Mention : Sciences de l'Environnement Terrestre
Spécialité : Sciences de l'Eau

Institut Pythéas
Observatoire des Sciences de l'Univers
Aix*Marseille Université

Aix*Marseille université

Fondation de la Tour du Valat
Institut de recherche sur la conservation des zones humides
Le Sambuc
13200 Arles

Tour du Valat



IMPACTS DE LA GESTION DE L'EAU EN CAMARGUE SUR LES SERVICES ECOSYSTEMIQUES

Projet SERVISCALES

Année 2018-2019

RAPPORT DE STAGE DE MASTER PROFESSIONNEL

MELANIE TREMOUREUX

MAITRE DE STAGE : ILSE GEIJZENDORFFER – CO-ENCADRANT : CEDRIC GAUCHEREL
TUTEUR ENSEIGNANT : EVELYNE FRANQUET

DATE DE SOUTENANCE :
Jury : Georges OLIVARI, Patrick GRILLAS, Jean-Luc BOUDENNE, Evelyne FRANQUET

Résumé non technique

Cette étude se focalise sur le socio-écosystème méditerranéen de la Camargue : Ici, la riziculture, par son apport conséquent en eau douce, pourrait contribuer activement à la conservation de la biodiversité et aux services écosystémiques associés. À travers cette étude, nous avons identifié un ensemble de 16 services écosystémiques afin de déterminer l'impact d'une réduction de l'eau douce sur l'ensemble du socio-écosystème de la Camargue. Les méthodes appliquées incluent le développement d'une représentation visuelle de chacun des services, une recherche bibliographique approfondie, une phase d'échange auprès de 16 experts scientifiques et techniques dans différents domaines et une phase d'entretiens avec huit acteurs locaux visant à valider les représentations de ces services et d'étudier les évolutions de ces derniers dans le contexte de notre scénario.

Cette étude a permis d'identifier et visualiser les flux de services et les éléments principaux (biophysiques, bénéficiaires et responsable de gestion) sur lesquels ils dépendent. Les résultats démontrent que la plupart des services sont liés en s'appuyant sur des éléments communs pour leur flux. Ceci démontre bien la complexité du socio-écosystème camarguais. Cette complexité est la source et le facteur moteur de la richesse culturelle et de la biodiversité qui se trouve actuellement en Camargue.

La méthode appliquée dans mon étude a permis une première analyse mais a démontré la difficulté à capturer plusieurs dimensions dans les changements attendus. En effet, les pressentis des acteurs locaux n'ont pas pu être suffisamment quantifiés dans les changements par type de service, d'occupation du sol et des dimensions à la fois spatiales et temporelles. Pour capturer les augmentations, diminutions et les changements de nature des services dans une prochaine étude, une approche comprenant l'évolution de la nature, une plus grande diversité d'acteurs locaux et de services écosystémiques pourrait être envisagé.

This study focuses on the Mediterranean socio-ecosystem of the Camargue. Here, the production of rice, by its substantial use of fresh water, could actively contribute to the conservation of biodiversity and the associated ecosystem services.

We identified a set of 16 ecosystem services to determine the impact of a reduction of fresh water throughout the socio-ecosystem of the Camargue. The methods applied include the development of a visual representation of each of the services, a thorough bibliographic research, interviews with 16 technical and scientific experts and interviews with eight local actors to validate the representation of these services and to estimate their evolution over time given the scenario.

This study allowed for the identification and visualization of the flows of the services and their principal components on which they depend, with components being either biophysical, beneficiaries or managers. Results demonstrate that most ecosystem services are connected through the components that they share and that their flux relies on. This demonstrates the complexity of the socio-ecosystem

of the Camargue. This complexity is the source and driver of the wealth of biodiversity and cultural appreciation that we find in the Camargue today.

The method applied in my study allowed a first analysis but demonstrated the difficulty to capture several dimensions in the expected changes. For this purpose, the expectations of the local actors couldn't be sufficiently quantified in the changes by type of services, land use and dimensions both spatial and temporal.

The method applied allowed for a first analysis. To capture increase, reduction or change in the nature of specific ecosystem services in a follow up study, an approach could be envisioned that would allow to cover a greater diversity of local actors and ecosystem services.

Remerciements

Je voudrais commencer par remercier Ilse Geijzendorffer pour m'avoir permis d'effectuer mon stage à la Tour du Valat. Son soutien, sa patience et sa disponibilité m'ont beaucoup aidé. Merci également à Olivier Boutron pour son aide tout au long du stage. Merci aux chercheurs (Olivier Pineau, Delphine Nicolas, Hugo Fontes, Olivier Boutron, Pascal Contournet, Philippe Lambret, Delphine Marobin, Emilie Lunalaurent, Thomas Blanchon, Carole Leray, Samuel Hilaire, Jocelyn Champagnon, Arnaud Béchet, Patrick Grillas, Damien Cohez et Nicolas Beck), aux riziculteurs (Philippe Poulette, Bernard Poujol, Bruno Varin, Jacques Sayn-Urpar, Sergé Gareni, Bertrand Mazel et Jacques Rozière) et au chasseur/pêcher Patrick Tayolle d'avoir activement participé à cette étude. Je tiens également à remercier les nombreuses personnes de la Tour du Valat m'ayant permise de participer aux sessions de baguage des ibis et des spatules, d'une journée de pêche ainsi que toutes les petites aides annexes pour les cistudes, les odonates… Merci à Olivier Pineau pour cette balade à cheval tout à fait inoubliable, à Christian Perennou pour ses connaissances intarissables des meilleurs sentiers des Alpilles, à Roberta Fausti pour son aide à la recherche documentaire, à sa disponibilité et à l'accès à ce formidable puits d'information qu'est la bibliothèque de la Tour, aux stagiaires et tout particulièrement à Maude, soutien indéfectible pendant ces six derniers mois.

Avoir été stagiaire à la Tour du Valat a été une expérience incroyable et très enrichissante qui m'a permis non seulement de découvrir la richesse de la Camargue mais également de consolider mes envies et projets à venir.

Table des matières

Résumé non technique 1
Remerciements 2
Structure d'accueil 4
Introduction 5
Méthodes 8
Site d'étude 8
Méthodes d'analyse 9
Sélection des services écosystémiques 10
Flux des services écosystémiques 12
Résultats 14
Visualisation des services 14
Scénario de diminution de l'apport d'eau douce 19
Validation et perceptions contrastées sur le service écosystémique de « production de nourriture végétale » 21
Conséquences potentielles pour les services écosystémiques 24
Réalisme du scénario et pistes d'évolution 27
Discussion 27
Conclusion 30
Bibliographie 31
Annexes 33

Structure d'accueil

Cette étude, co-gérée par la Tour du Valat, l'unité de recherche botAnique et Modélisation de l'Architecture des Plantes et des végétations (UMR AMAP) et l'INRA, appartient à un projet plus large d'ECOSERV. L'objectif est d'identifier l'impact d'un scénario de réduction du pompage de l'eau douce sur les services écosystémiques de la Camargue.

La Fondation de la Tour du Valat est un institut privé de recherche fondé par Luc Hoffmann en 1954. Elle se situe au sein du Parc Naturel Régional de Camargue, dans le département des Bouches-du-Rhône. Cet organisme développe des programmes de recherche dans de nombreux domaines (ornithologie, écologie de la santé, géomatique, hydrologie…) et participe à la gestion intégrée des zones humides méditerranéennes afin d'enrayer leur destruction. Les différentes actions menées s'articulent autour d'un désir de « mieux comprendre les zones humides pour mieux les gérer ».
Les zones humides sont menacées notamment par les activités humaines et amènent la Tour du Valat à introduire dans ses programmes les enjeux socio-économiques du territoire afin de concilier les activités humaines et la protection du patrimoine naturel. Parmi les trois départements de recherche, le département Observatoire des Zones Humides Méditerranéennes (OZHM) a pour objectif d'analyser l'état et les tendances des zones humides méditerranéennes, les services écosystémiques et de promouvoir leur inclusion dans les prises de décisions politique et de gestion.

Introduction

L'Île de Camargue, ce presque estuaire, se définit à la fois par son encerclement entre le petit et le grand Rhône (Figure 1) et le fort sentiment d'indépendance et d'héritage culturel de ses habitants. Territoire soumis à d'importants enjeux, la Camargue pose la problématique principale d'une gestion de l'eau conflictuelle, expliquée par la structure géomorphologique du delta où efflorescences salines et climat méditerranéen limitent l'exploitation et la diversification des activités agricoles (Heurteaux 1970).

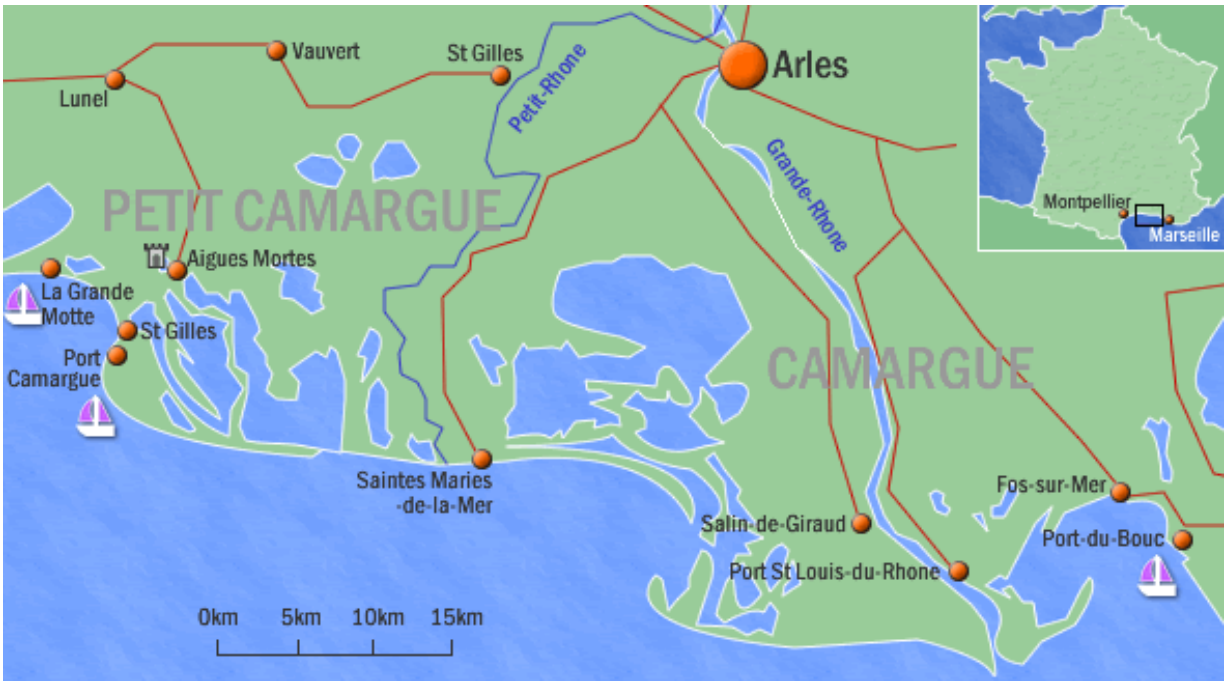


Figure 1: Représentation de la Camargue.

La Camargue se retrouve donc impactée par les activités anthropiques et notamment l'adoucissement des eaux pour la riziculture (Blondel 2013), complexifiant considérablement la gestion de l'eau selon les intérêts de chaque acteur.

En effet, la longue période d'endiguement du Rhône, achevée en 1869 (Blondel 2013), a permis l'installation des hommes et forme une protection efficace contre des crues anciennement dévastatrices. Par ailleurs, la gestion de l'eau se place encore aujourd'hui en élément central vis-à-vis des capacités culturales des sols et conserve plus d'un tiers de sa surface en milieux naturels, renforçant le sentiment de « nature sauvage » (Figure 2) tant apprécié des touristes et des locaux (Delmotte 2011).



Figure 2: Photo de la "nature sauvage" présente en Camargue © Isabelle Blanchemain | Flickr

Contrainte à la fois par les besoins extérieurs liés au marché mondial et au patrimoine culturel véhiculé par le marquis de Baroncelli (Allard & Leveau 2002), la Camargue s'est dotée d'un panel d'acteurs aux besoins paradoxalement complémentaires et contradictoires permettant d'entretenir une diversité de milieux sur un territoire contraint par ses important taux de salinité. Si ces activités peuvent d'emblée paraître de diverses natures, elles sont en réalité intrinsèquement liées les unes aux autres, principalement à travers la gestion de la ressource en eau douce. Sans influencer à même puissance l'échelle du delta, ces activités modifient la structure du sol et l'état des nappes (Heurtefeux & Lanzellotti 2008), permettant une plus large diversité de produits tolérant des seuils de salinité moins élevés.

Les services écosystémiques, concept né dans les années 1970, connaît depuis lors un important essor (ex. Fisher et al 2009; Seppelt et al 2011)). Prévus pour s'adapter aux discours économiques, sociaux et politiques (Dufour et al. 2016) et apporter une vulgarisation aisément transmissible, ils visent à fournir des arguments en faveur de la protection de la nature et de montrer la dépendance des sociétés humaines (Roche et al. 2016).

Les services écosystémiques ont été définis par le *Millenium Ecosystem Assessment* (MEA, 2005), évaluation créée par l'apport conjoint de plus de 1 000 experts dans le monde avec une vision anthropocentrée et largement débattue au sein de la sphère scientifique (Schröter et al.

2014). Depuis, leurs définitions et leur nomenclature ont été développées. Après la création de l'*Intergovernmental Platform for Biodiversity and Ecosystem Services* (IPBES), les services écosystémiques ont finalement trouvé leur place en tant que les « *contributions de la nature aux hommes* » (Pascual et al. 2017). L'utilisation du concept des services écosystémiques pour l'étude de la Camargue permet de mettre en relation biodiversité et activités humaines, à l'image de ce territoire reconnu comme nature sauvage mais aussi maîtrisé par l'homme pour la gestion de la ressource en eau et sa faible urbanisation (Heurtefeux & Lanzellotti 2008).
Par ailleurs, les services écosystémiques sont insérés dans un contexte de durabilité dans le sens où ils s'appuient sur le fonctionnement de l'écosystème et répondent aux besoins humains (Beltrame et al. 2013). Ce contexte s'applique bien à la Camargue, intégrée dans son lien étroit entre maîtrise et protection du territoire.

Afin d'étudier l'ensemble des interactions, les orientations des différents acteurs entre eux et avec leur environnement, l'approche de mon stage consiste en l'étude des services écosystémiques associés à la Camargue et des flux liant les acteurs entre eux. J'ai appuyé mes résultats par une base bibliographique et des entretiens réalisés auprès d'experts spécialisés dans la conservation de la nature et de riziculteurs professionnels situés en Camargue. Ces informations ont servi à la modélisation du système socio-écologique de la Camargue, gérée par ma binôme Amandine Aullo, à Montpellier. Ce modèle tient compte des évolutions et changements des services écosystémiques dans un scénario de diminution des apports d'eau douce, pouvant ainsi prédire des tendances sur plusieurs années.

Ce rapport s'articule en deux grandes parties :
Une présentation et justification des choix des services écosystémiques sélectionnés pour la Camargue après une description du site d'étude et des méthodes d'analyse. Je présente ensuite les éléments qui déterminent les flux de chacun de ces services associés à l'ensemble des acteurs du territoire puis les résultats des entretiens vis-à-vis d'un scénario de diminution du pompage de l'eau. L'objectif de mon étude est de répondre à ma problématique principale : Quels sont les impacts d'une diminution de l'eau douce en Camargue sur les services écosystémiques ?

Méthodes

Site d'étude

La Camargue est un territoire placé sur deux départements (les Bouches-du-Rhône et le Gard) dans le sud de la France et bordant la mer Méditerranée (Figure 1). Elle appartient au delta du Rhône et comprend trois principales communes : Port-Saint-Louis-du-Rhône, les Saintes-Maries-de-la-Mer et Arles (http://parc-camargue.fr). Ce delta couvre 150 000 hectares et sa forme triangulaire est délimitée par Arles, Fos-sur-Mer et le Grau-du-Roi. Il accueille plusieurs infrastructures de protection : la Réserve Naturelle de Camargue, le Parc naturel Régional de Camargue et le Conservatoire du Littoral. Les qualités uniques du socio-écosystème camarguais ayant été reconnues internationalement, il bénéficie sur une partie de son delta du label Ramsar et UNESCO ainsi que des programmes NATURA2000 et des directives Oiseaux et Habitats.

Ce site comprend un grand nombre de milieux et d'acteurs contraint par le climat méditerranéen et la salinité, modelé par l'usage fait sur ses terres tels que les prairies pour l'élevage, la rotation rizicole, les marais de chasse et les milieux protégés. La « Grande Camargue » (voir Figure 3) apparaît comme un territoire fortement contrôlé dans sa gestion de l'eau, avec une source principale d'eau douce issue du Rhône par pompage. L'entretien de l'ensemble de ces infrastructures est aujourd'hui assuré par les différentes ASA (Associations Syndicales Agréées) et agriculteurs proches du Rhône afin d'alimenter les cultures et prairies, les riziculteurs étant les plus demandeurs en eau.

En Camargue, l'eau utilisée pour la production agricole provient de pompages dans le Petit et le Grand Rhône. Plusieurs réseaux de canaux d'irrigation et de drainage permettent à partir de cette eau pompée de mettre en eau les différentes parcelles agricoles et de les drainer. Une partie de l'eau drainée est repompée vers le Rhône, et une autre s'écoule dans certains étangs (Vaccarès, Tampan...). Cette gestion de l'eau a une forte influence sur la nature et la dynamique des habitats présents en Camargue. Ce site est donc très intéressant pour tester le devenir de ces habitats et des différents services écosystémiques en cas d'arrêt ou de diminution des pompages dans le Rhône.

De plus, la Camargue possède une identité culturelle forte, permettant une bonne expression des catégories de services « culturel » tel que les espèces symboliques (flamant rose, taureaux et chevaux) et les sites culturels et patrimoniaux (sansouïres, marais naturels).

Pour notre étude, les limites de la Camargue étudiée sont comprises entre les deux bras du Rhône (Département des Bouches-du-Rhône) (Figure 3) et ne comprennent donc pas la « Petite Camargue ». Ce choix nous permet de nous limiter à la partie endiguée pour le fonctionnement hydrologique.

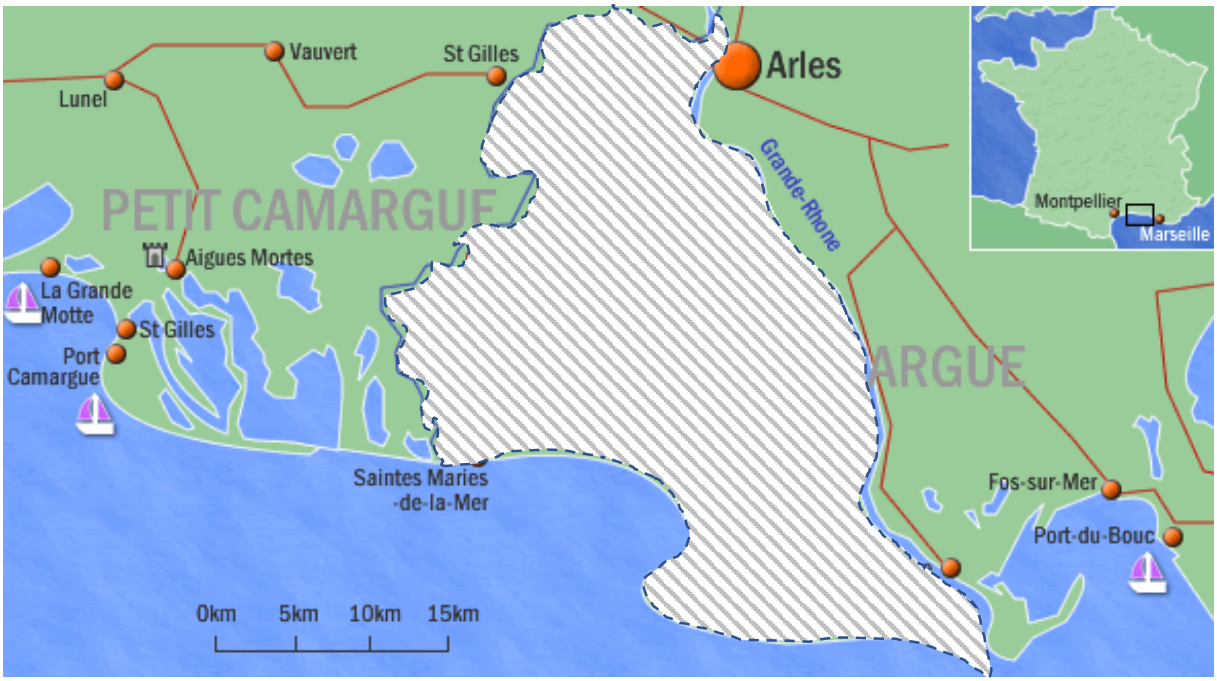


Figure 3: Délimitation du site d'étude.

Cette surface permet de prendre en compte les services écosystémiques à une échelle équivalente au Parc Naturel Régional (PNR) et d'acquérir un intérêt plus marqué de la part des acteurs du territoire.

Méthodes d'analyse

La méthodologie de l'ensemble de cette étude s'est articulée autour de deux axes majeurs. Le premier a consisté à développer une représentation des services écosystémiques adaptés à la Camargue actuelle par une recherche bibliographique. Elle a ensuite été soumise aux experts de la Tour du Valat pour adaptation et validation. La seconde partie a quant à elle visé à identifier les oscillations de ces services dans un scénario de diminution de l'eau douce par l'emploi des représentations précédemment conçues. Un pêcheur/chasseur et sept riziculteurs ont été invité à critiquer le service de « Production de nourriture végétale » afin de valider et/ou adapter cette représentation.

Sélection des services écosystémiques

Pour développer la série de services écosystémiques adaptés à la Camargue, j'ai d'abord utilisé une liste exhaustive présentée sur le site du CICES (*Common International Classification of Ecosystem Services* : version 5.1 datée du 18 mars 2018 (https://cices.eu/resources/).

Une période de concertation avec les partenaires du projet a ensuite permis de compléter d'éventuels manques. J'ai ensuite trié et retiré les services non pertinents pour la Camargue (comme la production de bois) en utilisant les critères suivants :

- Le service doit être fonctionnel et présent en Camargue.
- En rapport avec notre scénario, il doit potentiellement être directement influencé par des changements dans la disponibilité de l'eau douce.

Pour être éligibles, les services en question doivent remplir ces deux critères (pour exemple, la pollinisation remplit la première condition mais pas la seconde). Cela m'a permis de passer de plus de 90 services à 16, représentant les trois catégories des services écosystémiques : approvisionnement, régulation et service culturel.

La liste suivante contient l'ensemble des services sélectionnés pour cette étude et leur définition (Tableau 1) :

Tableau 1 : Tableau des services écosystémiques choisis et adaptés pour la Camargue à partir des définitions du CICES (version 5.1 ; datée du 18 mars 2018 ; https://cices.eu/resources/). Légende catégorie : (A)= Approvisionnement, (R)= Régulation, (C)= Culturel

CAT.	SERVICE ECOSYSTEMIQUE	DEFINITION
A	***Production de nourriture végétale***	Utilisation du sol avec une volonté de production agricole destinée à l'alimentation humaine ou animale (riziculture, maraîchage, vignoble, culture céréalière).
A	***Elevage d'animaux à but d'approvisionnement***	Elevage de taureaux et vaches destinés à l'abattoir.
A	***Prélèvement d'animaux sauvages à usage professionnel***	Pêche professionnelle en lagunes de Camargue.
A	***Prélèvement d'animaux sauvages à usage personnel***	Pêche de loisir en canaux, chasse en marais pour les oiseaux d'eau et chasse au sanglier.
R	***Maintien des populations et habitats***	Ensemble des milieux et espèces typiques de la Camargue.
R	***Stockage/accumulation du carbone***	Séquestration du carbone dans le sol et la végétation.
R	***Cycle hydrologique et régulation des écoulements d'eau (infiltration)***	Intervention des éléments naturels dans l'infiltration de l'eau dans le sol.
R	***Dispersion des graines***	Facteurs biotiques régissant la dispersion des graines.
R	***Contrôle des ravageurs (espèces nuisibles comprises)***	Espèces dommageables aux cultures en Camargue (comprenant sangliers et flamants roses).
R	***Filtration et régulation des conditions chimiques des eaux douces***	Contrôle de la qualité chimique des eaux douces.
R	***Régulation du climat local***	Milieux participant à la régulation de la température à travers l'évaporation de l'eau (lagunes, rizières).
C	***Espèces ayant une signification symbolique***	Comprend notamment les flamants roses, taureaux, chevaux, canards, hérons, aigrettes, moustiques, anguilles et tellines.
C	***Espèces utilisées pour le divertissement ou la représentation***	Comprend les chevaux et taureaux utilisés pour les visites d'élevages ainsi que les fêtes.
C	***Caractéristiques ou fonctionnalités des sites ayant une valeur d'existence***	Comprend les zones ayant un attrait de valeur d'existence pour les habitants.
C	***Caractéristiques des sites considérés comme culturel ou patrimonial***	Comprend les sites protégés.
C	***Caractéristiques de sites pour la pratique d'activités liées à la santé ou au plaisir***	Utilisation de l'environnement pour le sport et les loisirs, pour rester en forme.

Flux des services écosystémiques

Afin d'apporter une meilleure compréhension des acteurs en Camargue et de leurs interactions, j'ai étudié l'ensemble des 16 services écosystémiques en précisant les bénéficiaires et les acteurs décisionnaires dans l'utilisation des terres de chacun d'entre eux. Cette observation a été complétée d'une identification des composantes biophysiques. En utilisant ces deux tableaux, j'ai pu générer des représentations rassemblant acteurs du territoire, composantes biophysiques et flux de matière et monétaire. Ces deux tableaux ont été construits avec l'aide des ressources bibliographiques propres à la Tour du Valat ou présents sur Internet. Cela a permis d'améliorer la cohérence entre les représentations de services et d'appuyer le travail de modélisation en identifiant précisément ceux à privilégier.

La méthodologie suivie pour la création de ces représentations s'est basée sur une répétition de phases de recherche bibliographique et d'entretiens jusqu'à saturation des nouvelles propositions de changements dans les limites des littératures et experts disponibles (*snowball sampling*). Ces représentations visuelles ont ensuite été volontairement simplifiées dans le but de faciliter la modélisation du socio-écosystème camarguais par ma binôme.

Les différentes représentations sont inspirées des structures de réseaux trophiques (Naisbit et al. 2012, Bellmore et al. 2017) et lient acteurs, milieux et composantes biophysiques dans un scénario de fonctionnement actuel de la Camargue (Figure 4).

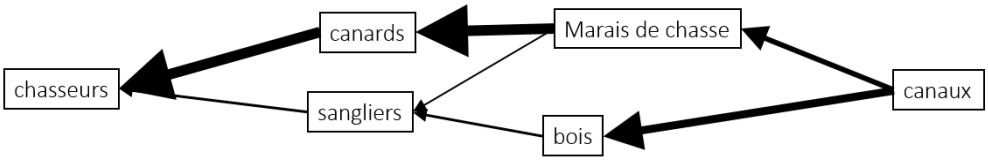


Figure 4 : Exemple de représentation simplifiée du service de « Prélèvement d'animaux sauvages à usage personnel ». La direction de la flèche représente un flux de matériel ou d'argent et son épaisseur la fréquence de confirmation obtenue au cours des entretiens. En cas d'avis contraire, le flux est barré et le nombre affiché correspond à la quantité d'experts en désaccord sur ce point.

L'objectif est de comparer les savoirs présents dans la bibliographie avec les entretiens conduits auprès des experts techniques et scientifiques ainsi que des acteurs locaux par une méthode de triangulation et d'étudier l'évolution des services écosystémiques dans un scénario de diminution de l'eau douce. Deux types d'entretiens pour deux objectifs différents ont été menées, en s'inspirant des méthodes proposées dans la littérature (Longhurst 2003, Whiting 2008) :

Un premier groupe composé des 16 experts scientifiques et techniques de la Tour du Valat, en conduite semi-directive (liberté de parole dans un cadre restrictif) pour compléter ou valider les représentations des services. Les experts ont été sélectionnés pour leurs expériences complémentaires sur leurs domaines de recherche en Camargue. Les entretiens internes durent en moyenne 20 minutes selon le degré de précision et sont composés de questions ouvertes et fermées liées au fonctionnement des flux. Les questions en entretien étaient guidées et illustrées par les représentations (celles présentes en Annexe 1). L'ensemble des données ont été recueillies et étoffent en définitive la validation des flux de chaque service, l'intérêt étant préférentiellement d'obtenir les avis de plusieurs experts par flux.

Un second groupe composé de sept riziculteurs et un chasseur/pêcheur, en conduite semi-directive également. Le but de ces entretiens était de recueillir les comportements des acteurs locaux face à une diminution des apports d'eau douce et leurs connaissances sur la cultivation du riz par la validation et/ou l'ajout d'information dans le service de « Production de nourriture végétale ». Les riziculteurs ont été contactés à la fois à partir des personnes connues de la Tour du Valat et par le Centre Français du Riz afin qu'il transmette la demande aux riziculteurs de Camargue. Chaque entretien dure en moyenne 1h30. Les critères de sélection sont basés sur la disponibilité et le volontarisme des riziculteurs ainsi que leur expérience dans le domaine rizicole et les spécificités de la Camargue.

Leurs opportunités de reconversion par rapport à notre scénario sont récupérées sur la base d'une proposition de transition d'agriculteurs à d'autres spécificités. Ces spécificités ont été préalablement déterminées selon l'histoire de la Camargue et les tendances présentées dans la bibliographique et auprès des experts de la Tour (Figure 5).

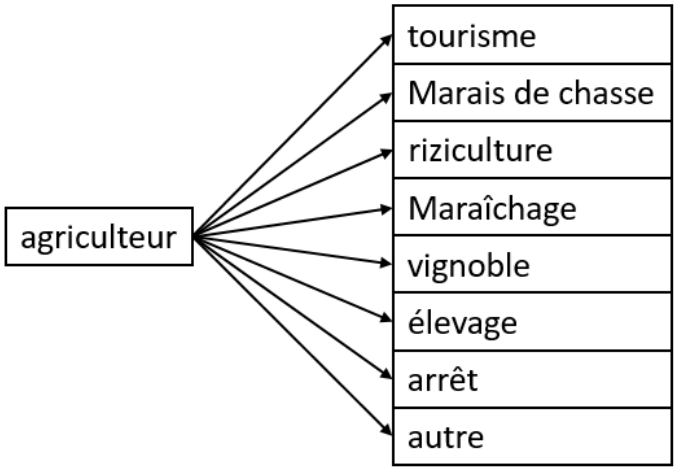


Figure 5: Aide visuelle pour les entretiens décrivant les opportunités de transition des riziculteurs dans un scénario de diminution de pompage de l'eau douce.

Les riziculteurs étaient libres de sélectionner plusieurs reconversions et donner leur avis sur la probabilité de chaque idée proposée pour eux sur leur exploitation ainsi que d'avancer d'autres transitions alternatives. À l'issue de cet entretien, la question du réalisme de ce scénario est posée et se complète d'une idée des potentielles menaces pesant sur leur exploitation.

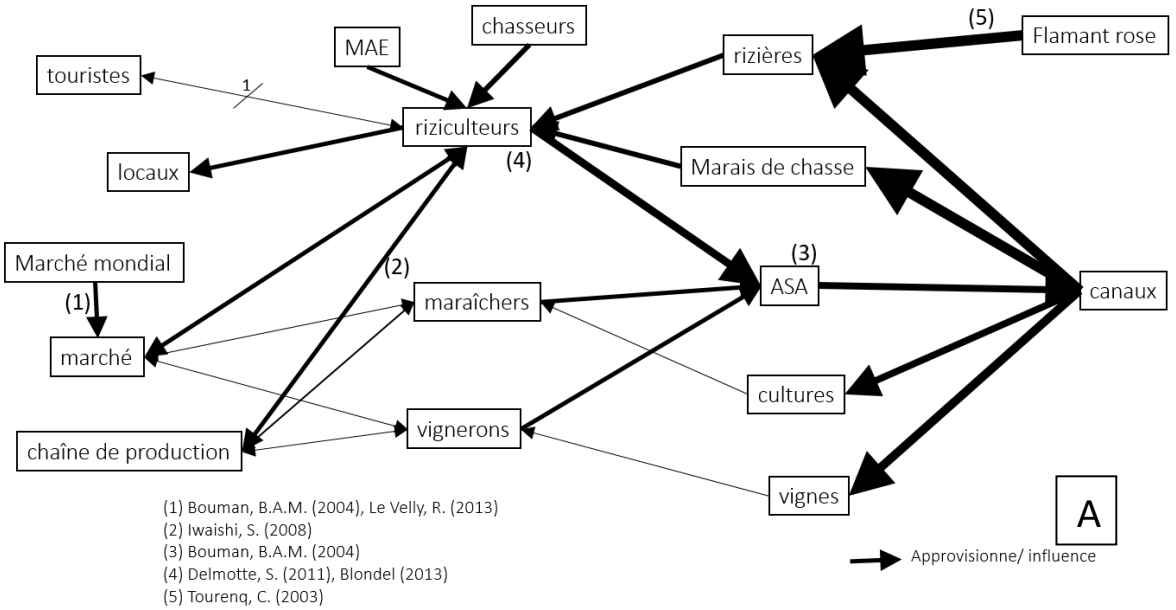
Résultats

Visualisation des services

L'ensemble des recherches effectuées m'a permis de développer des représentations des flux des 16 services écosystémiques. Ces visualisations permettent de comprendre sur quels éléments dépendent les flux de services et comment ils affectent plusieurs services dans le même socio-écosystème. Les boîtes représentent des éléments importants dans le fonctionnement du service dont les composantes biophysiques, les bénéficiaires et les acteurs décideurs. Les flèches et leur direction indiquent les interactions entre les éléments (approvisionnement, influence) et la largeur de ces dernières représente la fréquence de confirmation par les experts de la Tour du Valat. Pour exemple, la Figure 4 présentée précédemment indique que la présence des chasseurs dépend de la présence des oiseaux d'eau et des sangliers. Ces animaux dépendent à la fois de milieux représentés ici par les roselières et les marais de chasse. Cependant, la présence de ces milieux est déterminée par l'apport d'eau venu des canaux.

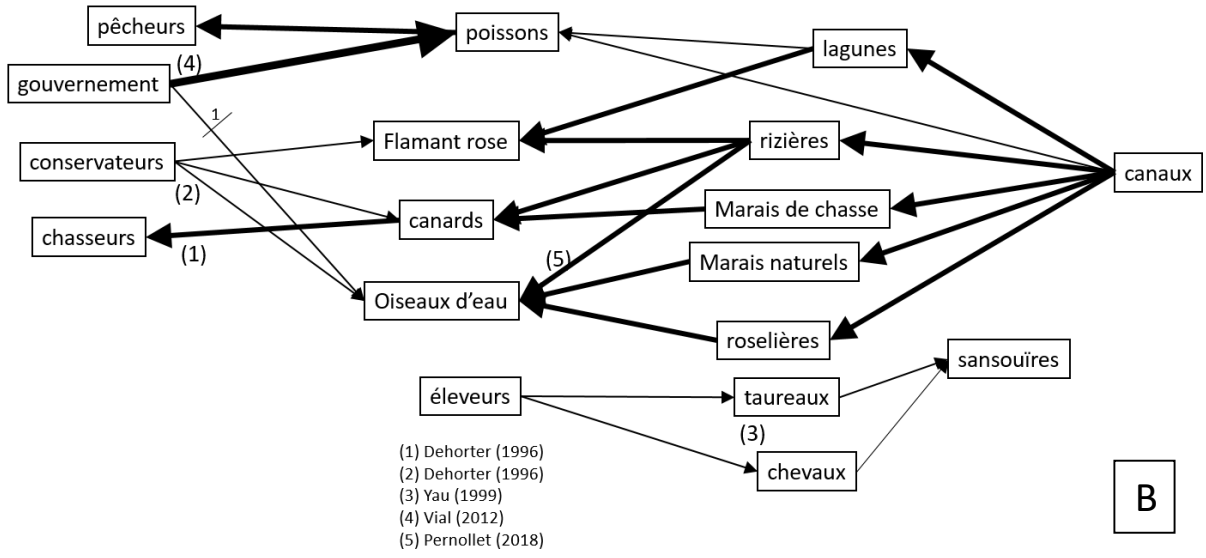
La totalité de ces visualisations sont disponibles en Annexe 1 et les références bibliographiques en Annexe 2. Voici cependant présenté ci-dessous les services de « Production de nourriture végétales » de « Maintien des populations et habitats » et d'« Espèces symbolique » (Figure 6). Ces trois services sont perçus comme des services importants par les acteurs du socio-écosystème camarguais.

Production de nourriture végétale	A



(1) Bouman, B.A.M. (2004), Le Velly, R. (2013)
(2) Iwaishi, S. (2008)
(3) Bouman, B.A.M. (2004)
(4) Delmotte, S. (2011), Blondel (2013)
(5) Tourenq, C. (2003)

Maintien des populations et habitats	R



(1) Dehorter (1996)
(2) Dehorter (1996)
(3) Yau (1999)
(4) Vial (2012)
(5) Pernollet (2018)

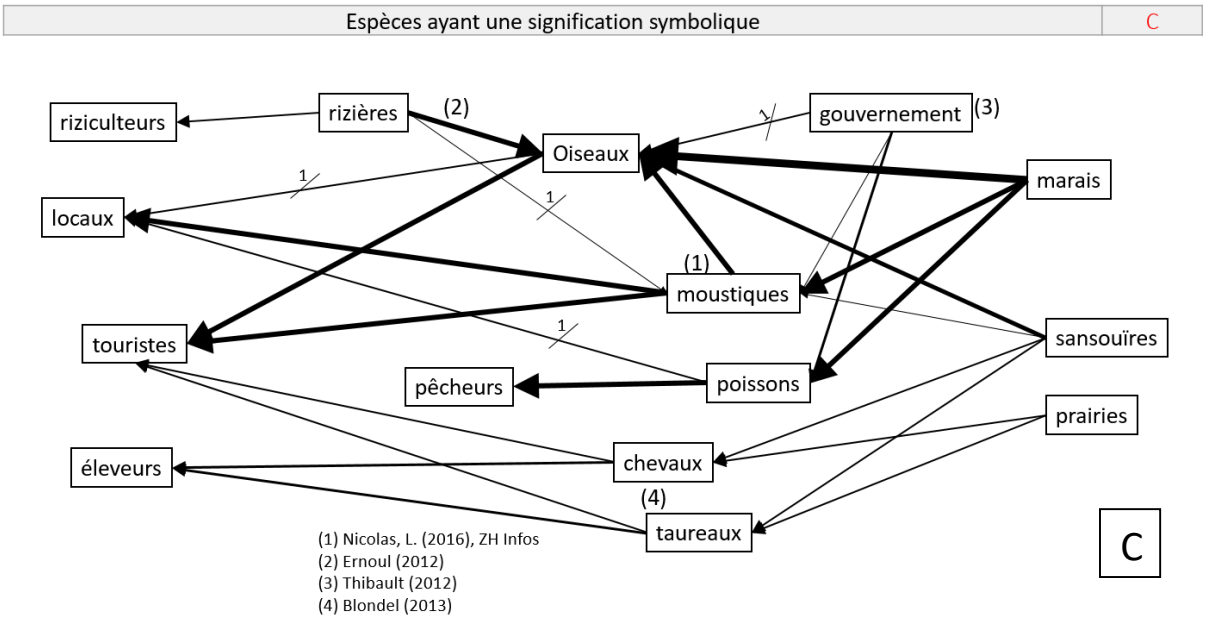


Figure 6 : Représentation des services A - Production de nourriture végétale ; B –Maintien des populations et habitats et C – Espèces ayant une signification symbolique. L'épaisseur des flèches symbolise le nombre d'experts ayant confirmé le flux. 16 experts ont contribué à l'ensemble des figures et l'épaisseur la plus large correspond à une validation par quatre experts. Les flux barrés représentent un avis contraire et le numéro correspond à la quantité d'experts en désaccord sur ce flux. Les chiffres entre parenthèses sont liés aux recherches bibliographiques.

Ces visualisations permettent d'étudier les interactions bio-physiques entre les différents acteurs du territoire et rendre compte d'une utilisation conjointe des experts et de la bibliographie pour étayer ces fonctionnements.

Pour développer ces visualisations d'une façon cohérente entre les services, j'ai développé des tableaux pour rendre compte des bénéficiaires et gestionnaires. Chacune des composantes biophysiques ont également été recensées pour extraire les milieux et espèces déterminants dans le fonctionnement des services écosystémiques en Camargue.

Le tableau suivant (Tableau 3) présente le nombre de gestionnaires et bénéficiaires identifiés par service. Ces derniers ne représentent pas une liste exhaustive de tous les éléments de la Camargue mais ont été simplifiés pour pouvoir être implémentés au modèle.

Tableau 2: Nombre d'acteurs identifiés (dégradé de vert) et de composantes biophysiques (dégradé de bleu) impliqués par service écosystémique. Gest. : gestionnaires, Ben. : bénéficiaires, Comp. : composantes biophysiques.

Catégorie de service	Nom de service	Gest.	Bén.	Comp.
Approvisionnement	Production de nourriture végétale	4	6	6
	Elevage d'animaux à but d'approvisionnement	3	2	3
	Prélèvement d'animaux sauvages à usage professionnel	2	1	2
	Prélèvement d'animaux sauvages à usage personnel	3	4	8
Régulation	Maintien des populations et habitats	3	4	13
	Stockage/accumulation du carbone	6	4	10
	Cycle hydrologique et régulation des écoulements d'eau (infiltration)	1	7	9
	Dispersion des graines	5	4	12
	Contrôle des ravageurs (espèces invasives comprises)	4	3	8
	Filtration et régulation des conditions chimiques des eaux douces	5	2	8
	Régulation du climat local	2	10	6
Culturel	Espèces ayant une signification symbolique	1	5	11
	Espèces utilisées pour le divertissement ou la représentation	2	3	3
	Caractéristiques ou fonctionnalités des sites ayant une valeur d'existence, culturel ou patrimonial	5	5	6
	Caractéristiques de sites pour la pratique d'activités liées à la santé ou au plaisir	1	4	11
	Caractéristiques de sites considérés comme culturels ou patrimoniaux	3	4	5

Les services de maintien et régulation sont dépendants de nombreux gestionnaires et de bénéficiaires. Certains services sont déterminés par moins d'éléments (élevage d'animaux à but d'approvisionnement, espèces utilisées pour le divertissement ou la représentation, prélèvement d'animaux sauvages à usage professionnel) tandis que d'autres agissent sur de nombreux éléments (dispersion des graines, maintien des populations et habitats, stockage/accumulation du carbone). Un grand nombre d'éléments et d'acteurs affectant un service indique qu'il est plus compliqué de comprendre l'impact du changement d'un élément sur l'ensemble des flux. De plus, les services dépendant des mêmes éléments peuvent être affectés différemment. Par exemple, le flux unissant agriculteur et parcelles dans le service de « dispersion des graines » réagit de manière plus négative (besoin d'employer des herbicides) que dans celui de « production de nourriture végétale ». À cet effet, il est impossible de procéder à une analyse simple des modifications apportées aux services. Une méthode plus sophistiquée, afin de construire un autre modèle répondant à ces questionnements, semble ici nécessaire.

Le Tableau 3 présente la récurrence des différents acteurs dans l'ensemble des services. Pour certains services, il arrive qu'un acteur soit à la fois gestionnaire et bénéficiaire de ce service, tel que l'est le riziculteur (bénéficiaire pour l'argent qu'il tire de son activité et gestionnaire pour la gestion de sa surface) pour le service de « Production de nourriture végétale ».

Tableau 3: Nombre de fois où est représenté chaque acteur sur les 16 services écosystémiques (Gouvernement rassemble national et régional)

Acteurs	Gestionnaires	Bénéficiaires
Gouvernement	13	3
Riziculteurs	7	9
Maraîchers	5	6
Vignerons	5	5
Chasseurs	2	7
Pêcheurs	2	6
Eleveurs	5	11
Conservateurs de la nature	6	4
Locaux	0	8
Touristes	0	6
Chaîne de production	2	2

Du côté des gestionnaires, le gouvernement, à travers les subventions et les réglementations, impacte la plus grande diversité de services, même si cet impact passe surtout par les taxes imposées sur les terres et agit donc indirectement sur les décisions de gestion des propriétaires de terrains. Il est à noter cependant que ces acteurs ne sont pas strictement indépendants les uns des autres, les activités pouvant être compilées par une même personne (éleveur et riziculteur, pêcheur et chasseur, chasseur et riziculteur, riziculteur et maraîcher…). Les différentes catégories sont alors liées entre elles et cela renforce l'idée d'une dépendance certaine entre les différents services écosystémiques. A l'inverse, le gouvernement rassemble à la fois l'autorité nationale et régionale. Les conservateurs de la nature rassemblent quant à eux l'ensemble des organismes visant à préserver la biodiversité (Tour du Valat, PNR, RNR).

De tous les types d'acteurs, les éleveurs profitent de la plus grande diversité des services bien qu'ils n'agissent pas sur des surfaces aussi importantes que les riziculteurs (12 000 ha de zones pâturées contre 20 000 ha de rizières (Vianet 2014)). Une autre catégorie comprend les

acteurs sans pouvoir décisionnel, là encore bénéficiant de plusieurs services : il s'agit des acteurs locaux/habitants et les touristes.

Le tableau suivant (Tableau 4) regroupe l'ensemble des composantes biophysiques présentées dans les visualisations.

Tableau 4: Nombre de fois qu'est représenté chaque composante biophysique identifiée sur l'ensemble des 16 services écosystémiques

Catégorie	Type	Total	Catégorie	Type	Total
MILIEUX	rizières	10	ESPECES	moustiques	1
	marais de chasse	10		poissons	6
	marais protégés	9		sangliers	4
	cultures	4		canards	5
	vignes	4		flamant rose	6
	lagunes	8		autres oiseaux d'eau	6
	sansouïres	5		invertébrés	3
	roselières	4		chevaux	9
	dunes	1		taureaux	9
	prairies	3	ABIOTIQUE	vent	2
	haies	1		atmosphère	1
	bois	1		pluie	2
				canaux	8

En ce qui concerne les éléments biophysiques, on trouve par exemple les rizières (contribuant aux flux de 10 services écosystémiques), les marais (10), les chevaux et taureaux (9) et les lagunes et canaux (8).

Scénario de diminution de l'apport d'eau douce

Grâce à la méthodologie développée dans le chapitre précédent, les riziculteurs ont répondu à une question visant à étudier leurs perceptions à long terme selon notre scénario : « Quelles seraient leurs perceptions de transition face à une diminution du pompage de l'eau douce en Camargue ? » Après une période d'adaptation ou de validation du service de « production de nourriture végétale », leurs perceptions sur les orientations ont été recueillies. Une question finale visait également à confirmer ou infirmer le réalisme de ce scénario par rapport aux éventuelles menaces pesant sur leurs activités.

La représentation qui suit sectorise les exploitations des riziculteurs rencontrés (Figure 7). Compte tenu des profils pédologiques, de la salinité des sols et de la hauteur des terres, les zones d'implantation des riziculteurs fournissent des informations sur leurs expériences propres.

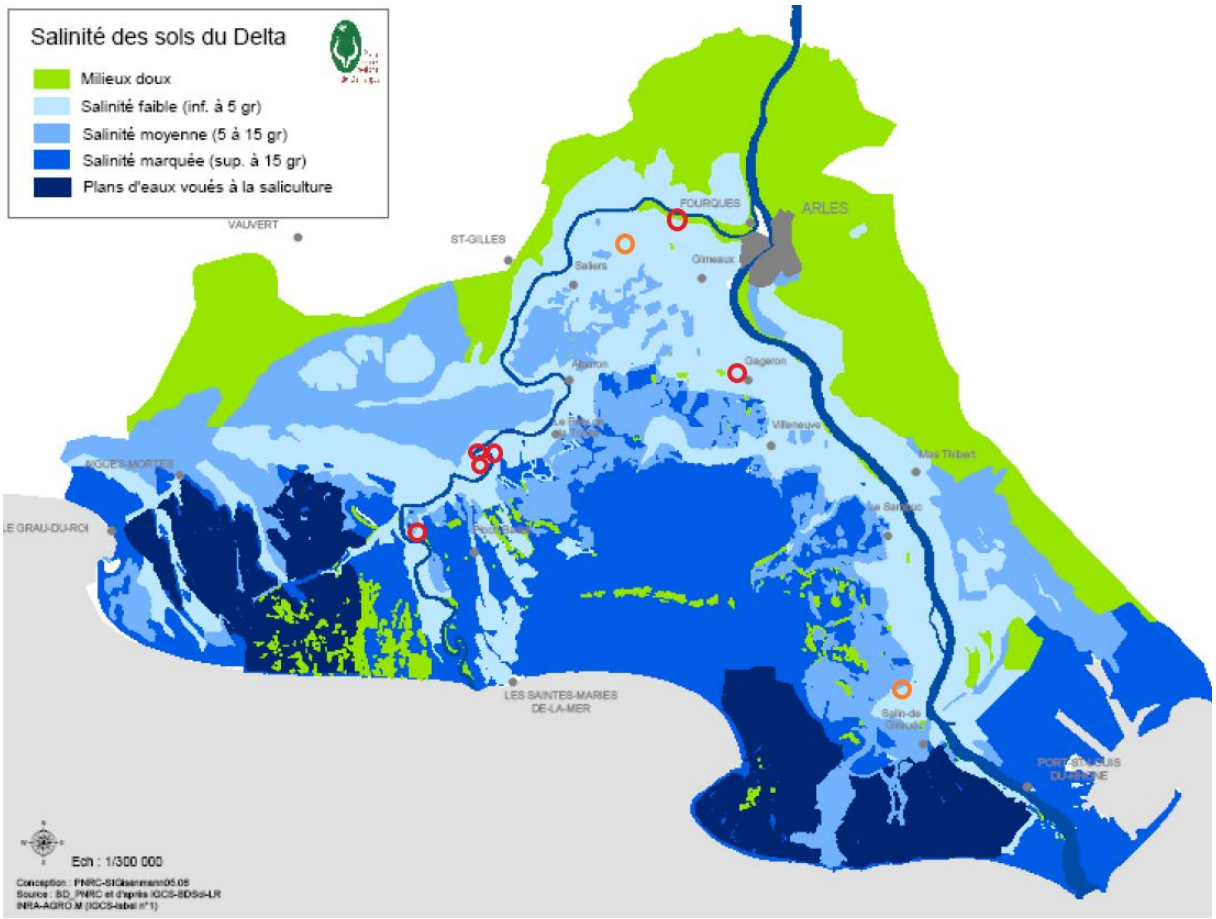


Figure 7: Position géographique des différentes expériences des riziculteurs rencontrés ©PNRC 2006 Les cercles orange représentent le transfert d'un riziculteur d'une exploitation du sud au nord de la Camargue.

Les riziculteurs rencontrés possèdent une longue expérience de la Camargue parfois caractérisée par plusieurs générations d'agriculteurs. Leurs surfaces exploitables, bien qu'*a priori* de salinité faible sur la carte ci-dessus, ne sont pourtant pas homogènes et peuvent devenir, ou sont, des « veines de sel ». Cette diversité et leurs connaissances permettent de couvrir une plus grande diversité de perceptions sur l'avenir de la Camargue.

Validation et perceptions contrastées sur le service écosystémique de « production de nourriture végétale »

La représentation du service de « Production de nourriture végétale » a été soumise aux riziculteurs. Ces derniers ont pu donner leur avis, confirmer, ajouter ou retirer des informations basées sur la gestion de leurs parcelles. La Figure 5 présentant les opportunités de transition a ensuite permis de récupérer leurs avis sur les changements qu'ils mettraient en place sur leur exploitation. Les figures suivantes montrent les éléments ajoutés par les riziculteurs (Figure 8), les points de divergences (Figure 9) ainsi qu'une synthèse colorimétrique des avis (experts et riziculteurs) sur le service de « Production de nourriture végétale » (Figure 10).

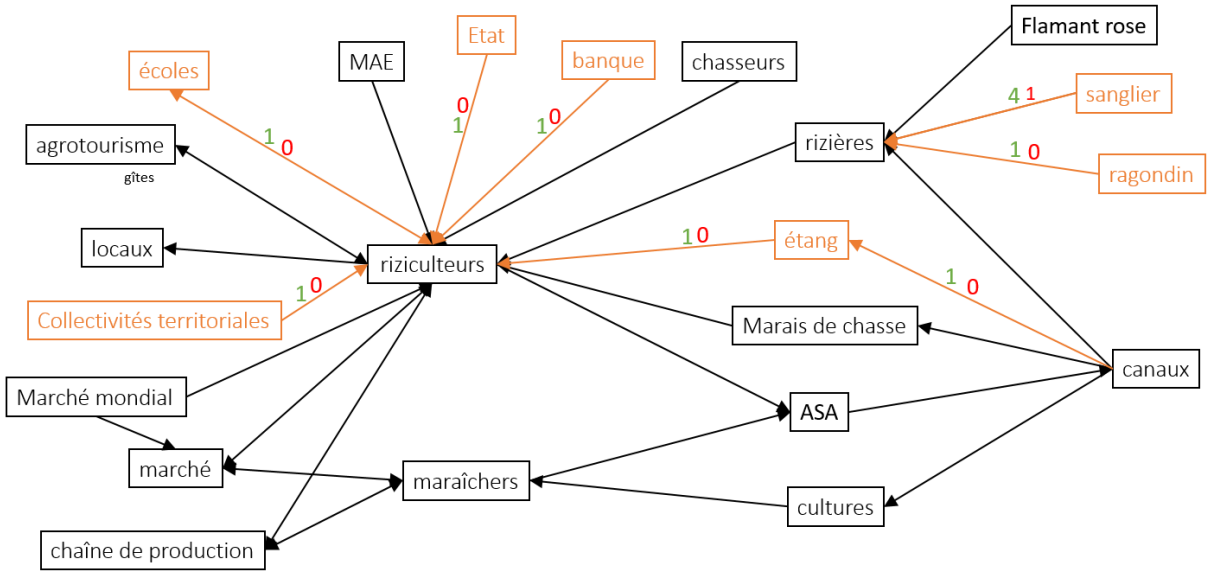


Figure 8: Représentation du service de "production de nourriture végétale" comprenant les éléments formulés en entretien et jugés comme intervenant dans le fonctionnement de ce service par sept riziculteurs. En orange : élément ajouté. En noir : éléments présent dans la figure de base. Le numéro en vert signifie combien de riziculteurs ont ajouté cette information. En rouge combien de riziculteurs n'étaient pas d'accord.

Les entretiens ont permis de mettre en avant d'éventuelles informations non présentées dans la littérature ou identifiés par les experts. Si ces éléments devaient être catégorisés, ils comprendraient d'un part les organismes réglementaires et monétaires (Etat, banques, collectivités territoriales), une représentation plus diversifiée des espèces nuisibles (sangliers, ragondins) ainsi qu'une branche dédiée à la pédagogie (école) et un ajout d'un milieu : l'étang.

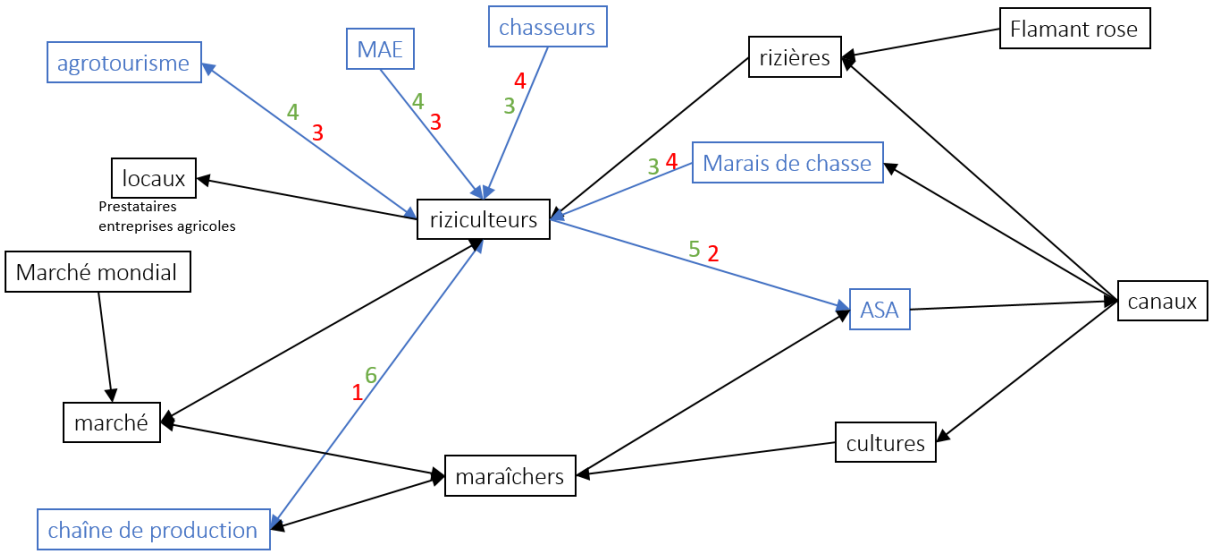


Figure 9: Représentation du service de "production de nourriture végétale" comprenant les éléments dont le point de vue divergeait d'un riziculteur à l'autre. En bleu : élément soumis à débat. En noir : éléments présent dans la figure de base. Le numéro en vert signifie combien de riziculteurs ont confirmé cette information. En rouge combien de riziculteurs n'étaient pas d'accord.

Cette figure permet d'appréhender la diversité de gestion des rizicultures. Par exemple, l'activité de chasse sur les oiseaux d'eau sur les exploitations n'est pas systématique. L'agrotourisme suit également un raisonnement personnel. Certains des riziculteurs sont ouverts à l'application d'autres activités. D'autres considèrent par exemple le tourisme comme une activité à part entière, chronophage et nécessitant d'autres compétences (gîtes, vente directe, visites). Les MAE (mesures agro-environnementales) sont une donnée intéressante car leur impact sur les exploitations semble contrasté pour plusieurs riziculteurs.

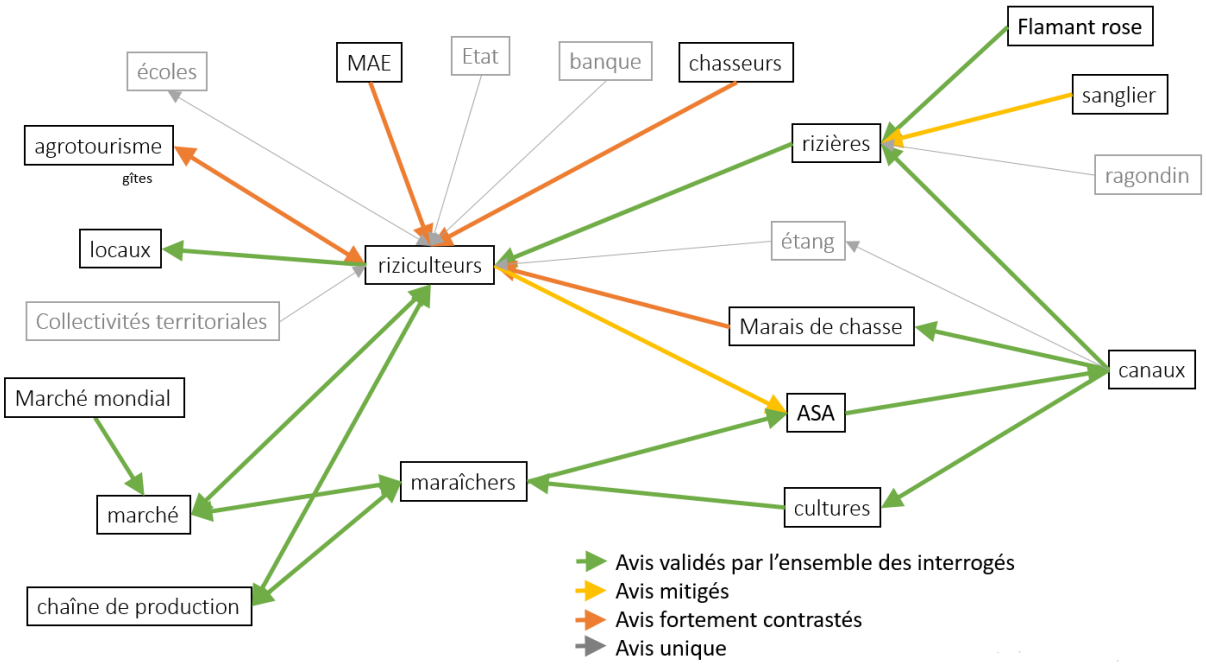


Figure 10: Synthèse colorimétrique des avis recueillis auprès des sept riziculteurs et de six experts. Les avis uniques comprennent les éléments mentionnés une fois par les riziculteurs.

La Figure 10 montre les opinions similaires et divergentes entre experts et riziculteurs. En effet, une grande quantité de flèches vertes signifie ici que les opinions entre riziculteurs et experts sont davantage similaires que contradictoires. Les experts ont apporté une compréhension globale des aspects biophysiques du socio-écosystème. Cependant, les biais apparaissant dans les flèches oranges ont été causés par la simplification du modèle et son orientation sur les aspects préférentiellement biophysiques.

Pour cela, les flèches vertes rassemblent majoritairement le fonctionnement biophysique du service tandis que les flèches orange et jaune ont attrait aux aspects sociaux et économiques de la Camargue. Pour une future étude, il serait intéressant d'inclure une plus grande diversité d'acteurs locaux afin de mieux représenter l'ensemble des aspects socio-économiques. Au cours des entretiens, j'ai pu rencontrer un chasseur/pêcheur amateur m'ayant permis de valider ou adapter des visualisations des services écosystémiques, mais la tension à cet instant et le temps disponible pour l'étude m'a forcé à me focaliser sur un seul type d'acteur : les riziculteurs.

Globalement, les entretiens auprès des riziculteurs ont permis d'identifier des informations supplémentaires et de compléter la représentation du service.

Conséquences potentielles pour les services écosystémiques

Durant les entretiens, le riziculteur s'est vu présenter huit choix d'orientation pour une transition potentielle de la production de riz dans un scénario de diminution de l'eau douce, dont un « autre » l'invitant à proposer de nouvelles idées (Figure 5). Ces informations sont importantes pour la modélisation car plusieurs trajets sont possibles sur l'ensemble de la Camargue. Ces choix l'invitaient à s'exprimer à la fois sur l'évolution de son exploitation et sa perception générale sur l'ensemble de la Camargue.

Pour l'exploitation de ces informations, une synthèse des sept avis a été mise en place, représentant l'activité concernée sur leur exploitation (Tableau 5). Le choix « Autre » est présenté dans la dernière partie sur les pistes d'évolution.

Tableau 5: Synthèse des perceptions des riziculteurs sur l'avenir de leur exploitation en Camargue. Les ronds colorés indiquent la tendance prévue pour l'occupation des terres : rond vert : en augmentation, rond orange : stable, rond rouge : en diminution.

Scénario proposés	Perception sur la probabilité de transition	Distribution des opinions (probable | potentiel | improbable)
Agrotourisme	Probable	4|2|1
Marais de chasse	Peu probable	1|2|4
Riziculture	Opinions diverses, mais tendance positive	3|4|0
Maraîchage	Opinions diverses, mais tendance négative	0|4|3
Vignoble	Opinions diverses, mais tendance négative	0|4|2
Elevage	Opinions diverses	1|3|2
Arrêt	Improbable	0|1|6

Beaucoup de riziculteurs ont indiqué un changement probable à certain de l'occupation des sols du riz au profit du melon et de la tomate (qualifiant ici la terminologie « maraîchage ») en ce qui concerne leur perception générale sur l'ensemble de la Camargue, en précisant une probabilité faible de ce changement pour leur exploitation. De ce fait, près de la moitié a assuré vouloir continuer le riz ou tout du moins se diversifier autrement que par l'apport du maraîchage, voir aller jusqu'à rejeter l'option de la culture de tomate et de melon entre autre à

cause de son impact négatif sur le sol. Le tourisme (ou l'agrotourisme) est aperçu en revanche comme un potentiel complément de revenu bien que son développement soit pour l'instant plus tourné vers l'élevage que l'agriculture. Les vignobles n'attirent pour l'instant pas l'intérêt des riziculteurs à cause de l'état du marché (sauf éventuellement le bio) et du délai de rentabilité des parcelles (temps avant que les vignes ne puissent donner de raisins). Il apparait par ailleurs que l'élevage et l'agriculture se scindent progressivement.

La majorité des riziculteurs pensent que la production de riz est vouée à disparaître telle qu'elle est actuellement et recherchent des méthodes alternatives pour pouvoir continuer leur activité. La volonté de produire du riz biologique était très mitigé selon les sept riziculteurs. Certains la trouvaient rentables, d'autres déploraient le manque de valorisation des autres cultures en rotation.

Enfin, les camarguais sont fortement attachés à leur territoire et ne souhaitent pas le quitter à plus forte raison s'ils y habitent depuis plusieurs générations.

L'approche par les services écosystémiques permet de voir les dépendances de ces acteurs, de leur milieu et de la place importante que joue le riziculteur depuis l'artificialisation et l'endiguement de la Camargue. Si on suit les avis des riziculteurs sur les probabilités de transitions dans le cas d'une diminution d'eau douce pompée du Rhône, on obtiendrait une perception future où l'occupation du sol et les services écosystémiques y étant liés seraient affectés.

Une diminution des parcelles de riz était jugée très probable, or ces dernières jouent un rôle très important dans les services de régulation de la température et de la nature de la production de nourriture végétale en Camargue. Une augmentation potentielle du maraîchage pourrait réduire la qualité du paysage pour le tourisme alors qu'une potentielle transition vers l'agrotourisme pourrait en revanche augmenter la valorisation des espèces symbolique et l'héritable naturel de la Camargue.

Ces deux chemins de transition suggèrent des conflits d'intérêt et d'importants changements en Camargue qu'il pourrait être intéressant de débattre auprès des principaux intéressés pour faire remonter ces informations aux décideurs politiques régionaux afin de mobiliser du soutien pour les types de transition désirables en Camargue.

En prenant les probabilités de transition en compte (Tableau 5), nous avons développé en Tableau 6 l'influence potentielle de ces opportunités sur l'occupation des sols. Ce tableau a été créé en compilant la première colonne du Tableau 5 et les types d'occupation du sol présents dans les 16 services écosystémiques du Tableau 4. Certains milieux sont néanmoins retirés du fait de l'absence de conclusion possible par rapport aux orientations présentées (haies, bois…).

Tableau 6: Liste des occupations du sol associés au type de scénario choisi. En vert : probable augmentation du type de surface considérée. En jaune : probable stabilisation de la surface. En orange : possible diminution de la surface considérée.

Occupation du sol	Tendance
rizières	En diminution
marais de chasse	En diminution
marais protégés	En diminution
maraîchage	En augmentation
vignes	Stable
lagunes	En diminution
sansouïres	Stable ou diminution
roselières	En diminution
dunes	Stable
prairies	Stable

Ce tableau illustre la complexité dans la détermination des changements au sein du socio-écosystème camarguais et montre les dépendances des services écosystémiques avec plusieurs types d'occupation du sol. En effet, les services écosystémiques sont confrontés à une diversité de tendances au niveau de la couverture du sol : par exemple, le service de « Prélèvement d'animaux sauvages » est lié à de nombreux milieux, répondant de manière parfois contradictoire (dans le Tableau 6, les rizières ont une tendance à la diminution tandis que les prairies sont stables. Or ces deux milieux sont présents dans le service, rendant une quelconque conclusion difficile à fournir). Le service de « Production de nourriture végétale » peut probablement également subir un changement complet de caractère de son flux (passage de la riziculture au maraîchage).

Pour déterminer les tendances dans les services écosystémiques, une méthode appropriée doit être appliquée, ayant la capacité de prendre en compte cette complexité d'interdépendances. Dans le projet, une étude de modélisation simplifiée a été proposée à cet objectif.

Réalisme du scénario et pistes d'évolution

En complément de ce scénario, il a été demandé aux riziculteurs de juger du réalisme d'un scénario de diminution de l'eau douce. Certains riziculteurs nous ont également informés de leurs préoccupations sur l'avenir de la riziculture. La plupart des riziculteurs pensent que le scénario d'une diminution de pompage de l'eau douce peut se réaliser. En plus de leur réflexion sur ce scénario, les riziculteurs ont mentionné d'autres préoccupations complémentaires comme la suppression des aides de la PAC, du prix du riz et du manque de valorisation économique du riz camarguais, le changement climatique et les problématiques liées à la salinité du sol. La présence des flamants roses sur les exploitations émergeait systématiquement, parfois par rapport aux dégâts faits sur la production, parfois pour les investissements mis en place pour les effaroucher. En réponse aux différentes orientations proposées dans le scénario, les transitions et la mention « autre » ont permis de mettre en évidence de potentielles pistes d'évolution : l'utilisation de variétés de riz ou de blé ancien, de la production de semences, de la culture sous serres, l'arboriculture fruitière, la transmission des connaissances (scolaires, missions à l'étranger), l'agroforesterie ou des compléments de revenus par la pratique d'autres activités (mécanique, réparation).

Discussion

La méthode suivie a visé dans un premier temps à valider des représentations de services écosystémiques grâce à la bibliographie et aux experts de la Tour du Valat. Il a pu être montré que les informations contenues dans la littérature ne suffisaient parfois pas pour expliquer l'ensemble d'un service et que les compétences complémentaires des experts ont pu servir à le préciser et l'améliorer. Cependant, l'ensemble des services n'étant pas la spécialité de tous, il apparaît que certaines représentations manquent encore de précision. Par exemple, considérant le service d'élevage, je n'ai identifié qu'un seul expert comme étant en mesure de répondre au fonctionnement du service. Le service culturel sur la « valeur d'existence » (zone ayant un attrait de valeur d'existence auprès des habitants) n'était pas non plus évident à déterminer par les experts. Il aurait été judicieux pour ce dernier de s'exprimer auprès des locaux, mais la durée du stage ne l'a pas permis.

La seconde phase d'entretiens avec les acteurs était contrainte par le type d'acteurs contactés. A cause d'un manque de temps et un focus de l'étude sur le pompage de l'eau douce dont la production de riz est son moteur principal, j'ai choisi de me limiter aux riziculteurs. Seulement cinq riziculteurs ont répondu à la demande diffusée à toute la liste de contacts du Centre Français du Riz, en complément de deux riziculteurs à travers le réseau de la Tour du Valat. Ils correspondaient très probablement tous à une catégorie de riziculteurs plus ou moins sensibles à la nature (ceux possédant des opinions plus tranchées sur, par exemple, la location des terres pour le maraîchage, ne souhaitant probablement pas participer à ce type de projet).

Dans une future étude, mis à part rencontrer plus de riziculteurs, il nous faudrait contacter des éleveurs, chasseurs et pêcheurs appartenant à plusieurs générations afin de recueillir leurs avis, voir des représentants des quelques villes de Camargue (Saintes-Maries-de-la-Mer, Salins de Giraud). De plus, comme a pu le montrer la Figure 10, les groupes d'acteurs partagent des perceptions sur certains points tandis qu'ils apparaissent parfois divers ou contradictoires sur d'autres. Les entretiens auprès d'acteurs plus diversifiés permettraient de mieux comprendre le fonctionnement du système socio-écologique de la Camargue.

Au cours du projet, j'ai en effet pu interroger un habitant de la région pêchant et chassant en Camargue. Ses points de vue, notamment sur la gestion des marais (la façon dont l'argent change de main pour la chasse sur les marais privés) et la chasse au sanglier (moins de présence de sanglier sur les parcelles s'il y a moins de riz), ont ajouté de nouvelles visions sur la manière dont les services dépendent les uns des autres et sur leur évolution. Cependant, les tensions locales et la durée du stage n'ont pas permis d'inclure un nombre significatif d'acteurs de ce type dans mon étude.

Un autre biais est associé à la méthode appliquée. Au-delà du rendu des données et de l'interprétation des résultats, j'ai ressenti une difficulté à animer de manière identique un entretien semi-directif. Enfin, durant les entretiens, il a parfois été difficile de démarquer les perceptions générales des actions à mettre en place sur leurs exploitations dans le cas de notre scénario. Certains avis ont également pu changer au fil de la discussion ou être considérablement nuancés, rendant la restitution compliquée. Le scénario de diminution de l'eau douce, dans le climat actuel, a en de nombreux moments suscité des options plus que

des certitudes, avec parfois une difficulté à se projeter sur plusieurs années, voire une tendance à tenir compte des problèmes passés pour les calquer sur les problèmes futurs.

Pour pallier ces biais, j'aurais pu être plus précise sur la formulation des questions. Par exemple, j'aurais pu séparer la question portant sur l'avenir de son exploitation de celle sur sa perception générale de l'ensemble des autres riziculteurs. Peut-être aurais-je pu préciser leurs avis sur deux à trois échelles temporelles, par exemple leur avis pour l'année prochaine, à cinq ans et ce qu'il adviendra dans dix ans. Puisque le modèle dans ce projet n'a pas permis d'utiliser des informations temporelles, la formulation dans les questions posées aux riziculteurs a été adaptée pour convenir aux besoins du modèle. Ces questions pourront être formulées autrement par la suite.

Le stage de ma binôme Amandine a visé à caractériser le socio-écosystème camarguais notamment en développant simultanément un aperçu des impacts dans les différentes voies de développement (élevage, tourisme, occupation du sol etc.). Pour permettre à son modèle de tourner, ma binôme a considérablement dû travailler à sa simplification, influençant de ce fait mes méthodes de travail. En effet, les Figure 8 et Figure 9 ont montré la complexité de chaque service par les acteurs, pourtant le modèle nécessitait une simplification importante. De plus, le modèle ne permettait pas de prendre en compte les nuances dans les services tels qu'un changement dans leur quantité ou leur nature, se focalisant plutôt sur une apparition ou une disparition.

La modélisation d'Amandine a montré dans ses résultats une diminution du budget des riziculteurs, causant une salinisation des milieux à travers la perte de ces riziculteurs. A en juger par les préoccupations de ces derniers, il apparaît que la diminution/suppression de la PAC soit une réelle menace à l'exercice de leur activité, bien qu'elle ne soit pas la seule. Considérant la salinité, il semble en effet que l'apport d'eau douce à l'intérieur de la Camargue soit perturbé sans les riziculteurs et que celle-ci entraîne plusieurs changements dans les milieux naturels tels que les sansouïres et les marais protégés.

Par ailleurs, l'utilisation d'un modèle binaire pour l'exploitation de mes résultats a considérablement limité le degré de détail pour déduire une augmentation, diminution ou un changement dans un service écosystémique. Par exemple, bien que le service de production de nourriture végétale soit réduit pour le riz et augmenté pour le melon et la tomate, cela n'induit pas une disparition du service mais bien un changement dans la nature de ce dernier. En effet,

les transitions potentielles pour la Camargue affecteront les services de plusieurs manières, dont le résultat le plus probable s'oriente vers un changement de flux plutôt qu'une « disparition ». De ce fait, une modélisation plus orientée vers la quantification des flux de services pourrait apporter des informations sur les tendances des services dans le cas du scénario de diminution de l'eau douce.

Concernant l'évolution de cette étude, considérer une palette plus large de services, pas forcément influencés par l'eau, pourrait être intéressant pour déterminer toute la richesse de la Camargue. Puis, au-delà du contexte de cette étude, l'ensemble des données recueillies pourrait permettre d'étudier les leviers d'actions en Camargue (eau, salinité etc.) et proposer des mesures pour les préserver ou tout du moins les faire évoluer malgré les menaces pesant d'ores et déjà sur l'île de Camargue. Enfin, considérer que la modification des services n'est pas à calquer sur un système binaire mais s'articule plutôt sur une notion d'augmentation, diminution ou modification du service et de prendre davantage en compte le rôle de la biodiversité dans le socio-écosystème camarguais.

Conclusion

La Camargue est un territoire soumis à une forte salinité et une occupation des terres dépendantes de la gestion en eau. Les nombreux acteurs se partagent un territoire où cohabitent également une faune et une flore endémique et patrimoniale. Avec l'utilisation des services écosystémiques et dans un scénario de diminution de l'eau douce, 16 experts et sept riziculteurs ont été interrogés pour nous donner leurs avis sur le socio-écosystème de la Camargue. Les résultats ont montré une interdépendance des services écosystémiques en Camargue notamment par rapport aux gestionnaires des différents sites et des acteurs décisionnaires. Par ailleurs, la différence de perception entre les experts et les riziculteurs souligne la nécessité d'inclure une plus grande diversité d'acteurs dans ce type d'étude. Enfin, les changements des services écosystémiques dans le cas de notre scénario sont susceptibles de subir des augmentations, diminution ou des changements dans leur structure (riz > maraîchage) qui demande une modélisation un peu plus complexe par rapport à ce qui a été présenté dans ce projet.

Bibliographie

ALLARD, P. & LEVEAU, P. 2002. L'histoire de la Camargue au péril des reconstitutions identitaires. *Faire savoirs*:17–24.

BELLMORE, J. R., BENJAMIN, J. R., NEWSOM, M., BOUNTRY, J. A. & DOMBROSKI, D. 2017. Incorporating food web dynamics into ecological restoration: a modeling approach for river ecosystems. *Ecological Applications* 27:814–832.

BELTRAME, C., COHEN-SHACHAM, E., TROUILLET, M. & GUILLET, F. 2013. Exploring the links between local management and conservation applying the ecosystem services concept: conservation and tourism service in Camargue, France. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management* 9:166–177.

BLONDEL, J., BARRUOL, G. ,. VIANET, R. 2013. *L'encyclopédie de la Camargue*. Buchet-Chastel. 351p i

DELMOTTE, S. 2011. Evaluation participative de scénarios: quelles perspectives pour les systèmes agricoles camarguais? PhD Thesis, Montpellier SupAgro.

DUFOUR, S., SARTRE, X. A. DE, CASTRO, M., OSZWALD, J. & ROLLET, A. J. 2016. Origine et usages de la notion de services écosystémiques : éclairages sur son apport à la gestion des hydrosystèmes. *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement*. [En ligne], Hors-série 25 | août 2016, mis en ligne le 26 août 2016. URL : http://journals.openedition.org/vertigo/17435 ; DOI : 10.4000/vertigo.17435

FISHER B, TURNER RK, MORLING P. Defining and classifying ecosystem services for decision making. Ecological economics. 2009 Jan 15;68(3):643-53.

https://www.econstor.eu/bitstream/10419/80264/1/571829937.pdf

HEURTEAUX, P. 1970. Rapports des eaux souterraines avec les sols halomorphes et la végétation en Camargue. *La terre et la Vie 4:* 467-510

HEURTEFEUX, H. & LANZELLOTTI, P. 2008. La Camargue, terre d'enjeux, première étape d'une gestion intégrée des zones côtières. *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement 8(1): 1-12*

LONGHURST, R. 2003. Semi-structured interviews and focus groups. *Key methods in geography* 3:143–156.

MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT, *Ecosystems and human well-being*. Vol. 5. Washington, DC:: Island press, 2005.

NAISBIT, R. E., ROHR, R. P., ROSSBERG, A. G., KEHRLI, P. & BERSIER, L.-F. 2012. Phylogeny versus body size as determinants of food web structure. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 279:3291–3297.

PASCUAL, U., BALVANERA, P., DÍAZ, S., PATAKI, G., ROTH, E., STENSEKE, M., WATSON, R. T., BAŞAK DESSANE, E., ISLAR, M., KELEMEN, E., MARIS, V., QUAAS, M., SUBRAMANIAN, S. M., WITTMER, H., ADLAN, A., AHN, S., AL-HAFEDH, Y. S., AMANKWAH, E., ASAH, S. T., BERRY, P., BILGIN, A., BRESLOW, S. J., BULLOCK, C., CÁCERES, D., DALY-HASSEN, H., FIGUEROA, E., GOLDEN, C. D., GÓMEZ-BAGGETHUN, E., GONZÁLEZ-JIMÉNEZ, D., HOUDET, J., KEUNE, H., KUMAR, R., MA, K., MAY, P. H., MEAD, A., O'FARRELL, P., PANDIT, R., PENGUE, W., PICHIS-MADRUGA, R., POPA, F., PRESTON, S., PACHECO-BALANZA, D., SAARIKOSKI, H., STRASSBURG, B. B., VAN DEN BELT, M., VERMA, M., WICKSON, F. & YAGI, N. 2017. Valuing nature's contributions to people: the IPBES approach. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 26–27:7–16.

ROCHE, P., GEIJZENDORFFER, I., LEVREL, H. & MARIS, V. 2016. Valeurs de la biodiversité et services écosystémiques. *Perspectives interdisciplinaires. Quae, Versailles*.

SCHRÖTER, M., VAN DER ZANDEN, E. H., VAN OUDENHOVEN, A. P. E., REMME, R. P., SERNA-CHAVEZ, H. M., DE GROOT, R. S. & OPDAM, P. 2014. Ecosystem Services as a Contested Concept: a Synthesis of Critique and Counter-Arguments: Ecosystem services as a contested concept. *Conservation Letters* 7:514–523.

SEPPELT R, DORMANN CF, EPPINK FV, LAUTENBACH S, SCHMIDT S. A quantitative review of ecosystem service studies: approaches, shortcomings and the road ahead. *Journal of applied Ecology*. 2011 Jun;48(3):630-6.

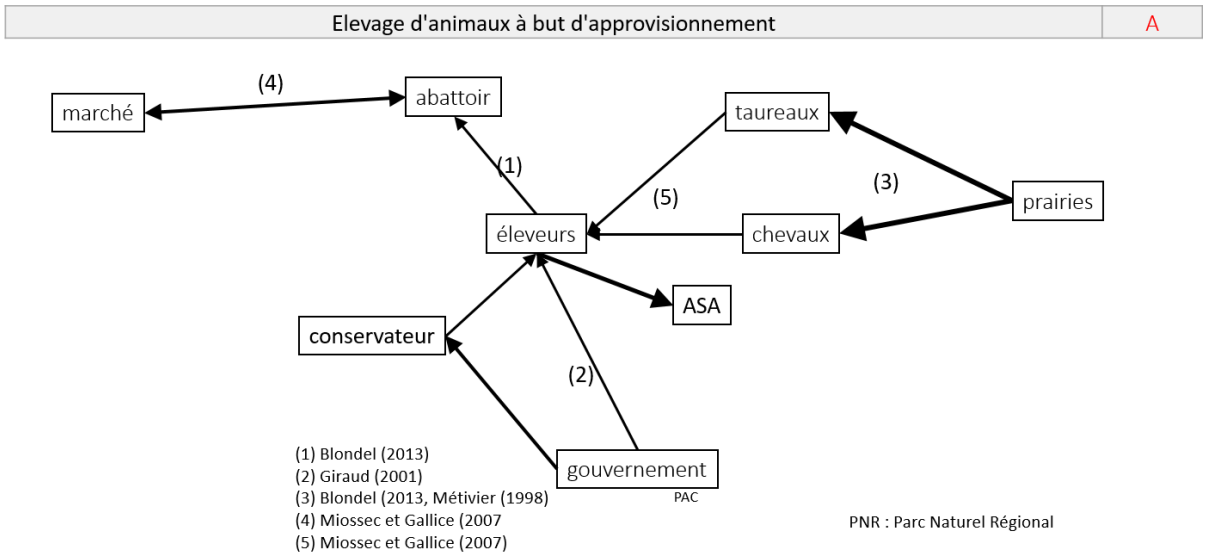
VIANET, R. 2014, February 21. Agriculture et élevage en zone humide Camarguaise. Mas du Pont du Rousty.
WHITING, L. S. 2008. Semi-structured interviews: guidance for novice researchers. *Nursing Standard* 22:35–40.

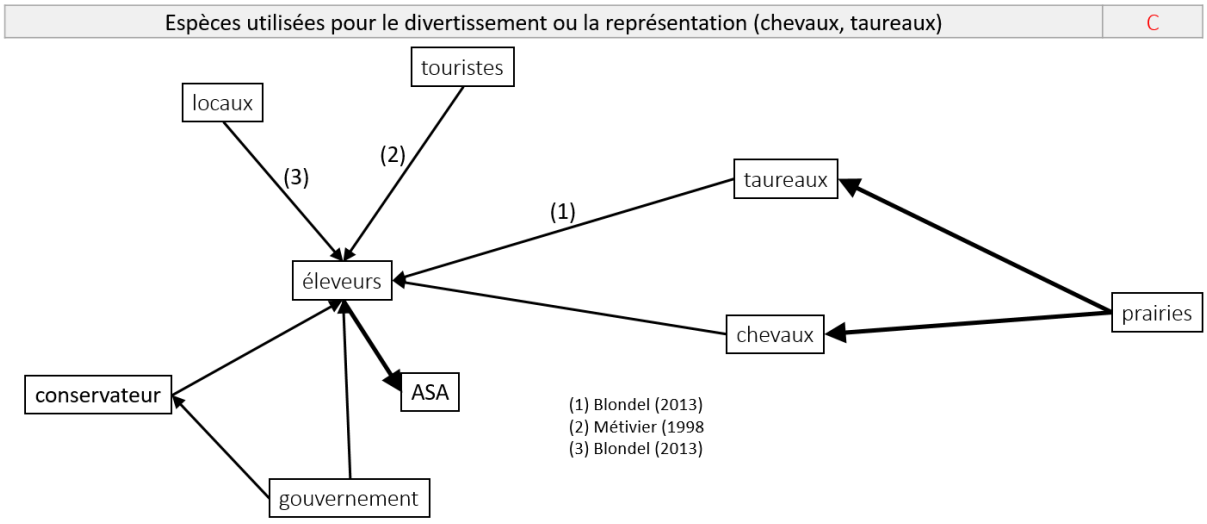
Annexes

Annexe 1 : Représentations des 16 services écosystémiques

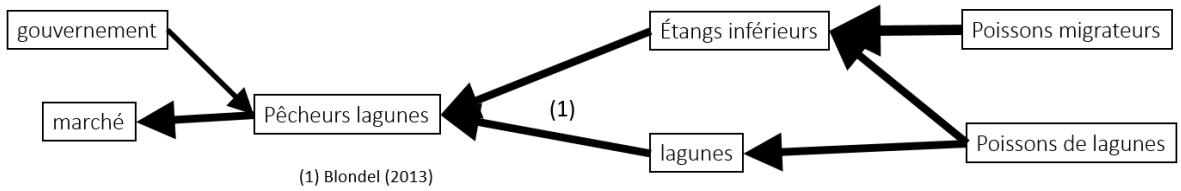
Un service écosystémique est caractérisé comme étant « les contributions de la nature aux hommes ». Les représentations ci-dessous reprennent les 16 services écosystémiques choisis dans le cadre de cette étude pour la Camargue.

L'épaisseur des flèches symbolise le nombre d'experts ayant confirmé le flux. 16 experts ont contribué à l'ensemble des figures et l'épaisseur la plus large correspond à une validation par 4 experts. Les flux barrés représentent un avis contraire et le numéro correspond à la quantité d'experts en désaccord sur ce flux. Les chiffres entre parenthèses sont liés aux recherches bibliographiques.



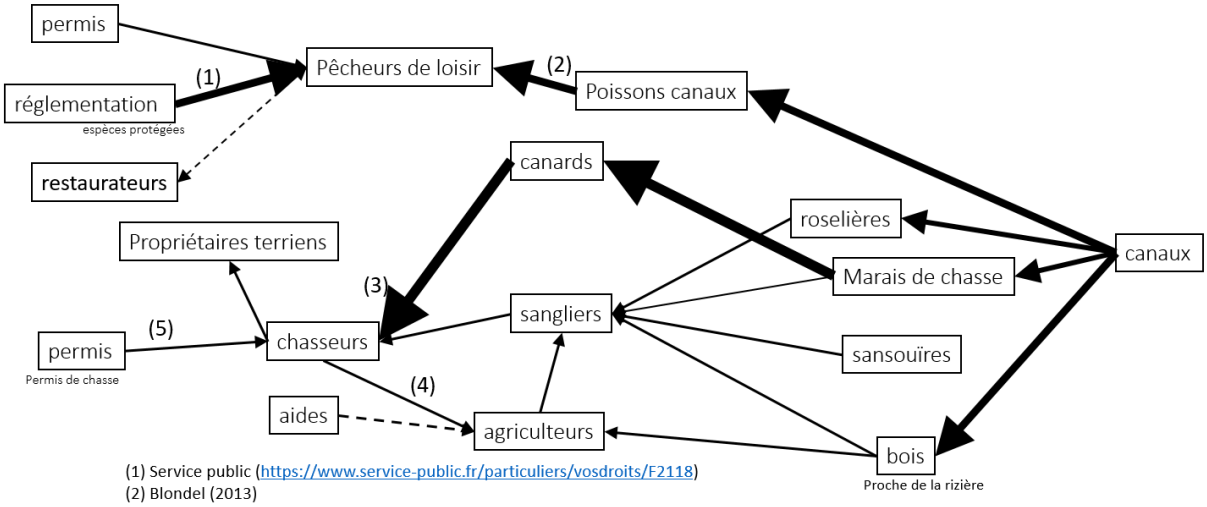


Prélèvement d'animaux sauvages à usage professionnel	A



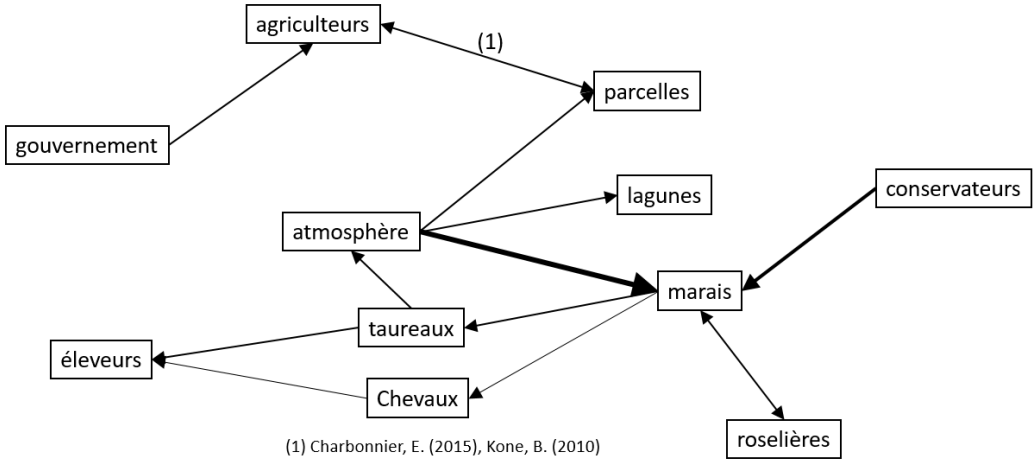
(1) Blondel (2013)

Prélèvement d'animaux sauvages à usage personnel	A



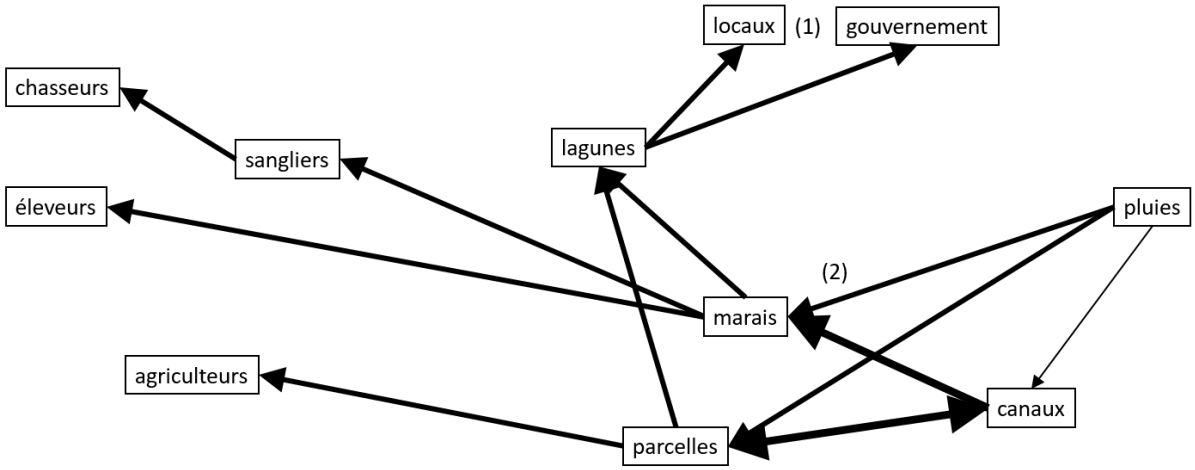
(1) Service public (https://www.service-public.fr/particuliers/vosdroits/F2118)
(2) Blondel (2013)
(3) Mathevet et al. (2004)
(4) Mathevet et al. (2018)
(5) http://chasseurdefrance.com/chasser-en-france/le-permis-de-chasser/

stockage/accumulation du carbone	R



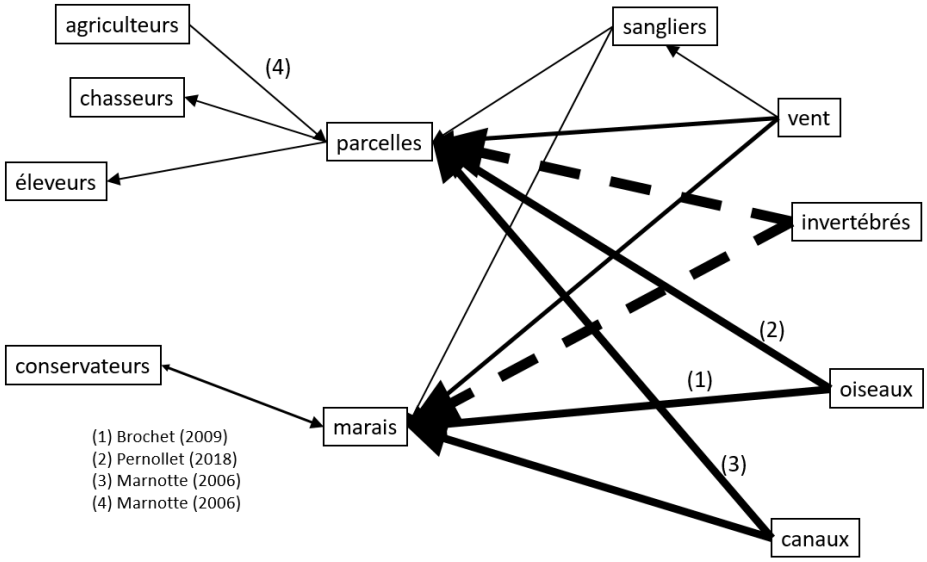
(1) Charbonnier, E. (2015), Kone, B. (2010)

cycle hydrologique et régulation des écoulements d'eau (infiltration)	R



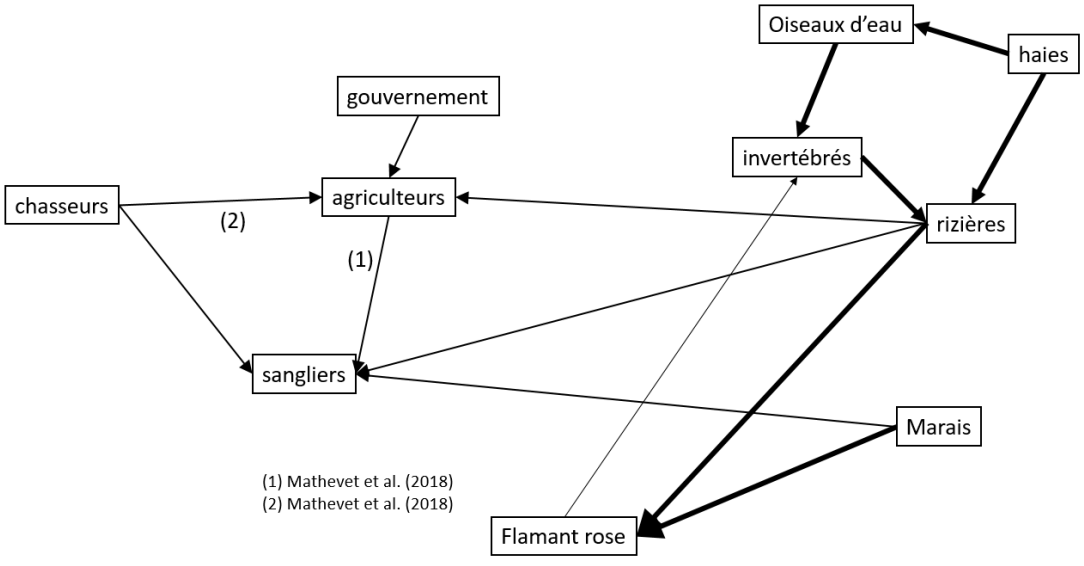
(1) De Groot (2007)
(2) Blondel (2013)

dispersion des graines	R



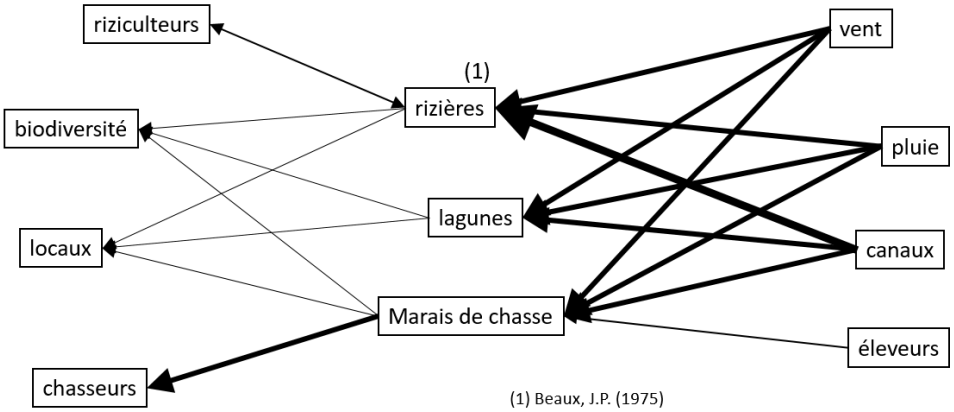
(1) Brochet (2009)
(2) Pernollet (2018)
(3) Marnotte (2006)
(4) Marnotte (2006)

contrôle des ravageurs (espèces nuisibles comprises)	R



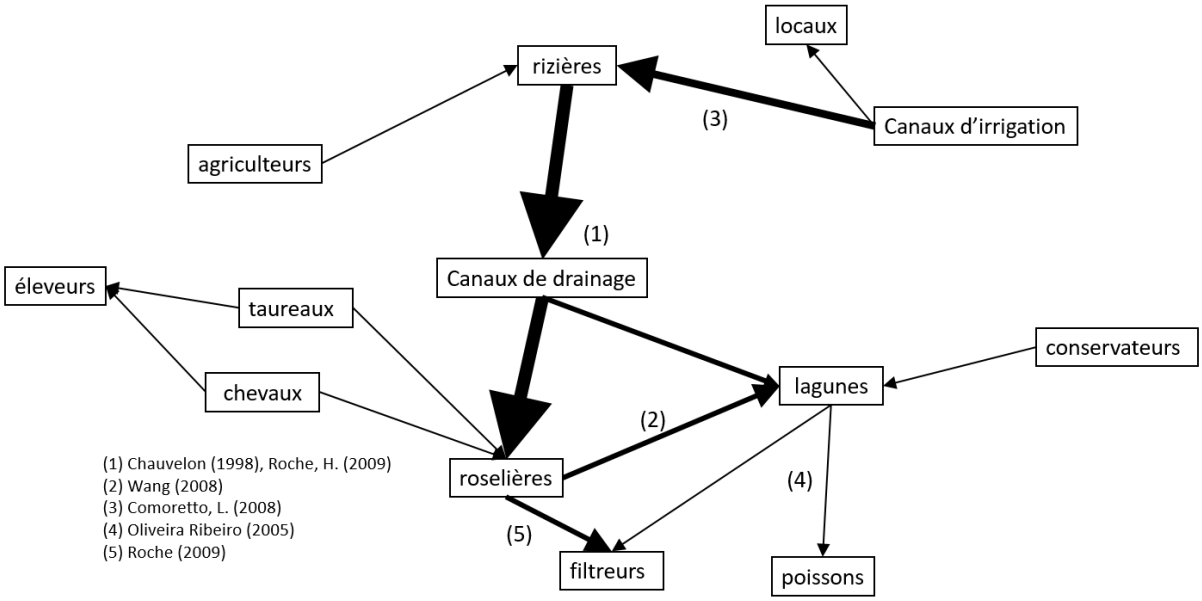
(1) Mathevet et al. (2018)
(2) Mathevet et al. (2018)

régulation du climat local	R



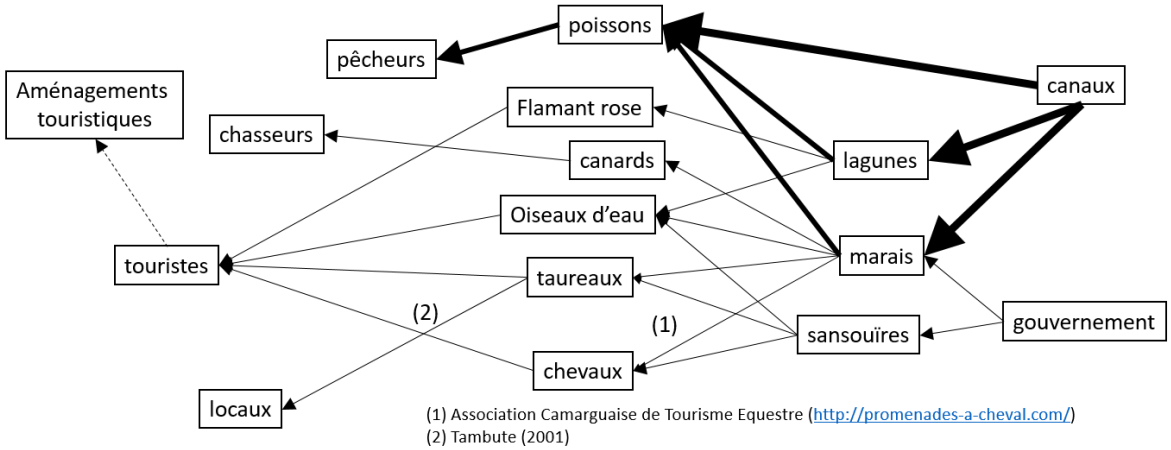
(1) Beaux, J.P. (1975)

filtration et régulation des conditions chimiques des eaux douces par des processus vivants	R



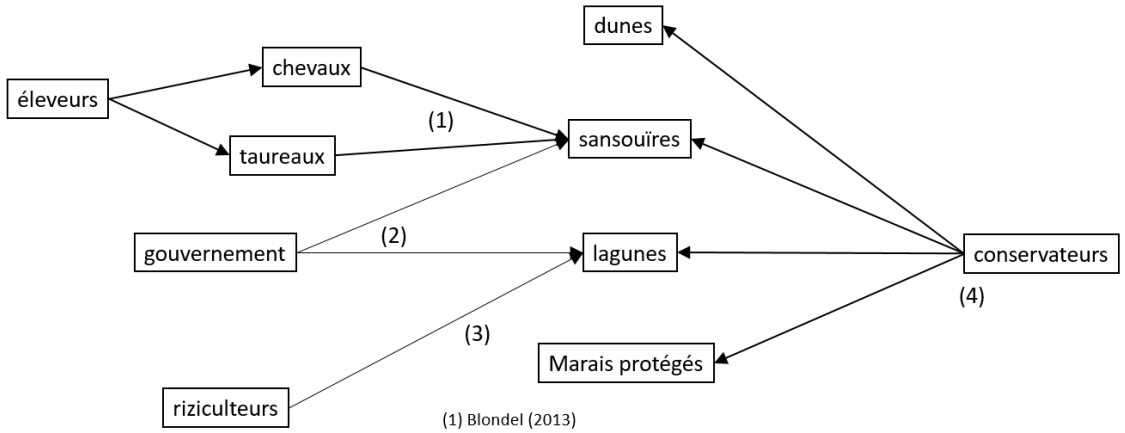
(1) Chauvelon (1998), Roche, H. (2009)
(2) Wang (2008)
(3) Comoretto, L. (2008)
(4) Oliveira Ribeiro (2005)
(5) Roche (2009)

Caractéristiques de sites permettant la pratique d'activités favorisant la santé ou le plaisir	C



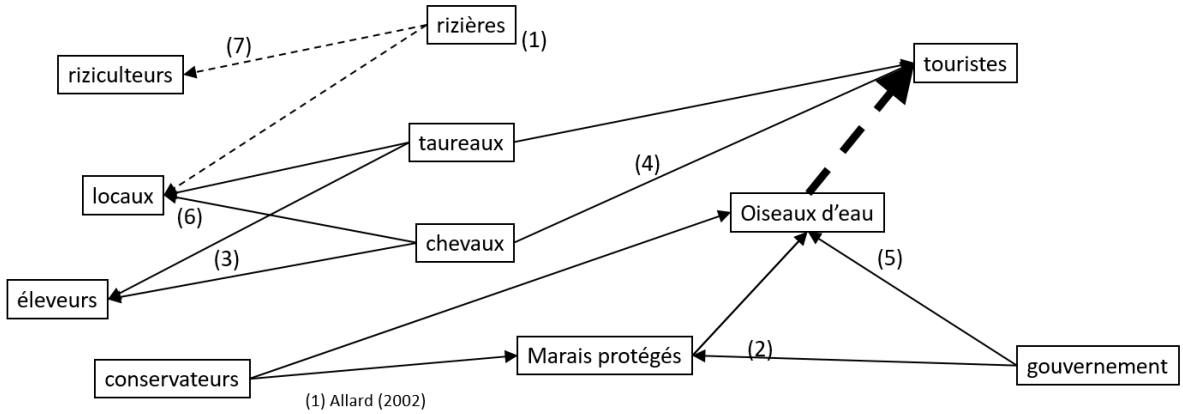
(1) Association Camarguaise de Tourisme Equestre (http://promenades-a-cheval.com/)
(2) Tambute (2001)

Caractéristiques ou fonctionnalités des sites ayant une valeur d'existence	C



(1) Blondel (2013)
(2) INPN NATURA 2000 (https://inpn.mnhn.fr/site/natura2000/FR9301592/tab/habitats)
(3) Heurteaux, P. (2009)
(4) http://www.parc-camargue.fr/index.php?pagendx=app_168

Caractéristiques de sites considérés comme culturels ou patrimoniaux	C



(1) Allard (2002)
(2) INPN NATURA 2000 (https://inpn.mnhn.fr/site/natura2000/FR9301592/tab/habitats)
(3) Blondel (2013)
(4) Tambute (2001
(5) INPN Habitat Faune Flore (https://inpn.mnhn.fr/site/natura2000/FR9301592/tab/especes)
(6) Pelen (1985)
(7) http://www.rizdecamargue.com/

Annexe 2 : Bibliographie utilisée pour la recherche et l'alimentation des services.

ALLARD, P. & LEVEAU, P. 2002. L'histoire de la Camargue au péril des reconstitutions identitaires. *Faire savoirs*:17–24.

BATHELEMY, C. & ROCHE, J. 2002. Pêche et pêcheurs en Camargue. *Courrier Parc Natur Région Camargue 52/53 88p*.

BEAU, J. P. 1975. La culture du riz en Camargue, aspects techniques et commerciaux actuels. *Méditerranée* 22:53–68.

BLONDEL, J., BARRUOL, G. ,. VIANET, R. 2013. *L'encyclopédie de la Camargue*. Buchet-Chastel. 351p.

BOUMAN, B. A. M., HUMPHREYS, E., TUONG, T. P. & BARKER, R. 2007. Rice and Water. Pp. 187–237 In *Advances in Agronomy 91:187-237*.

BROCHET, A. L. 2009. Conséquences des déplacements des canards pour la dispersion des graines, des invertébrés et des parasites. Thèse doctorat: systèmes intégrés en biologie, agronomie, géosciences, hydrosciences, environnement: Université Montpellier 2. 279p pp.

CHARBONNIER, E., RONCEUX, A., CARPENTIER, A.-S., SOUBELET, H. & BARRIUSO, E. 2016. *Pesticides: des impacts aux changements de pratiques*. Editions Quae.

CHAUVELON, P. 1998. A wetland managed for agriculture as an interface between the Rhône river and the Vaccarès lagoon (Camargue, France): Transfers of water and nutrients. Pp. 181–191 in Amiard, J.-C., Le Rouzic, B., Berthet, B. & Bertru, G. (eds.). *Oceans, Rivers and Lakes: Energy and Substance Transfers at Interfaces*. Springer Netherlands, Dordrecht.

COMORETTO, L., ARFIB, B., TALVA, R., CHAUVELON, P., PICHAUD, M. & HÖHENER, P. 2008. Runoff of pesticides from rice fields in the Ile de Camargue (Rhône river delta, France): Field study and modeling. *Environ Pollut 151 p486-493*.

DE GROOT, R. S., STUIP, M., FINLAYSON, M. & DAVIDSON, N. 2007. Évaluation des zones humides: Orientations sur l'estimation des avantages issus des services écosystémiques des zones humides. P. *Secrétariat de la Convention de Ramsar, Gland, Suisse et Secrétariat sur la diversité biologique, Montréal, Canada.(Rapport technique Ramsar n 3/Série des publications techniques de la CBD n 27)*.

DEFOS DU RAU, P. 2000. Gestion des marais de chasse méditerranéens. *ONCFS Rapport Scientifique p56-58*.

DEHORTER, O. & TAMISIER, A. 1996. Wetland habitat characteristics for waterfowl wintering in Camargue, Southern France: implications for conservation. *Revue d'écologie 2 : 161-172*

DELMOTTE, S. 2011. Evaluation participative de scénarios: quelles perspectives pour les systèmes agricoles camarguais? PhD Thesis, Montpellier SupAgro.

ELIFANTZ, H. & TEL-OR, E. (2002). Heavy metal biosorption by plant biomass of the macrophyte ludwigia stolonifera. *Water, Air and Soil Pollution* 141:207-218

ERNOUL, L., MESLÉARD, F. & BÉCHET, A. 2012. Diagnostic de l'échec de la contractualisation des mesures agri-environnementales pour réduire les incursions des Flamants dans les rizières de Camargue (France). *VertigO*.

D'EUROPE, C. & THIBAULT, M. (n.d.). DOCUMENT D'OBJECTIFS SITES NATURA 2000 «Camargue».

FUSTEC, É. & LEFEUVRE, J.-C. 2000. *Fonctions et valeurs des zones humides*. Dunod.

GAL, R., ISENMANN, P. & MEBREK, C. 2013. Evolution de l'occupation du sol en Camargue en 20 ans (1991-2011). P. 35p ill cartes phot coul. Parc naturel régional de Camargue.

GIRAUD, P. 2001. Les différentes utilisations du taureau de Camargue hors des arènes. PhD Thesis, .

GREEN, A. J. & ELMBERG, J. 2014. Ecosystem services provided by waterbirds. *Biological Reviews* 89:105–122.

HEURTEAUX, P. 1970. Rapports des eaux souterraines avec les sols halomorphes et la végétation en Camargue. *La terre et la Vie*.

IWAISHI, S. 2001. Effect of Organic Fertilizer and Effective Microorganisms on Growth, Yield and Quality of Paddy-Rice Varieties. *Journal of Crop Production* 3:269–273.

J-C, M. (n.d.). An integrated study of the development of organic rice cultivation in the camargue (france):11.

KONÉ, B., SAÏDOU, A., CAMARA, M. & DIATTA, S. 2010. Effet de différentes sources de phosphate sur le rendement du riz sur sols acides. *Agronomie Africaine* 22:55–63.

KONE, B., SAIDOU, A., CAMARA, M. & DIATTA, S. 2010. Effet de differentes sources de phosphate sur le rendement du riz sur sols acides. *Agronomie Africaine* 22.

MARNOTTE, P., CARRARA, A., DOMINATI, E. & GIRARDOT, F. 2006. Plantes des rizières de Camargue. *CIRAD Montpellier, Centre Français du Riz & Parc Naturel Régional de Camargue Arles (FRA) 262p ill*:262p ill.

MATHEVET, R., LUTZ, M. & MONDAIN-MONVAL, J. Y. 2004. La chasse au gibier d'eau en Camargue. Entre quête identitaire et récréation, enjeux économiques et préservation des zones humides dans les propriétés privées. *Zones Humides Infos 44 p11*.

MATHEVET, R., OLIVIER, A. & BÉCHET, A. 2018. Nuisibles d'hier et d'aujourd'hui : le lapin, le sanglier et le flamant dans la réserve de biosphère de Camargue. Pp. 173–187. Presses Universitaires de Rennes, Rennes, France.

METIVIER, A. J. 1998. Elevage bovin en Camargue: de la diversité de fonctionnement des systèmes d'élevage à l'utilisation pastorale des milieux humides. Institut Supérieur d'Agriculture Rhône-Alpes ISARA Lyon. 63p+ann ill cartes pp.

MIOSSEC, G. & GALLICE, A. 2007. L'élevage en prairies naturelles humides. Actes du colloque national de Fontenay-le-Comte, 28-29 septembre 2006. Pp. 335p ill* Aestuaria, cultures et développement durable (Paroles des Marais atlantiques) 11. Estuarium Cordemais.

NICOLAS, L., LIZEE, L. & GENEY, C. 2016. Vivre avec les moustiques en Camargue : un mal pour un bien ? *Zones Humides Infos* 92–93:11–12.

OLIVEIRA RIBEIRO, C. A., VOLLAIRE, Y., SANCHEZ-CHARDI, A. & ROCHE, H. 2005. Bioaccumulation and the effects of organochlorine pesticides, PAH and heavy metals in the eel (Anguilla anguilla) at the Camargue Nature Reserve, France. *Aquat Toxicol 74 p53-69*.

OLIVIER, A. & MONDAIN-MONVAL, J. Y. 2010. Le sanglier Sus scrofa. In: Mammifères de Camargue. POITEVIN F., OLIVIER A., BAYLE P. & SCHER O. Pp. p130-135. Tour du Valat, Arles.

PELEN, J.-N. 1985. Le pays d'Arles: sentiments d'appartenance et représentation de l'identité. *Terrain. Anthropologie & sciences humaines*:37–45.

PERNOLLET, C. A., MESLÉARD, F. & GUILLEMAIN, M. 2018. Importance des rizières pour la conservation des oiseaux d'eau en Camargue. Pp. 363–376. Cardère Editeur, Avignon.

ROCHE, H., VOLLAIRE, Y., MARTIN, E., ROUER, C., COULET, E., GRILLAS, P. & BANAS, D. 2009. Rice fields regulate organochlorine pesticides and PCBs in lagoons of the Nature Reserve of Camargue. *Chemosphere* 75:526–533.

SAUMADE, F. 1996. Race régionale, identité nationale. Pour une ethnologie des comportements électoraux. *Terrain. Anthropologie & sciences humaines*:101–114.

TAMBUTE, J. 2001. Le cheval Camargue, auteur de l'écosystème camarguais et agent de sa conservation. PhD Thesis, .

TOURENQ, C., BENHAMOU, S., SADOUL, N., SANDOZ, A., MESLÉARD, F., MARTIN, J.-L. & HAFNER, H. 2004. SPATIAL RELATIONSHIPS BETWEEN TREE-NESTING HERON COLONIES AND RICE FIELDS IN THE CAMARGUE, FRANCE. *The Auk* 121:192.

VELLY, R. L., HAMMOND, R. & MOURET, J.-C. 20139-10. How do the rice-growers in the Camargue (France) perceive sustainability issues? *Cahiers Agricultures*:418–423.

VIAL, R. & COLLIN, A. 2012. Plans nationaux d'actions en faveur des espèces menacées. Objectifs et exemples d'actions. *Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable, des Transports et du Logement La Défense (FRA) 43p ill*:43p ill.

WANG, W. & YIN, C. 2008. The boundary filtration effect of reed-dominated ecotones under water level fluctuations. *Wetlands Ecology and Management* 16:65–76.

YAU, G. 1999. Le pâturage à la Tour du Valat: comptabilité entre objectifs zootechniques et environnementaux en Camargue. DAA: gestion de l'espace rural et environnement: ENSA Montpellier. * 40p 6fig 9tabl pp.

Association Camarguaise de Tourisme Equestre (http://promenades-a-cheval.com/)

Association Riz de Camargue (http://www.rizdecamargue.com/)

Chasseurs de France (http://chasseurdefrance.com/chasser-en-france/le-permis-de-chasser/)

INPN Habitat Faune Flore (https://inpn.mnhn.fr/site/natura2000/FR9301592/tab/especes)

INPN NATURA 2000 (https://inpn.mnhn.fr/site/natura2000/FR9301592/tab/habitats)

Parc Camargue (http://www.parc-camargue.fr/index.php?pagendx=app_168)

Service public (https://www.service-public.fr/particuliers/vosdroits/F2118)