du territoire. Toutefois, le coût induit par un tel programme de mesures apparaît assez conséquent et il ne pourra pas être soutenu uniquement par la Tour du Valat dans le cadre du projet Eaux et Territoires. L'acquisition de ces données, leur analyse et leur mise à disposition au sein d'une base globale sur le système Vigueirat – Arles à Bouc (voir même Durance) permettrait de répondre à de nombreuses problématiques actuelles :

- Quelles sont les quantités d'eau en jeu sur le territoire de la vallée des Baux ? Comment influencent-t-elles et comment sont-elles influencées par le système Vigueirat / Arles à Bouc ? Ces considérations rejoignent les problématiques de protection des personnes et des biens et doivent permettre la réalisation d'actions préventives ;
- Quelles sont les quantités d'eau apportées depuis la Durance et comment interviennent-elles dans le fonctionnement hydrologique des marais relictuels ? Ces derniers sont le centre de nombreuses réflexions quant à leur avenir. Leur valeur écologique est reconnue (Natura 2000) et des plans d'actions sont élaborés. Certaines de ces actions s'intéressent directement à la gestion hydraulique des sites alors qu'il n'est pas possible encore de quantifier réellement d'où vient cette eau ;
- Quelles sont les quantités d'eau disponibles pour les différents usages ? Au vu des difficultés actuelles d'entretien et d'exploitation des ouvrages, ces informations pourraient être le support à une restructuration de la gouvernance sur ce territoire ;
- Quelle est la part de la ressource en eau propre au territoire ? Les objectifs de gestion durable de la ressource en eau et de sécurisation de cette dernière devraient, au préalable, s'appuyer sur la connaissance des ressources intrinsèques au territoire ;
- Enfin, ces informations permettraient d'identifier, à priori, quel sera l'impact d'une modification des modalités de gestion (changement d'occupation du sol, changement de pratiques d'irrigation …), sur les autres compartiments du milieu.

L'objectif final est en réalité de donner, au(x) gestionnaire(s), les moyens de mettre en place des actions préventives sur le territoire : *d'arrêter de payer par facture pour travailler de plus en plus avec des devis* [LAURENT PHILLIPOZI, PNR ALPILLES, 8 JUIN 2011, COMMUNICATION PERSONNELLE].

Si les informations disponibles ne sont pas en mesure de quantifier les processus, elles permettent toutefois une conceptualisation générale des systèmes sur le territoire. L'approche multi-scalaire permet d'identifier trois ordres systémiques sur lesquels la compréhension des processus hydrologiques pourrait s'appuyer :

- **Rang 1** : correspond à l'échelle Serre-Ponçon – Fos sur Mer. Cette échelle de modélisation n'intégrerait que les ouvrages et canaux principaux : partiteurs, canal d'irrigation depuis Eyguière, branches du canal d'irrigation, canal de vidange siphon de Montcalde, canal d'Arles à Bouc, Vigueirat et barrage anti-sel, canal de haute Crau (cf. *Banque de documents* : document 17) ;

- **Rang 2** : il s'intéresse, à l'échelle du bassin topographique des marais des Baux, aux relations entre les gaudres, canaux d'irrigation et d'assainissement, les nappes superficielles et profondes avec les systèmes de rang 3 (cf. *Banque de documents* : document 18) ;
- **Rang 3** : ces systèmes résultent d'un découpage entre les sous bassins versants topographiques, les caractéristiques d'occupation du sol, les périmètres des ASA et ASF. Cinq systèmes de rang 3 peuvent être proposés sur le territoire :
  - ***Les systèmes naturels*** : talus de Crau, versants des Alpilles. Ils correspondent à des espaces ni assainis, ni irrigués. Ils seront drainés soit par des ruissellements diffus (talus de Crau), soit par les gaudres (Alpilles) ;
  - ***Les systèmes irrigués*** : situés sur le piémont, ils bénéficient des apports d'eau d'irrigation et des précipitations. Suivant le mode d'irrigation, une partie des eaux rejoindra la nappe souterraine, une autre sera utilisée par les plantes et enfin, un certain volume rejoindra en colature le système de drainage ;
  - ***Les systèmes urbains*** : Il pourront aussi bénéficier des eaux d'irrigation. Une quantité moindre des eaux rejoindra alors la nappe. Ils sont surtout caractérisés par des ruissellements important issus des précipitations, qui rejoindront le réseau de drainage ;
  - ***Les marais asséchés*** : ils sont caractérisés par un système de drainage important qui leur permet d'envoyer les eaux, par pompage vers le canal principal d'assèchement ;
  - ***Les marais relictuels*** : situés au sud du canal d'assèchement, ils communiquent avec se dernier par des brèches dans la digue. Leur alimentation en eau provient donc de ce dernier, des précipitations directes, des ruissellements sur le talus de Crau et des résurgences de la nappe de Crau (cf. *Banque de* documents : document 19).

Une tentative de conceptualisation graphique de l'emboîtement de ces ordres systémiques est proposées dans la banque de documents (*documents 17 à 19*). Cette vision du territoire permet d'identifier facilement les nœuds hydrauliques : barrage anti-sel, siphon de Montcalde, partiteur d'Eyguière … qui constituent les conditions limites amont et aval aux différentes échelles d'analyse. Derrière ces aspects purement hydrauliques, un ensemble de nœuds conflictuels liés à la gouvernance ont pu être mis en avant.

Dans un premier temps, ce territoire semble connaître les mêmes problématiques que celles identifiées sur le système Vigueirat / Arles à Bouc [SMGAS, 2010], à savoir une multiplication des acteurs et un cloisonnement à leurs thématiques qui induit une approche sectorielle de la gestion de l'eau. Approche qui pourrait se retrouver confrontée à une multiplication des périodes de crises (déficit ou excès d'eau) d'après les prévisions globales du changement climatique. Or, de nombreux projets sont actuellement en réflexion sur des thématiques particulières (sécurisation les apports d'irrigation, restauration des marais) alors que les provenances et les volumes en jeu ne sont pas encore maîtrisés.

Gouvernance aussi qui pourrait se restructurer autour des nouveaux usages de l'eau, autant sur les canaux d'irrigation que d'assainissement et sur les anciens marais. Les services induits rendus par les différents systèmes au territoire : recharge de la nappe, apports d'eau brute, lutte contre les incendies, écrêtement des crues, activités de loisirs, assainissement pluvial … sont confrontés aux difficultés d'entretien et d'exploitation des ouvrages ou des milieux eux même (difficultés souvent financières). Des études récentes sur les externalités liées aux systèmes d'irrigation sur des territoires proches [LADKI, 2004], ont posé la question de la manière de contribuer financièrement à l'utilisation de ces services induits pour l'entretien et l'exploitation de ces ouvrages ou de ces milieux. Si ces possibles évolutions sont uniquement énoncées ici, il conviendra aux socio-anthropologue de l'axe A de vérifier si ces affirmations joueront un rôle quant à l'organisation de la gouvernance sur cette thématique.

Apportées à une échelle finalement plus globale que la mutation même des marais, cette question de la gouvernance semble toutefois d'une importance majeure étant donné que ses milieux sont actuellement la résultante de l'ensemble du système et des modifications qu'il a subies. Quelle est la place des acteurs de l'environnement dans les processus décisionnels sur le territoire ? Comment cette place sera-t-elle amenée à évoluer ? Dans l'objectif d'établir une vision globale sur se territoire, de le représenter dans sa globalité en intégrant l'ensemble de ses particularités, quel est l'acteur qui a le plus de légitimité à le porter ?

Cette synthèse entraîne finalement plus de questions qu'il ne s'en posaient au départ. La façon la plus cohérente d'y répondre est de s'appuyer sur un ensemble de données fiables et analysées dans leurs globalité. La mise en place d'un programme de suivis dépasse largement le cadre du projet mais sera justifiée pour accompagner le territoire et les acteurs dans les possibles mutations auxquelles ils pourraient être confrontés.

Une approche similaire sur les anciens salins de Giraud (autre site prospecté par le projet) permettrait de voir comment l'Etat, en tant que propriétaire foncier (non plus en tant de pouvoir régalien et financeur), accompagne la mutation de cet espace. La confrontation des deux milieux pourrait être un élément de réponse à l'une des questions que se posent les gestionnaires sur la mutation des anciens marais des Baux : doit-on attendre et compter sur l'intervention du pouvoir public ou accompagner les initiatives privées en privilégiant l'aspect « boule de neige ». Et tirer de ces conclusions : quelle est la méthode la plus efficace, voir la plus efficiente, de gestion des zones humides : territoires aux rôles multiples, au fonctionnement souvent complexe et à l'avenir incertain.

Références citées

A.ROCHA FRANCE, 2010. Plan de gestion des Marais de l'Ilon Ouest 2010 – 2015 : volet 1. Diagnostique du site. 54 p.

AHMAD, A., KHAN, S., RANA, T., 2007. System dynamics approach for modelling seasonality of river flows. **Dans :** OXLEY, L. & KULASIRI, D. (EDS). MODSIM 2007 International congress on modelling and simulation. Modelling and Simulation Society of Australia and New Zealand, 10 – 13 Décembre 2007, Christchurch, New Zeland. 7 p. **[en ligne]**
Disponible sur <http://www.mssanz.org.au/MODSIM07/MODSIM07.htm> (consultée le 09/08/2011)

ASSALI, O., 2008. Étude technico-financière de la réhabilitation du canal d'irrigation de la Haute Crau dans le cadre d'un schéma directeur (Arles, Bouches du Rhône). Diplôme d'ingénieur de l'ENGEES. Strasbourg : ENGEES. 106 p.

BRUNETON, H., PROVENSAL, M., LEVEAU, P., e*t Al*., 1998. Le marais des Baux archéologie et paleoenvironnements. *Méditerranée*, Tome 90, n°4, pp. 31-40

CHAUVELON, P. & PICHAUD, M., 2007. Modélisation du fonctionnement de l'hydrosystème Vaccarès dans l'île de Camargue en situation de crise hydro climatique, rapport final, IMPLIT, GIZCAM, LITEAU 2. Réponse à l'APR GICC 2003, Programme GICC -2. 51 p.

CHENEVAZ, M., 2011. Etude et caractérisation de la dynamique paysagère appliquées aux zones humides : les marais des Baux et les anciens salins de Giraud, territoires en mutation. Mémoire de fin d'étude de master professionnel Gestion des Eaux et des Milieux Aquatiques. Arles : Université de Provence, 78 p.

CONSEIL GÉNÉRAL DE L'ENVIRONNEMENT ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, 2008. Expertise du schéma de protection contre les crues du secteur Tarascon-Arles : Partie technique. 73 p.

CONTRAT DE CANAL CRAU SUD ALPILLES, 2010. État des lieux partie I : le territoire. 907 p.

CONTRAT DE CANAL CRAU SUD ALPILLES, 2010. État des lieux partie II : les structures. 248 p.

EL MAY, S., 2010. Rapport d'étude pratiques agricoles et perspectives de gestion durable sur les marais des Baux de Provence. Mémoire du master acteur du développement durable en régions chaudes. Montpellier : SupAgro. 169 p.

HOLMQUIST WESTERBERG V., LIFRAN R., OLSEN S.B., 2010. To restore or not ? A valuation of social and ecological functions of the Marais des Baux wetland in Southern France. *Ecological Economics*, vol.69, pp. 2383-2393

HYDROSOL INGÉNIERIE, 2000. Canal d'irrigation de la vallée des Baux : Étude du mouvement général des eaux – bilan hydraulique.

LADKI, M., 2004. Les externalités de l'irrigation gravitaire : Identification, Quantification, Évaluation, Gestion. Diplôme d'ingénieur de l'ENGEES. Strasbourg : ENGEES. 210 p.

LEVEAU, P., 1999. L'hydrologie du Rhône, les aménagements du chenal et la gestion territoriale de ses plaines en aval d'orange. *Gallia*. Tome 56, pp. 99-108

LOUBET, A., *et Al*., en préparation. Water management of a mediterranean lagoons complex in a context of global changes : the île de Camargue

LPED, IMEP, GIEST, 2011. Colloque international - L'eau agricole en méditerranée : quels enjeux pour quels services? 20-21 janvier 2011, Marseille **[en ligne]**
Disponible sur <http://www.lped.org/actes-du-colloque-eau-agricole/presentation.html> (consultée le 09/08/2011)

MAISON RÉGIONNALE DE L'EAU PACA, 2010. État des lieux de la connaissance de l'eau sur le territoire du Parc Naturel Régional des Alpilles. 170 p.

MEDCI GRAND SUD-EST, 2008. Étude des effets du changement climatique sur le grand Sud-est, Étape 1 : rapport PACA. 277 p.

MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, ATELIER TECHNIQUE DES ESPACES NATUREL, DÉLÉGATION INTERMINISTÉRIELLE À L'AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE ET À L'ATTRACTIVITÉ RÉGIONALE, *et Al*., 2005. Outils juridiques pour la protection des espaces naturels **[en ligne]**. Paris, Medd-Aten.
Disponible sur: <http://bibliothequeenligne.espaces-naturels.fr/outilsjuridiques/> (consultée le 14/06/2011)

MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DE L'ÉNERGIE, DU DÉVELOPPEMENT DURABLE ET DE LA MER, CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE, CEMAGREF, 2010. Second appel à proposition de recherche : Programme Eaux et Territoires, Année 2010. 16 p.

MOORE, K., 2007. Climate change impacts on the catchment contribution to lake water quantity and quality. *Digital comprehensive summaries of Uppsala dissertation from the faculty of science and technology,* 347, 36p.

PNR ALPILLES & BRL INGÉNIERIE, 2008. Étude hydraulique du bassin versant sud des Alpilles. Phase 1 à 6. 979 p.

ROUX, D., 1999. L'aménagement de la Durance et du Verdon met-il la Provence à l'abri de la sécheresse ? **Dans :** MARIÉ, M., LARCENA, D., DÉRIOZ, P., Coord. Culture, usages et stratégie de l'eau en méditerranée occidentale : tensions, conflits et régulations. Paris : Harmattan, 543 p.

ROUX, D., 2003. Un exemple de gestion concertée en période de sécheresse : La bassin de la Durance dans le Sud-Est de la France (2002). **Dans :** AFEID. 54ème Conseil Exécutif de la CIID, 20ème Conférence Régionale Européenne, 14-18 septembre 2003, Montpellier **[en ligne]**

Disponible sur <http://afeid.montpellier.cemagref.fr/mpl2003/Conf/Roux.pdf> (consultée le 09/08/2011)

SCHOLZ, R.W., MIEG, H.A., OSWALD, J.E, 2000. Transdisciplinarity in groundwater management towards mutual learning of science and society. *Water, Air, and Soil Pollution,* 123, pp. 477-487

SEGUIER, J., 1981. Étude des relations entre les écosystèmes de sources, de ruisseaux et de marais dans un complexe limnique du nord de la Crau (B.d.R). Thèse de doctorat de 3ème cycle (zooécologie). Marseille : Faculté des sciences et techniques de Saint-Jérome, 246 p.

SYNDICAT MIXTE DE GESTION DES ASSOCIATIONS SYNDICALES DU PAYS D'ARLES, 2010. Rapport de synthèse des études portant sur le système Vigueirat – Canal d'Arles à Bouc. 176 p.

TOUR DU VALAT, 2010. Réponse à l'APR Eaux & Territoires – Marais des Baux, Salin – D'un marais à l'autre, marais en mutation. 28p.

TOUR DU VALAT, 2011. Rapport annuel 2010. 66p

VILLENEUVE, J.P., HUBERT, P., MAILHOT, A., ROUSSEAU, A.N., 1987. Hydrological modeling and water management. *Revue des sciences de l'eau*, n°spécial(1998), pp. 19-39