MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Présenté pour l'obtention
Du Master en Analyse et Politique économique
Spécialité : Economie Rurale et Stratégies des Entreprises Agroalimentaires (ERSEA)

Analyse Coûts-Bénéfices de l'inondation hivernale des rizières en Camargue





Par
Amadou NIANG

Sous la direction de:

Tuteur-enseignant
Hélène Rey-Valette

Tuteurs de stage :
Claire Pernollet et
Matthieu Guillemain

Septembre 2015

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Présenté pour l'obtention
Du Master en Analyse et Politique économique
Spécialité : Economie Rurale et Stratégies des Entreprises Agroalimentaires (ERSEA)

Analyse Coûts-Bénéfices de l'inondation hivernale des rizières en Camargue





Par
Amadou NIANG

Sous la direction de:

Tuteur-enseignant
Hélène Rey-Valette

Tuteurs de stage :
Claire Pernollet et
Matthieu Guillemain

Septembre 2015

Remerciements

Je tiens à remercier l'équipe du CNERA Avifaune Migratrice de l'ONCFS et celle de la Tour du Valat pour leur accueil, particulièrement mes co-encadrants Claire Pernollet et Matthieu Guillemain pour leur disponibilité, leur encadrement motivant et surtout la confiance et la liberté qu'ils m'ont accordées tout au long de ces 6 mois de stage. Merci chaleureusement!

Je remercie également Hélène Rey-Valette pour m'avoir suivi et conseillé et pour la confiance et les cours sur le « développement durable » qui ont été un plus pour la réalisation de ce document. J'exprime également mes reconnaissances à Michel Garrabé pour les cours sur « l'évaluation économique de projets » qui ont contribué à la réussite de ce travail et à me donner le goût de l'évaluation économique.

Merci à tous ceux qui m'ont aidé et ont contribué à ce travail par leur disponibilité, réponses, conseils et fourniture de données précieuses: Olivier Pineau, Anis Guelmami, Marie Suet et Coralie Beltrame de la Tour du Valat, Vincent Couderc, Jean Claude Mouret et Jean Marc Barbier de l'UMR-Innovation et INRA Montpellier, Stéphanie Cavé du SMGAS du pays d'Arles, Marie Granier et Anne Vadon du PNRC, Bertrand Mazel, président du Syndicat des Riziculteurs et Cyril Thomas du Centre Français du Riz et Gilbert Lannes du Cirad.

Enfin, mes remerciements et reconnaissances vont tout droit à et à ma famille et surtout à mes parents et à feu Ismaël Babady Camara ex directeur de l'APEK agriculture (mon premier employeur) qui m'ont encouragé et accompagné dans la reprise de mes études et ainsi contribué grandement à la réalisation de mon projet professionnel.

Sommaire

Résumé et mots clés

Liste des sigles

Introduction

1- Les termes de référence du stage

2- Présentation de la structure d'accueil

3- Présentation du plan de l'étude

Chapitre I: Présentation du contexte et de la problématique de l'étude

1- La zone d'étude

1-1-Le périmètre de la zone d'étude

1-2- Caractérisation du territoire de la zone d'étude en lien avec l'étude

2- Contexte et justification de l'étude

3- Présentation de la thèse doctorale dans laquelle s'inscrit l'étude

4- Problématique de l'inondation hivernale des rizières en Camargue

Chapitre II: Présentation de la méthodologie

1- Présentation de la méthode d'analyse coûts-bénéfices

1-1- Principe et justification de l'analyse coûts-bénéfices

1-2- Les différentes phases d'une analyse coûts-bénéfices

2- Méthodologie de l'étude

2-1- Principe et justification du choix de la méthode d'analyse

2-2- Règle de décision

2-3- Outils de collecte de données

Chapitre III: Présentation des résultats de la pratique l'analyse coûts-bénéfices de l'inondation hivernale des rizières en Camargue

1- Identification des itinéraires techniques : options à analyser

2- La situation de référence

3- Les horizons d'analyse

4- Identification des coûts et des bénéfices

4-1- Avantages et inconvénients des opérations culturales

4-2- Les coûts et les bénéfices identifiés

4-3- Justification des choix effectués

5- Quantification des coûts et des bénéfices

5-1- Evaluation économique des coûts

5-2- Evaluation économique des bénéfices

6- Elaboration des ratios bénéfices-coûts

6-1- Les ratios bénéfices-coûts pour l'exploitation agricole

6-2- Les ratios bénéfices-coûts pour la société

7- Analyse de sensibilité

Discussion des résultats et recommandation

Les limites et difficultés rencontrées

Conclusion et perspectives

Bibliographie

Liste des tableaux

Liste des figures

Table des matières

Annexes

Résumé:

La présente étude de fin d'études de master 2 «**Economie rurale et stratégies des entreprises agroalimentaires**» s'inscrit dans le cadre du programme de recherche «**riziculture et canards hivernants en Camargue**» et consiste en l'évaluation économique des conséquences agronomiques, économiques et écologiques d'une inondation hivernale des rizières en Camargue afin de déterminer si cette pratique inter-culturale serait économiquement viable. Pour ce faire, une évaluation économique de type Analyse Coûts-Bénéfices (ACB) a été réalisée. Tous les itinéraires techniques en inter-culture impliquant ou non une inondation hivernale mis en place en Camargue ont été identifiés et les six principaux ont été analysés. Les coûts et les bénéfices qu'ils impliquent ont été identifiés et quantifiés pour ensuite élaborer au travers des ratios bénéfices-coûts les indicateurs qui ont permis d'apprécier la viabilité socio-économique de chacun des itinéraires techniques, pour l'exploitation rizicole d'une part et de l'autre pour l'ensemble de la société. Ainsi, les résultats de l'étude ont permis de révéler que les pratiques du broyage-enfouissement des pailles de riz associées à une inondation hivernale des rizières, fournissent les bénéfices socio-économiques qui influent le plus positivement l'efficience de l'activité rizicole inter-culturale.

Mots clefs: Evaluation économique, analyse Coûts-Bénéfices, coûts, bénéfices, viabilité économique, rizière, pratiques inter-culturales, inondation hivernale, Camargue, canards hivernants, site d'alimentation.

Liste des sigles

ACB: Analyse Coûts-Bénéfices

ACE: Analyse Coûts-Efficacité

AMC: Analyse Multi-Critères

ASA: Association Syndicale Autorisée

BCAE: Bonnes Conditions Agricoles et Environnementales

BCMA: Bureau de Coordination du Machinisme Agricole

CAP: Consentement A Payer

CNERA: Centre National d'Etudes et de Recherche Appliquée

CL-LR: Conseil Régional-Languedoc Roussillon

DER: Direction des Etudes et de la Recherche

GES: Gaz à Effet de Serre

GIEC: Groupe Intergouvernemental d'Experts sur l'Evolution du Climat

INRA: Institut National de la Recherche Agronomique

ONCFS: Office National de la Chasse et de la Faune sauvage

PAC: Politique Agricole Commune

PACA: Provence-Alpes-Côte d'Azur

PNRC: Parc Naturel Régional de Camargue

PRG: Pouvoir de Réchauffement Global

RE: Rôle d'Exploitation

RO: Rôle Ordinaire

SMGAS: Syndicat Mixte de Gestion des Associations Syndicales

T**B:** Terre Basse

TDV: Tour du Valat

TH: Terre Haute

TRI: Taux de Rendement Interne

UMR: Unité Mixte de Recherche

USF: Unité Sanitaire de la Faune

VAN: Valeur Actualisée Nette

Introduction

1- Les termes de référence du stage

1-1- Le contexte du stage

En France, la culture du riz est presque exclusivement concentrée en Camargue, également premier site national d'hivernage des oiseaux d'eau (Deceuninck *et al.* 2014). Les rizières constituent un habitat favorable pour un grand nombre d'oiseaux d'eau en tant que halte migratoire, d'hivernage ou de zone de reproduction (Elphick *et al.* 2010). En hiver, les pratiques culturales post-récolte semblent fortement influencer la disponibilité et l'accessibilité des ressources alimentaires pour ces oiseaux (résidus de récolte, graines d'adventices) (Elphick *et al.* 2010).

En Janvier 2013, le Centre National d'Etudes et de Recherche Appliquée (CNERA) Avifaune Migratrice de l'Office National de la Chasse et de la Faune Sauvage (ONCFS) et la Station Biologique de la Tour du Valat (TDV) ont recruté une doctorante afin d'évaluer les conséquences des pratiques culturales post-récolte sur l'abondance et l'accessibilité des ressources alimentaires, ainsi que la fréquentation par les canards. Un des objectifs est de tester des pratiques alternatives au brûlage-labour traditionnel camarguais, en particulier via l'introduction d'une inondation hivernale des parcelles. Au vu des premiers résultats en termes écologiques et agronomiques cette pratique semble très favorable aux oiseaux d'eau, néanmoins une analyse des coûts et bénéfices restait à mener afin de pouvoir évaluer dans quelles conditions elle est applicable et réaliste.

1-2- Objectif du stage

Réaliser une Analyse Coûts-Bénéfices (ACB) de l'inondation hivernale des rizières en Camargue et évaluer si cette gestion est économiquement viable.

1-3- Missions

- Calcul des coûts des différents traitements de la paille (brûlage, broyage, inondation et combinaison)
- Calcul des coûts d'inondation
- Evaluation des pertes et gains agronomiques engendrés par l'inondation hivernale
- Evaluation des bénéfices économiques annexes : activités de loisirs (tourisme, chasse)
- Recherche relative aux supports financiers nécessaires: MAE, etc.
- Evaluation des services écosystémiques.

2- Présentation de la structure d'accueil

2-1- Généralités

L'Office National de la Chasse et de la Faune Sauvage (ONCFS) est un établissement public sous la double tutelle du Ministère de l'Ecologie et du Ministère de l'Agriculture. Créé en 1972, l'ONCFS vise à sauvegarder et à gérer durablement la faune sauvage et ses habitats autour de cinq missions qu'il assure dans l'ensemble du territoire national:

- La surveillance des territoires et la police de l'environnement et de la chasse,
- Des études et des recherches sur la faune sauvage et ses habitats,
- L'appui technique et le conseil aux administrations, collectivités territoriales, gestionnaires et aménageurs du territoire,
- L'évolution de la pratique de la chasse selon les principes du développement durable et la mise au point de pratiques de gestion des territoires ruraux respectueuses de l'environnement,
- L'organisation de l'examen et la délivrance du permis de chasser.

L'ONCFS est structuré en six directions opérationnelles et fonctionnelles qui mettent en œuvre son action dans leurs domaines de compétences respectifs. La Direction des Etudes et de la Recherche (DER) est l'une des trois directions opérationnelles de l'établissement, organisée en 5 Centres Nationaux d'Etudes et de Recherche Appliquée (CNERA) spécialisés dans les groupes d'espèces qui concernent le monde cynégétique, en plus d'une Unité Sanitaire de la Faune (USF).

2-2- Le CNERA Avifaune Migratrice

Le CNERA Avifaune Migratrice conduit des programmes d'études et de recherche sur les oiseaux migrateurs. Bien que l'étude de ces derniers soit complexe, de par les intérêts cynégétiques qu'ils suscitent et l'étendue de leur espace géographique, les programmes de recherche conduits par le CNERA Avifaune Migratrice tentent d'appréhender les mécanismes tels que la dynamique des populations ou la modification des habitats des espèces d'oiseaux migrateurs. Ainsi pour les espèces gibiers comme les anatidés (cygnes, oies, canards), ces programmes permettent de mieux comprendre l'évolution des populations et concilier durablement exploitation cynégétique et conservation des espèces. Les programmes d'études et de recherche du CNERA Avifaune Migratrice s'articulent en 5 pôles :

- Habitats - Zones humides
- Migrateurs terrestres (Alaudidés, Colombidés et Turdidés)
- Bécasse et bécassines
- Limicoles et espèces protégées
- Anatidés

3- Présentation du plan de l'étude

Le présent mémoire de fin d'étude s'organise autour de trois grands chapitres. Le premier s'attèle à caractériser la zone d'étude et à en présenter la problématique, puis le deuxième est consacré à la justification du choix méthodologique et la présentation des méthodes et outils d'évaluation mobilisés. Le troisième et dernier chapitre présente les résultats de l'application de la méthode d'Analyse Coûts-Bénéfices (ACB) à la problématique de l'étude. Dans ce chapitre, les résultats sont présentés en fonction des différentes étapes que recommande la pratique d'une ACB. Enfin sont présentés les résultats et les perspectives de l'étude.

Chapitre I: Présentation du contexte et de la problématique de l'étude

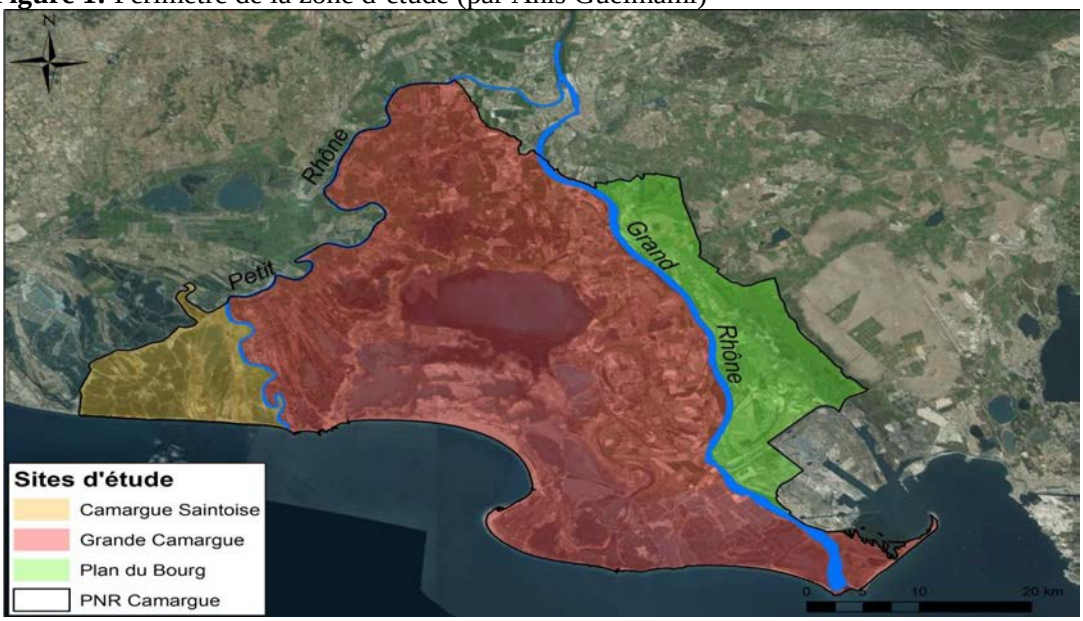
1- La zone d'étude

1-1- Le périmètre de la zone d'étude

La définition du périmètre d'étude est l'une des étapes fondamentales de la réalisation de toute étude d'évaluation économique. En effet, la délimitation géographique du périmètre d'étude permet dans le cadre d'une Analyse Coûts-Bénéfices (ACB) d'un projet de définir le territoire des différents acteurs qu'impacterait la mise en œuvre du projet. Dans le cadre de cette étude, le périmètre de l'étude concerne une partie du territoire camarguais. Pour des raisons d'accès aux données concernant la gestion des eaux d'irrigation et de drainage des rizières dans la partie gardoise de la Camargue, l'étude se concentre sur le territoire du Parc Naturel Régional de Camargue (PNRC), c'est-à-dire le territoire constitué des communes d'Arles, des Saintes-Maries-de-la-Mer et de Port-Saint-Louis-du-Rhône, relevant du département des Bouches-du-Rhône et de la région Provence-Alpes-Côte-d'Azur (PACA).

La Camargue dans son ensemble est un vaste territoire humide méditerranéen couvrant une superficie totale de 145.500 ha (PNRC 2009) située dans le sud-est de la France, à l'embouchure du Rhône. Elle est constituée de trois entités géographiques naturellement délimitées par le Rhône qui sont, d'ouest en est : la Petite Camargue, à l'ouest du petit Rhône, se partageant entre les départements du Gard (la Camargue gardoise) et les Bouches du Rhône (la Camargue Saintoise), la Grande Camargue enserrée par les deux bras du Rhône et la mer Méditerranée, et le Plan du Bourg dans la partie est du grand Rhône. Le périmètre du PNRC, d'une superficie de plus de 100.000 ha, couvre toutes les entités de la Camargue qui relèvent administrativement du département des Bouches du Rhône, c'est-à-dire la Camargue Saintoise, la Grande Camargue et le Plan du Bourg (cf. Figure 1).

Figure 1: Périmètre de la zone d'étude (par Anis Guelmami)



1-2- Caractérisation du territoire de la zone d'étude en lien avec l'étude

La Camargue est un territoire connu pour ses terres agricoles, ses milieux naturels, et leur richesse en avifaune. Elle accueille au total 398 espèces d'oiseaux, soit plus de la moitié des espèces connues en France (PNRC 2009). On dénombre en moyenne 150 000 canards hivernants en Camargue, faisant du territoire le premier site d'hivernage de canards en France (Deceuninck *et al.* 2014). L'occupation spatiale du sol est fonction de trois contraintes naturelles caractéristiques de la Camargue : la gestion de l'eau, le degré de salinité des terres et leur altimétrie. Selon la cartographie de l'occupation du sol du territoire du parc en 2011 (PNRC 2013a), les milieux naturels essentiellement composés de zones humides et les milieux cultivés représentent respectivement 58 et 25% du territoire.

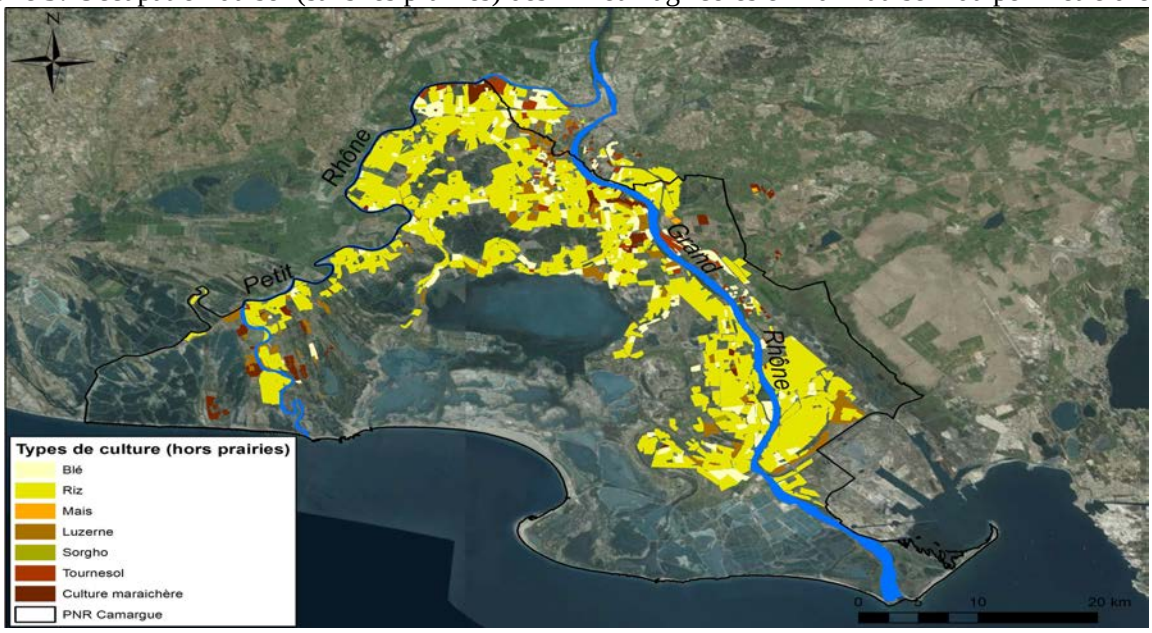
Les zones humides (41% des milieux naturels) sont principalement constituées de sansouires (larges étendues de Salicornes sp.), de marais et roselières et de marais salants, tous riches en faune et en flore et faisant l'objet d'un grand nombre d'usages. Des marais naturels sont aménagés dans des domaines privés pour des objectifs cynégétiques et d'exploitation du roseau. Le système de gestion des eaux d'irrigation agricole est mis à contribution pour l'apport en eau douce des marais, qui sont autrement souvent secs en été, pour les rendre attractifs aux oiseaux d'eau. Il en est de même pour certains marais naturels dans les aires protégées ouvertes au public pour le tourisme. L'exploitation du sel est aussi pratiquée. Des vastes espaces du territoire font l'objet de diverses mesures de protection règlementaire, contractuelle ou foncière pour la conservation et la préservation de la riche biodiversité camarguaise.

L'agriculture, pratiquée sur un quart du territoire du PNRC est dominée par la culture céréalière, en particulier le blé et le riz. En 2011, le riz était cultivé en Camargue sur plus de 15 000 ha soit 61,5% des milieux cultivés du territoire. En fonction de la topographie, les terres agricoles camarguaises sont réparties en « terres hautes » où l'altitude est supérieure à un mètre, par opposition aux « terres basses » (Monier *et al.* 2009). Le riz est cultivé sur les « terres hautes » en rotation avec d'autres céréales (blé, maïs, sorgho…) ou des fourrages (luzerne…), et en monoculture sur les « terres basses » hydromorphes difficiles à ressuyer (Mouret 2013, Mouret 2004), soit en 2011 dans le périmètre du PNRC sur 8 867 ha de « terres hautes » et 7 170 ha de « terres basses ». Les surfaces rizicoles en « terres hautes» et «terres basses» sont extraites sur QGis du croisement de la carte d'occupation du sol du PNRC 2011 et de la carte topographique du PNRC. (http://www.pnrpaca.org/carto/camargue/carte_mab_geomorpho/flash/index.php?CONTEXTMAP=626, consulté le 02 septembre 2015)**.** (cf. Figures 2 et 3 par Anis Guelmami)

Figure 2 : Altimétrie des milieux agricoles dans le périmètre du PNRC («terres hautes» et «terres basses»)

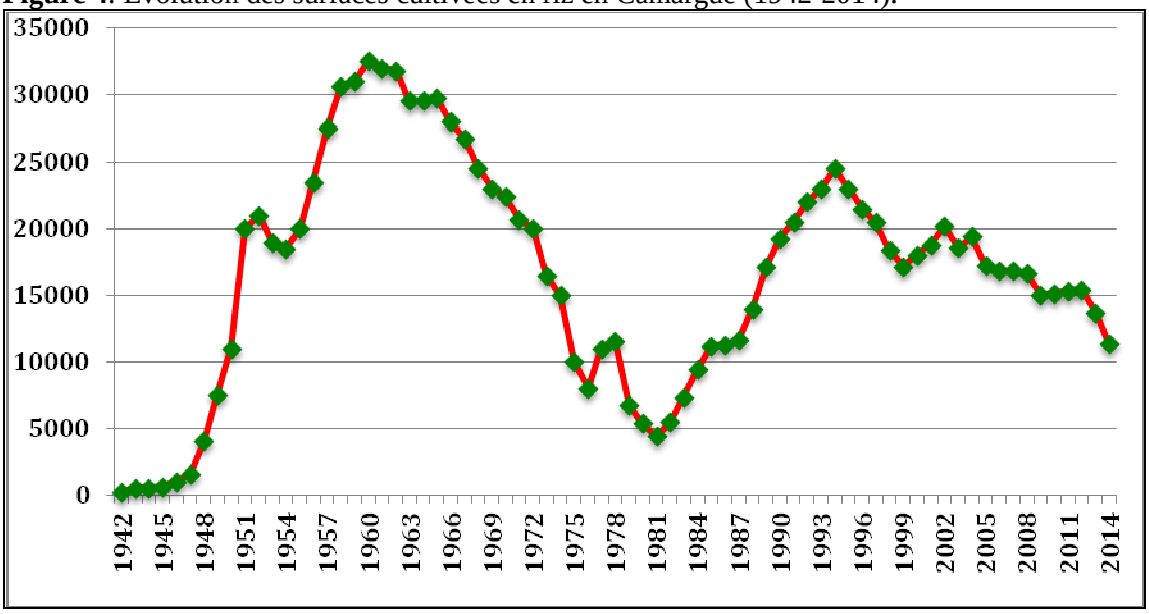


Figure 3: Occupation du sol (sans les prairies) des milieux agricoles en 2011 au sein du périmètre d'étude



La riziculture camarguaise est à la fois très dépendante des subventions et aides publiques et des fluctuations du marché (Lifran 2013). Cet état de dépendance et les contraintes écologiques liées à la présence du sel ont marqué l'évolution des surfaces agricoles cultivées en riz (Mouret 2013). D'après Mouret (2004), la riziculture camarguaise a connu une extension très importante après la seconde guerre mondiale, pour atteindre 33000 ha de riz cultivé en 1962, grâce notamment au plan Marshall. Elle connaît une crise dans les années 70 qui baissa les surfaces cultivées jusqu'à un minimum de 4 400 ha en 1981. Les plans de relance de la riziculture des années 80 et les aides de la Politique Agricole Commune (PAC) permettront de stabiliser les surfaces autour de 20 000 ha au cours des dernières décennies. Analysant l'évolution des surfaces cultivées en riz en Camargue, elles continuent à baisser ces dernières années, passant de 15 409 ha en 2012 à 11 390 ha en 2014 soit une baisse de 26,10% (cf Figure 4).

Figure 4: Evolution des surfaces cultivées en riz en Camargue (1942-2014).



France AgriMer, 2014 (http://www.franceagrimer.fr)

Le riz est cultivé en Camargue en mode conventionnel, le plus répandu, ainsi qu'en agriculture biologique sur près de 1 400 ha en 2011 (Palvadeau *et al.* 2012) prenant en compte les enjeux environnementaux de l'agriculture et les exigences sanitaires des consommateurs. La culture biologique du riz fait profiter les riziculteurs des avantages économiques que leur confère ce mode de culture labélisé bio. Des prîmes compensant les manques à gagner sont accordées aux riziculteurs qui s'engagent à mettre en œuvre des Mesures Agri-Environnementales et Climatiques (MAEC).

La riziculture joue un rôle fondamental dans l'équilibre de l'agro-écosystème camarguais (Mouret 2013). Elle permet le dessalement des terres agricoles pour laisser place aux cultures sèches avec lesquelles elle est en rotation dans les terres hautes. Pour les objectifs de dessalement des terres agricoles et les besoins en eau douce des cultures, un important réseau d'irrigation et de drainage des terres, constitué des canaux d'irrigation et de drainage et d'autres installations, couvre l'ensemble du territoire. Les réseaux d'irrigation et de drainage, fonctionnant distinctement d'une façon alternative, sont gérés par des Associations Syndicales Autorisées (ASA) d'irrigation et d'assainissement. Les canaux d'irrigation sont approvisionnés en eau à partir du Rhône par des pompes installées par les ASA le long des deux bras du fleuve. A partir des canaux d'irrigation les exploitants agricoles irriguent les parcelles d'une manière gravitaire pour les terres les plus basses, et par un second pompage pour les terres hautes (pompe italienne ou pompe privée). Inversement, les eaux excédentaires sont drainées de manière gravitaire des parcelles vers les canaux de drainage. Ainsi une partie des eaux sont évacuées de manière gravitaire vers l'étang de Vaccarès et la Mer en majorité par pompage vers le Rhône. Ce système collectif de gestion des eaux d'irrigation agricole ne concerne pas certaines exploitations agricoles le long des deux bras du Rhône, et disposant de leurs propres pompes d'irrigation.

Figure 5: Equipements d'irrigation agricole en Camargue



Canal d'irrigation ASA



Station de pompage ASA



Pompe italienne

Le système hydraulique agricole dans le territoire constitue un facteur de conciliation de nombreux usages en Camargue. Outre ses fonctions d'irrigation des cultures et de dessalement des terres pour la pratique agricole, le système hydraulique camarguais contribue à accroître ou à maintenir toute l'année des populations d'oiseaux d'eau qui sont le support d'activités cynégétiques ou naturalistes (Lavoux *et al.* 2011). En plus des zones humides qui servent de sites de remise et/ou d'alimentation aux canards hivernants en Camargue les milieux agricoles, notamment les rizières si elles sont inondées en hiver, sont très attractifs pour certaines espèces de canards qui les utilisent comme des sites d'alimentation nocturne ou «*gagnages*» (Tamisier et Dehorter, 1999; Pernollet *et al.* 2015).

2- Contexte et justification

En 2014 la riziculture a représenté en France métropolitaine près de 15.000ha de champs, principalement dans les Bouches-du-Rhône (11 329 ha) et le Gard (3 355 ha), majoritairement en Camargue. De manière générale, les rizières constituent des sites favorables à certaines espèces d'oiseaux d'eau en tant que zones de reproduction (Mañosa i Rifé 1997; Eadie *et al.* 2008), et aux canards hivernants en tant que sites d'alimentation hivernale (Tamisier et Dehorter 1999). Selon Mouronval *et al.* (2014), certaines espèces d'anatidés consomment préférentiellement les ressources alimentaires issues des rizières (résidus de récoltes et graines d'adventices). Ces ressources formeraient, entre octobre et janvier, les trois quarts du régime alimentaire des canards colverts (*Anas platyrhynchos*) et plus du tiers de celui des sarcelles d'hiver (*A. crecca*).

Les pratiques inter-culturales peuvent influer très fortement sur l'abondance et l'accessibilité des ressources alimentaires pour les oiseaux d'eau. Après la moisson, les pailles de riz sont brûlées sur 80% des rizières, le reste étant généralement enfoui (Monier *et al.* 2009). Le brûlage permet aux riziculteurs de passer rapidement aux opérations de déchaumage ou de labour des parcelles à l'automne, des pratiques qui ne sont pas favorables à l'utilisation des rizières par les canards (Pernollet *et al.* en préparation). Des études menées en Amérique du Nord ont prouvé que l'inondation hivernale des rizières pouvait être une alternative au brûlage des pailles de riz en aidant à leur décomposition, et favoriserait l'utilisation des rizières par les canards hivernants (Anders *et al.* 2008), ce qui pourrait être une pratique intéressante en Camargue. Certains riziculteurs camarguais craignent que le non-brûlage des pailles, qui fait partie des "Bonnes Conditions Agricoles et Environnementales" (BCAE) de la PAC, rende difficile la rotation des cultures et que l'inondation hivernale retarde le ressuyage des parcelles pour le semis au printemps (Monier *et al.* 2009). Il est possible, compte-tenu des restrictions liées aux problèmes de qualité de l'air, que les exploitants rizicoles Camarguais n'obtiennent plus à l'avenir les dérogations nécessaires pour brûler les résidus de récolte. Il leur est donc nécessaire de trouver une alternative efficace du point de vue agronomique tout en étant économiquement profitable.

Compte-tenu des intérêts agronomiques et écologiques potentiels de l'inondation hivernale des rizières observés dans d'autres régions en Europe et en Amérique du Nord, et compte-tenu des exigences de la PAC pour une agriculture durable, le CNERA Avifaune Migratrice de l'Office National de la Chasse et de la Faune Sauvage (ONCFS) et la Fondation Tour du Valat (TDV) ont entrepris depuis plus de deux ans un projet de recherche sur la «riziculture et canards hivernants en Camargue» via l'introduction d'une inondation hivernale dans les itinéraires techniques rizicoles. Les résultats après deux hivers d'expériences et d'observation ont montré qu'en plus des avantages agronomiques, l'inondation hivernale des rizières offre des habitats d'alimentation aux canards hivernants et augmenterait fortement la fréquentation nocturne des rizières par ces derniers (Pernollet *et al.* 2015).

Cependant, l'intérêt de ce travail de recherche ne peut s'arrêter aux simples résultats agronomiques et écologiques obtenus, tout satisfaisants qu'ils soient. Il semble en effet indispensable d'évaluer les conditions d'application d'une gestion inter-culturale des rizières camarguaises par une inondation hivernale. C'est pourquoi une évaluation économique de type Analyse Coûts-Bénéfices (ACB) semblait nécessaire pour répondre aux questions qui se posent sur l'opportunité économique et sociale d'un tel mode de gestion hivernale des rizières. Cette étude d'évaluation économique tentera donc de répondre aux questions de recherche suivantes:

- Combien coûterait une inondation hivernale des rizières en Camargue?

- L'inondation hivernale des rizières apporterait-elle des bénéfices socio-économiques et environnementaux aux acteurs concernés?
- Une inondation hivernale des rizières serait-elle économiquement viable pour les agriculteurs et socialement profitable pour le territoire?

La recherche de réponses à ces questions fait l'objet de ce présent travail de fin d'études de Master II «**Économie Rurale et Stratégies des Entreprises Agroalimentaires**», sur le thème: **«Analyse Coûts-Bénéfices de l'inondation hivernale des rizières en Camargue».** Ce projet s'est fixé pour objectifs spécifiques:

- d'identifier et d'évaluer les coûts et les bénéfices des différents itinéraires techniques potentiels en inter-culture incluant différents traitements des pailles de riz et d'inondation hivernale des rizières,
- d'évaluer les pertes et les gains agronomiques engendrés par l'inondation hivernale des rizières,
- d'évaluer les bénéfices économiques annexes et les services éco-systémiques engendrés par l'inondation hivernale des rizières,
- d'apporter des conseils aux utilisateurs et exploitants pour une meilleure prise de décision dans ce domaine.

3- Présentation du programme de recherche dans le quel s'inscrit cette étude

Plusieurs travaux de recherches avaient mis en évidence l'importance des rizières camarguaises pour les oiseaux d'eau (Mañosa i Rifé 1997; Tamisier et Dehorter 1999; Tourenq 2000). Le programme de recherche « **Influences des pratiques en inter-culture sur l'utilisation des rizières par les canards hivernants** » s'inscrit dans la continuité de ces travaux et de ceux du CNERA Avifaune Migratrice de l'ONCFS concernant l'exploitation de l'espace par les anatidés, notamment les rizières par les canards hivernants. Ce programme, entamé en janvier 2013, a pour objectif général de tester des pratiques post-récolte alternatives au brûlage-labour traditionnel Camarguais, en particulier via l'introduction d'une inondation hivernale des parcelles, et d'en mesurer les conséquences. Des traitements post-récolte tels que le brûlage des pailles, l'inondation, le labour ou le déchaumage sont donc appliqués à des parcelles tests permettant de mesurer les conséquences en termes de disponibilité des ressources alimentaires pour les oiseaux d'eau, de fréquentation nocturne des rizières par les canards et des potentiels avantages agronomiques pour les agriculteurs.

Après deux hivers d'observations et d'expériences sur plus de 50 rizières en Camargue, les résultats ont montré qu'en plus de l'aide à la décomposition des pailles de riz, l'inondation hivernale des rizières offre des habitats d'alimentation aux canards hivernants et augmente fortement la fréquentation nocturne des rizières par ces derniers. Selon les résultats de Pernollet *et al.* (en préparation), les rizières peuvent procurer en moyenne 329 (±54SE) kg/ha de riz et 132 (±20SE) kg/ha de graines d'adventices en début d'hiver dans les 5 premiers centimètres de sol, accessibles aux canards. Certains travaux du sol en profondeur tels que le labour réduisent fortement l'accessibilité de ces grains aux canards. Par contre, aucune différence n'est observée entre les parcelles roues cagées ou disquées et entre les parcelles brûlées ou broyées. En termes de fréquentation nocturne des rizières par les canards, une moyenne de 23,5 individus (±2,3SE) sur des rizières inondées et 0.03 (±0,01SE) canards sur rizières sèches ont été observées, démontrant l'attractivité naturelle des champs inondés pour ces oiseaux d'eau.

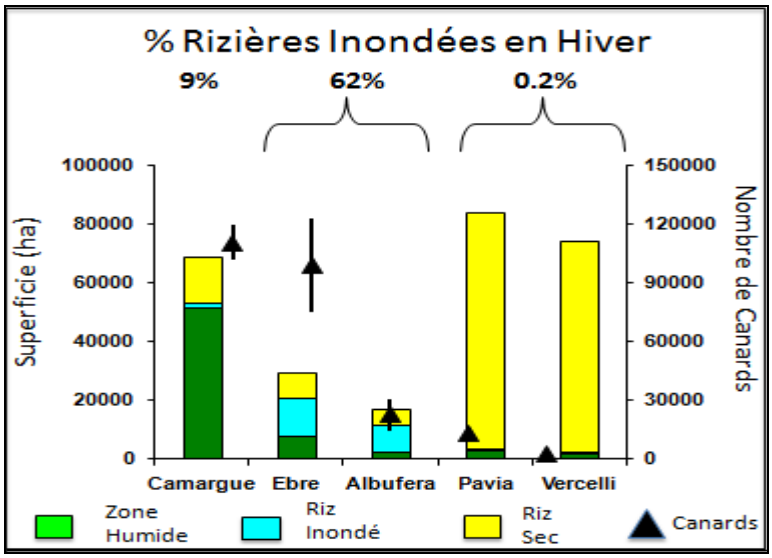
4- Problématique de l'inondation hivernale des rizières en Camargue

L'intégration des différents usages en Camargue est l'un des enjeux majeurs de la gestion durable du territoire. Le programme dans lequel s'inscrit ce mémoire fait partie des nombreux travaux de recherche en Camargue qui visent à concilier les enjeux agricoles et écologiques, notamment pour permettre une plus grande conservation des espèces d'oiseaux d'eau. Les rizières, « si elles sont inondées », serviraient aux canards de sites d'alimentation nocturne complémentaires aux zones humides naturelles (Pernollet *et al.* 2015).

Dans la vallée centrale de Californie en Amérique du nord, une région rizicole, le brûlage des pailles de riz après la récolte a été interdit au début des années 90, réclamant donc de trouver une alternative pour se débarrasser de la paille. L'inondation hivernale des rizières s'est avérée une alternative efficace,

favorisant non seulement la décomposition des pailles mais aussi la création d'habitats d'alimentation pour les oiseaux d'eau. Depuis, une inondation plus ou moins longue des rizières en hiver, précédée des opérations de déchaumage des parcelles, est pratiquée dans cette région (Eadie *et al.* 2008). Selon Pernollet *et al.* (2015) dans le delta de l'Ebre et dans l'Albufera de Valence, en Espagne, zones rizicoles méditerranéennes, 62% des rizières sont également inondées en hiver, grâce notamment à des Mesures Agri-Environnementales (MAE). Ceci a là encore permis d'augmenter considérablement les effectifs de canards hivernants dans ces régions. En Camargue, au contraire, l'inondation hivernale n'est essentiellement pratiquée que pour des raisons cynégétiques, et ne représente que seulement 9% des rizières. Un état des lieux des surfaces en zones humides naturelles, des rizières sèches et inondées en hiver et des effectifs moyens en canards hivernants dans cinq régions de production rizicole méditerranéennes est présenté dans la figure 6.

Figure 6: L'inondation hivernale de rizières en Europe de l'Ouest et l'abondance de canards hivernants dans chaque région (d'après Pernollet *et al.* 2015). Le Delta de l'Ebre et l'Albufera de Valence sont deux grandes zones humides de la façade méditerranéenne espagnole, Pavia et Vercelli sont deux provinces italiennes majeures en termes de riziculture. Les barres verticales représentent les erreurs standards sur les effectifs moyens de canards hivernants sur la période 2002-2012.



Les rizières utilisées comme gagnage nocturne par les canards peuvent être des territoires de chasse, une activité économique et récréative en Camargue qui apporte un revenu complémentaire aux exploitations agricoles. En plus des avantages écologiques et économiques de l'inondation des rizières en hiver, des avantages agronomiques sont aussi mis en évidence. L'inondation hivernale favoriserait les apports en matière organique aux sols des rizières grâce à l'accélération de la décomposition des résidus de culture (Anders *et al.* 2008). Elle entraînerait également la « perte de viabilité » à 95% du riz sauvage (Fogliatto *et al.* 2010 dans Pernollet *et al.* Sous presse), une adventice du riz cultivé très fréquente dans les rizières en Camargue. Green et Elmberg (2014) ont montré dans une revue bibliographique que l'inondation hivernale des rizières rend des services écosystémiques aux différents usagers des territoires concernés. Dans le cas du territoire camarguais nous avons identifié les services écosystémiques suivants que pourrait rendre l'écosystème rizicole s'il était inondé en hiver:

- Prélèvement alimentaire par la chasse aux canards
- Chiffre d'affaire de l'activité cynégétique
- Service recréatif par la chasse passion
- Maintien de la biodiversité
- Valeur esthétique paysagère
- Amélioration de la qualité d'eau
- Services agronomiques et environnementaux rendus par l'inondation (dégradation des paillers, dessalement des rizières, tamponnage des crues, etc).

Figure 7: Quelques services écologiques et écosystémiques rendus par l'agroécosystème rizicole inondé en hiver


Canards-rizière inondée


Chasse


Paysage hivernal

Inondation hivernale des rizières et difficultés de ressuyage des terres agricoles

La pratique de l'inondation des rizières Camarguaises en hiver pourrait potentiellement contribuer aux difficultés de ressuyage des parcelles et aggraver la vulnérabilité des terres agricoles et urbaines aux «risque d'inondation», compte tenu des entrées d'eau qu'elle engendre dans le territoire à une période de pluies abondantes. Le besoin en eau par hectare de rizières pour les canards est estimé entre 10.000 et 15.000m^3. Dans le cas où la totalité du volume d'eau serait apportée par irrigation, c'est-à-dire par pompage dans le Rhône, les eaux de pluie d'une moyenne mensuelle (entre octobre et février) sur le poste d'Arles entre 1977 et 2006 de 58,04 mm (PNRC 2013b), soit 580,4 m^3/ha, s'ajouteraient chaque mois aux entrées d'eau par irrigation. Ceci donnerait si la rentrée d'eau par pompage s'effectue une fois un volume maximal mensuel de 15 580,40 m^3/ha soit 177 460 756 m^3 d'eau en début de période et 204 000 000 m^3 d'eau entrée pour toute la période dans le territoire (Grande Camargue et Plan du Bourg, tenant compte de la surface en riz de 11.390 ha en 2014 dans les Bouches du Rhône, majoritairement en Camargue). Les stations de pompage évacuent la grande partie des eaux excédentaires de la Grande Camargue et le reste peut s'évacuer de manière gravitaire par les pertuis à la Mer et l'étang de Vaccarès et par évaporation et évapotranspiration très fortes en été. En période hivernale, les sorties d'eau se font exclusivement par pompage vers le Rhône et de manière gravitaire vers le Vaccarès et la Mer, l'évaporation et l'évapotranspiration étant quasiment nulles, selon les dires d'expert.

Le « risque d'inondation » par submersion ou par rupture des digues de protection de la Grande Camargue sont d'ores et déjà présents. Les fortes précipitations entre septembre et janvier (en moyenne 57% des pluies annuelles) correspondant à la période des fortes crues du Rhône et les capacités de pompage limités des pompes d'assainissement de la grande Camargue (Chauvelon 2013) combinées aux entrées d'eau par pompage pourraient potentiellement augmenter ce «risque d'inondation» en hiver. Les crues du Rhône des années 1993 et 1994 servant de références, elles ont montré les limites des capacités d'évacuation des eaux et la vulnérabilité des terres aux inondations (PNRC 2013b). Afin de réduire au maximum les difficultés de ressuyage des terres en période d'inondation, les acteurs de la gestion de l'eau en Camargue se coordonnent dans le cadre du volet « risque d'inondation » du « Plan Rhône », allant dans le sens d'une amélioration des capacités d'évacuation des eaux par les ASA et de renforcement des digues de protection contre les crues du Rhône.

Chapitre II: Présentation de la méthodologie

1- Présentation de la méthode d'analyse couts-bénéfices

1-1- Justification et principe de l'analyse couts-bénéfices

Dans la mise en œuvre de projets ou de politiques, les décideurs ont besoin d'outils d'aide à la décision dont un ensemble de méthodes d'évaluation économique font partie. Les méthodes les plus complètes connues sont l'analyse coûts-efficacité (ACE), l'analyse multicritères (AMC) et l'analyse coûts-bénéfices (ACB) (Pearce *et al.* 2006).

L'ensemble de ces trois méthodes d'analyse économique suivent la même démarche permettant non seulement de prendre en compte tous les coûts et les conséquences qu'implique l'exécution du projet, mais également d'évaluer les coûts et les conséquences de toutes les options alternatives possibles de mise en œuvre du projet (CR-LR 2011). Si l'ACE et l'AMC permettent d'évaluer et de classer les options

possibles du projet, elles ne permettent pas leur comparaison car les coûts et les bénéfices sont exprimés dans des unités différentes (physique, monétaire…), contrairement à l'ACB qui les évalue dans une même unité monétaire, facilitant ainsi leur comparaison et le choix de l'option du projet la plus rentable (Pearce *et al.* 2006; Meunier et Mardsen 2009).

L'ACB, encore appelée Analyse Coûts-Avantages (ACA), tire ses fondements théoriques de l'économie du bien-être, les bénéfices et les coûts étant respectivement définis comme des gains et des pertes d'utilité ou de bien-être humain. La pratique de l'ACB exige la considération de l'ensemble des gains et des pertes sociaux individuels dans une vision plus large de tous les aspects du projet à analyser. Dans cette optique de l'ACB, tous les coûts et les avantages sociaux et environnementaux du projet sont intégrés dans l'analyse (Pearce *et al.* 2006). Se fondant sur les critères d'efficience économique, les indicateurs d'aide à la décision les plus utilisés dans une ACB sont la Valeur Actualisée Nette (VAN), le Taux de Rendement Interne (TRI) et le ratio Bénéfices-Coûts (B/C) (Garrabé 1994). La règle de décision est simple, un projet est jugé socialement acceptable si l'ensemble des bénéfices sociaux induits sont supérieurs aux coûts consentis pour sa réalisation (Meunier et Mardsen 2009), c'est-à-dire que la VAN soit positive ou que le ratio B/C soit supérieur à 1, le TRI correspondant à une VAN nulle (Pearce *et al.* 2006; CR-LR 2011).

Une ACB peut être réalisée avant le début du projet (ex-ante) ou après la fin du projet (ex-post). Pour l'exécution de tout projet, une appréciation est normalement portée sur sa faisabilité économique et, par conséquent, la plupart des ACB sont ex-ante (CEPRI 2011).

1-2- Les différentes phases d'une analyse couts-bénéfices

La réalisation dans les règles de l'art d'une ACB de projet nécessite le respect par l'analyste de différentes étapes successives. Les étapes décrites ci-dessous sont inspirées de différents auteurs (Garrabé 1994 ; Meunier et Mardsen 2009 ; Pearce *et al.* 2006). Bien qu'ils présentent de légères différences dans la configuration des phases, tous se rejoignent en termes d'objectifs recherchés et d'informations mobilisées.

1-2-1- Définition des objectifs

La définition des objectifs du projet à évaluer est essentielle dans le processus de la pratique d'une ACB, car elle permet de mesurer les potentiels effets induits du projet. D'une manière générale, l'ACB cherche à déterminer si l'exécution du projet considéré procure des avantages socio-économiques sur le territoire en fonction des objectifs.

1-2-2- Identification des options

La seconde phase de la pratique de l'ACB consiste en l'identification de tous les scénarios envisageables, c'est-à-dire l'ensemble des alternatives. Plusieurs options peuvent être étudiées, mobilisant différents moyens et impactant différents acteurs dans le territoire. Parmi toutes les options à envisager, la situation « sans projet », c'est-à-dire, la situation dans laquelle aucune décision de changement majeur n'est envisagée pour renverser la situation actuelle, donc le statu quo, ne doit pas être omise. Il peut être parfois seulement nécessaire d'améliorer le statu quo sans faire de gros investissements. Les différentes options identifiées devront être comparées à une situation de référence (situation sans projet).

1-2-3- Définition de la situation de référence

Dans cette phase, il est indispensable de définir la situation « sans projet » qui doit servir de base de comparaison avec les autres options « avec projet », permettant ainsi de mesurer les avantages nets du projet. L'intérêt de l'évaluation de la situation de référence réside dans le fait qu'elle permet d'évaluer les avantages nets induits du projet.

1-2-4- Identification des coûts et des avantages

Une fois les différentes options définies, l'étape suivante correspond à l'identification de tous les avantages et inconvénients possibles de chacune des options envisagées et à l'attribution d'indicateurs de mesure. L'identification des coûts et des avantages peut se faire par une revue de la littérature sur le sujet et de projets semblables, ou des entretiens avec des personnes ressources et les acteurs concernés sur le territoire d'étude. L'exhaustivité des coûts et des bénéfices est recherchée même si cet objectif est

difficile à atteindre. Leur identification peut permettre d'atteindre un nombre important de coûts et de bénéfices potentiels, mais certains pouvant parfois être d'une moindre importance, il faut parfois procéder à un tri. Certains coûts et bénéfices identifiés comme les transferts (primes d'assurance, taxes professionnelles…) ne sont pas comptabilisés dans une ACB et il faut éviter le double comptage des coûts et des bénéfices.

1-2-5- Etablissement des horizons d'analyse

La définition de l'espace géographique et de l'horizon temporel d'analyse du projet est essentielle dans la pratique d'une ACB, car les bénéfices et les coûts identifiés doivent être circonscris dans le temps et dans l'espace. La dimension spatiale concernée par l'analyse correspond généralement aux territoires des différents acteurs directement ou indirectement impactés par la mise en œuvre du projet. L'horizon temporel correspond aux différentes périodes d'apparition des conséquences du projet, dont certaines sont observées dès la première année de mise en œuvre alors que d'autres sont attendues à long terme. C'est en particulier le cas dans l'analyse coûts-bénéfices des projets environnementaux, où la durée d'analyse est fixée à une longue période possible d'observation des impacts du projet. Pour d'autres cas tels que des projets d'aménagement routier, l'horizon temporel correspond à la durée de vie des investissements effectués.

1-2-6- Quantification des coûts et des bénéfices

Après l'identification des coûts et des bénéfices et leur attribution aux acteurs concernés, l'étape suivante consiste à les estimer par des méthodes d'évaluation économique appropriées. L'évaluation des coûts et des bénéfices fait appel à des méthodes de valorisation différentes selon leur nature. Les coûts et les bénéfices doivent non seulement être évalués en prenant en compte des disfonctionnements du marché, tels que les effets de l'inflation, mais doivent également l'être à la même année (le plus souvent l'année de l'évaluation) pour être comparables.

1-2-7- Actualisation des coûts et des bénéfices futurs

Parmi les coûts et les bénéfices attendus, certains apparaitront plusieurs années après la mise en œuvre des options. La pratique de l'analyse coûts-bénéfices implique une actualisation des coûts et des bénéfices qui s'étaleront dans l'horizon temporel à une date commune pour être comparables. Cette actualisation dans le cadre de la pratique d'une ACB s'effectue à l'aide d'un taux d'actualisation fixé en France à 2,5% qui s'inspire du principe économique qui voudrait qu'une valeur monétaire perçue aujourd'hui soit préférable à la même valeur monétaire attendue dans le futur.

1-2-8 Elaboration d'indicateurs de décision

Cette phase de l'analyse coûts-bénéfices consiste, à partir des valeurs économiques des coûts et des bénéfices évalués, à définir des indicateurs permettant d'apprécier les différentes options envisagées du projet en termes de bénéfices nets. Les indicateurs les plus connus et utilisés restent le ratio Bénéfices-Coûts (B/C), la Valeur Actualisée Nette (VAN) et le Taux de Rendement Internet (TRI).

1-2-9- Analyse de sensibilité

Cette dernière phase consiste à effectuer une analyse d'incertitude des résultats de l'analyse en faisant varier les différents paramètres tels que le taux d'actualisation, l'horizon temporel (etc…) du projet afin de vérifier la robustesse des résultats de l'analyse.

1-3- Méthodes de quantification des coûts et des bénéfices

Dans le cadre de la pratique d'une ACB, l'évaluation concerne non seulement les flux financiers induits par le projet mais aussi les gains et les pertes non marchands qui doivent être monétarisés. L'évaluation des coûts et des bénéfices fait appel à des méthodes de valorisation différentes selon leur nature. Ainsi, l'évaluation économique des **coûts marchands** engendrés par la consommation de biens et de services comme la main d'œuvre, le carburant… qui ont une valeur sur le marché, est facilitée par la **lecture de leur prix sur ce marché** malgré des distorsions possibles du marché, d'où l'intérêt de la rectification des prix. Les facteurs de production sollicités pour la mise en œuvre d'un projet, et qui ne sont plus disponibles pour une autre meilleure alternative, sont des bénéfices perdus qui engendrent des **coûts**

d'opportunité pour ces meilleures autres alternatives du projet. L'évaluation des coûts d'opportunité dépend de leur nature, selon qu'ils soient marchands ou non-marchands. Les biens et les services hors marché identifiés comme des coûts et des avantages, comme c'est le cas des externalités environnementales, sont qualifiés de biens **non-marchands.** L'évaluation économique de ces derniers fait appel à des méthodes de valorisation dites de **préférence révélée,** de **préférence déclarée** et des méthodes basées sur les **coûts observables** qui permettent de donner à ces biens non-marchands des valeurs économiques monétaires et d'assurer leur comparabilité avec les biens marchands (Bouscasse *et al.* 2011). L'application de ces trois dernières méthodes de valorisation dépend de la valeur des biens non-marchands à mesurer et se base sur le calcul des valeurs d'utilité des usagers du territoire en question. La mesure des valeurs des services ecosytémiques rendus aux hommes par les écosystèmes est assimilée à l'utilisation des ces méthodes de valorisation (Brahic 2013). Sans rentrer dans le détail, nous résumons ici les différentes méthodes de quantification des biens non-marchands.

Les méthodes basées sur les préférences révélées par des comportements observés sur des marchés, sont constituées des méthodes dites de coûts évités, des prix hédoniques et la méthode des coûts de transport (Brahic 2013; Pearce 2006). Les méthodes basées sur les préférences déclarées des usagers du territoire en question lors d'enquête par questionnaires sont constituées des méthodes d'évaluation contingente, d'analyse conjointe et la méthode de transfert de valeurs d'une zone d'étude à une zone d'intérêt ou méta-analyse (Bouscasse *et al.* 2011; Boyer 2013). Enfin, certaines méthodes sont basées sur les coûts observables directement ou indirectement par des effets de productivité d'une ressource épuisable. La valeur de la ressource est assimilée au coût de remplacement ou de restauration ou encore à la perte de production qui résulterait de sa disparition (Garrabé 1994; Bouscasse *et al.* 2011).

2- Méthodologie de l'étude

2-1- Principe et justification du choix de la méthode d'analyse

Conformément aux objectifs et aux questions de recherche de cette étude, cités dans le contexte et la justification ci-dessus, nous allons procéder à l'identification et à l'étude comparative des itinéraires techniques en inter-culture impliquant ou non une inondation hivernale des rizières. Pour ce faire, seront prises en compte toutes les opérations culturales concernant les pratiques en inter-culture de gestion des résidus de culture, incluant la moisson du riz et toutes les opérations d'enfouissement des pailles de riz, c'est-à-dire le travail en profondeur ou superficiel du sol pour l'incorporation des résidus de culture aux sols des rizières. En Camargue, comme souligné dans le chapitre I, le riz se cultive à la fois en mode biologique et conventionnel. Dans cette étude n'est considérée que la culture en mode conventionnel qui est largement le plus répandu dans la riziculture camarguaise, le mode biologique n'étant pratiqué que sur 6% des surfaces cultivées en 2011 (Palvadeau *et al.* 2012). Les itinéraires de conduite des cultures sont variés et complexes d'une exploitation à une autre, voire dans une même exploitation. Nous avons sélectionné une série d'itinéraires techniques potentiels à analyser selon une série de critères. Le premier choix se porte sur l'itinéraire le plus commun à toutes les exploitations, c'est-à-dire le brûlage-labour. Sont ensuite considérés les itinéraires alternatifs, avec ou sans inondation hivernale (voir liste dans le chapitre III). L'étude que nous effectuons doit permettre d'approuver ou non la pratique par les exploitations agricoles de l'inondation hivernale des rizières en tant qu'opération intégrante des pratiques inter-culturales. Pour cela, nous allons procéder à l'évaluation de l'efficience socio-économique de l'inondation hivernale des rizières pour les exploitations agricoles d'une part, et pour l'ensemble de la société camarguaise d'autre part.

La méthode d'Analyse Coûts-Bénéfices (ACB) se fondant sur les notions d'efficience économique et d'équité intergénérationnelle (Garrabé 1994) est l'outil d'évaluation économique le plus approprié pour cette étude. Comme souligné plus haut dans ce chapitre, l'ACB contrairement à l'ACE et l'AMC est la seule méthode qui exprime les coûts et les bénéfices en une unité mesurable qui est la monnaie, permettant ainsi de comparer et de classer les options (itinéraires techniques) en fonction de leur efficience. Pour cette raison, notre choix s'est porté sur une ACB, d'autant que l'objectif visé dans cette étude est d'apporter une aide pour le choix des meilleurs itinéraires par les décideurs. En outre, l'activité que nous analysons ici est une activité économique agricole dont la mise en œuvre des opérations inter-

culturales induit des effets socio-économiques et environnementaux sur l'ensemble du territoire et dont le choix par les agriculteurs constitue un élément décisif.

2-1-1- Règle de décision

La Valeur Actuelle Nette (VAN) est l'indicateur de décision le plus utilisé dans la pratique de l'ACB. Son élaboration suppose l'étalement à long terme des coûts et des bénéfices, alors que dans le cas de la présente étude, le flux des coûts et des bénéfices de l'activité est quasiment attendu à la même année que la mise en œuvre de l'activité, puisque celle-ci est une activité agricole annuelle. Nous avons donc fait le choix d'élaborer le ratio bénéfices-coûts (B/C) comme indicateur de décision au lieu de la VAN. La règle de décision par le ratio bénéfices-coûts demande que ce dernier soit supérieur à 1 pour que le projet soit approuvé. La décision par le ratio permet également de classer par ordre décroissant les différentes options du projet et de choisir l'option qui a le plus grand ratio, en cas de rationnement et d'exclusion mutuelle des options (Pearce *et al.* 2006; Meunier et Mardsen 2009). Le calcul du ratio B/C se fait par la formule suivante:

$$\text{Ratio bénéfices-coûts (B/C):} \quad \frac{\text{Somme des bénéfices marchands et non marchands produits par l'activité}}{\text{Somme des coûts marchands et non marchands consentis pour l'activité}}$$

2-1-2- Outils de collecte des données

La collecte de données fut possible grâce:

- A une revue documentaire : une littérature très riche existe sur les pratiques culturales, la gestion des résidus de cultures et sur les rizières et oiseaux d'eau dans les zones humides à travers le monde, notamment en région méditerranéenne, et plus particulièrement de l'inondation hivernale des rizières en Amérique du nord (Monier *et al.* 2009; Anders *et al.* 2008; Pernollet *et al.* 2015; Tamisier et Dehorter 1999; Mathevet 2000). Par contre, aucune publication à notre connaissance ne fournit de réelle ACB d'une inondation hivernale de rizières. Pour ce faire, nous avons exploité la littérature très riche sur la méthodologie générale de la pratique de l'ACB (Garrabé 1994) et sur les ACB appliquée à la prévention des risque (Meunier et Mardsen 2009; CEPRI 2011) et l'évaluation des services écosystémiques généralement consacrée aux zones humides (Pearce *et al*. 2006, Bouscasse *et al.* 2011; Brahic 2013). Nous signalons que le rapport d'une analyse économique des investissements publics dans l'agriculture et l'environnement en Camargue (Calvet *et al.* 2011) a largement servi pour la collecte de certaines données qui nous étaient indispensables.
- A des entretiens avec des experts spécialistes de la riziculture en Camargue et de la gestion de l'irrigation et du drainage agricole. Nous avons participé au début de notre stage à une réunion de présentation de la thèse doctorale au sein de laquelle s'inscrit ce travail et qui nous a servi à présenter les objectifs de notre stage en particulier à des experts agronomes. Nous nous sommes également entretenus avec des acteurs de la gestion de l'eau dans les rizières du Syndicat Mixte de Gestion des Associations Syndicales du pays d'Arles (SMGAS) et du PNRC, ainsi qu'avec le directeur du domaine (y compris la partie rizicole) de la TDV. D'autres personnes ressources ont apporté soit par entretien téléphonique soit par échange d'e-mails leur contribution. Ces entretiens nous ont permis d'obtenir toutes les données dont nous avions besoin pour la réalisation de cette étude.
- A une enquête restreinte réalisée auprès de 15 exploitations agricoles camarguaises qui nous a permis de recueillir quelques données sur les coûts, les modes de gestion hivernale des rizières et quelques difficultés rencontrées par les riziculteurs.

Chapitre III: Présentation des résultats de l'analyse coûts-bénéfices de l'inondation hivernale des rizières en Camargue:

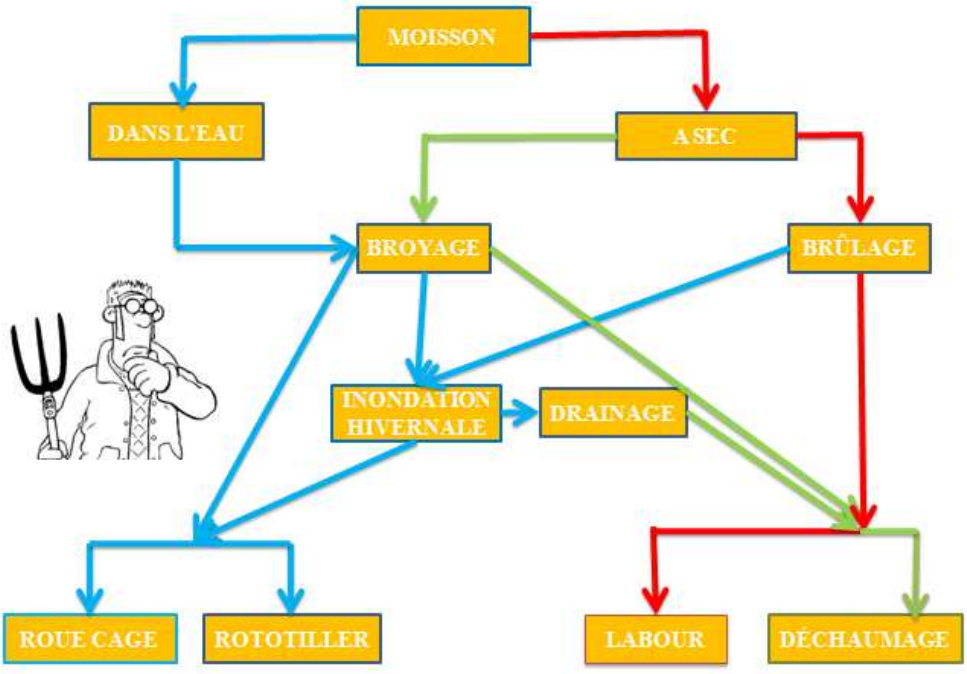
Les différentes étapes de notre méthodologie d'analyse des itinéraires techniques s'inscrivent dans le respect des phases de réalisation d'une analyse coûts-bénéfices développée dans le précédent chapitre. Les étapes ont été adaptées aux besoins de la présente étude.

1- Identification des itinéraires techniques : options à analyser

Le système rizicole camarguais se caractérise par une diversité des itinéraires techniques mis en place par les agriculteurs. Les opérations culturales successives vont de la gestion des résidus de culture à la récolte, en passant par la préparation du sol, la mise en place des cultures, la gestion de l'eau et le traitement phytosanitaire. Notre étude se focalise sur les pratiques inter-culturales qui ont un effet sur l'abondance et la disponibilité des ressources alimentaires des rizières pour les oiseaux d'eau hivernants en Camargue. Ce sont les opérations de gestion sur les parcelles des résidus de culture précédente, c'est-à-dire les opérations qui consistent à brûler les pailles ou à les broyer et à les incorporer dans le sol. Les opérations d'incorporation dans le sol des biomasses (pailles, chaumes et racines) s'effectuent soit dans l'eau avec une inondation hivernale par des roues-cages ou rototiller, soit à sec par une opération de labour (charrue) ou de déchaumage (cover-crop).

Ainsi, la construction des itinéraires techniques se fait sur la base des différents modes de gestion des pailles de riz sur la parcelle, impliquant ou non une inondation hivernale. L'exportation des pailles hors de parcelles n'a pas été considérée car extrêmement peu fréquente (données d'assolement par F. Cavallo et al. non publiées). Nous avons jugé nécessaire d'intégrer la moisson parmi les opérations pour nous permettre de prendre en compte la différence de coûts entre les itinéraires dont la moisson se fait dans l'eau et ceux dont la moisson se fait à sec. Le schéma en Figure 8 représente les différents itinéraires techniques potentiels mis en place par les riziculteurs en Camargue, illustrant la multiplicité des pratiques utilisées dans la conduite des cultures.

Figure 8: Schéma des itinéraires techniques inter-culturaux en riziculture camarguaise.



Le tableau 1 récapitule tous les itinéraires techniques schématisés ci-dessus et classés en fonction des pratiques de gestion des pailles dans les rizières, avec ou sans inondation hivernale. Parmi l'ensemble des itinéraires possibles, six sont les plus communs à toutes les opérations agricoles ou plus à même d'influencer les disponibilités des ressources alimentaires pour les oiseaux d'eau, et sélectionnés pour être analysés dans cette étude (en couleurs dans le tableau 1).

Tableau 1: Les itinéraires techniques à analyser

N°	Option	Itinéraire
1	**Brûlage Travail du sol à sec**	Moisson à sec-Brûlage-Labour
2		Moisson à sec-Brûlage-Déchaumage
3	**Broyage Enfouissement à sec**	Moisson à sec-Broyage-Labour
4		Moisson à sec-Broyage-Déchaumage
5	**Brûlage Inondation hivernale**	Moisson à sec-Brûlage-Inondation-Drainage-Labour
6		Moisson à sec-Brûlage-Inondation-Drainage-Déchaumage
7		Moisson à sec-Brûlage-Inondation-Roues cages-Drainage
8		Moisson à sec-Brûlage-Inondation-Roto tiller-Drainage
9	**Broyage Inondation hivernale**	Moisson à sec-Broyage-Inondation-Drainage-Labour
10		Moisson à sec-Broyage-Inondation-Drainage-Déchaumage
11		Moisson à sec-Broyage-Inondation-Roues cages-Drainage
12		Moisson à sec-Broyage-Inondation-Rototiller-Drainage
13		Moisson dans l'eau-Broyage-Roues cage-Drainage
14		Moisson dans l'eau-Broyage-Rototiller-Drainage

Figure 9: Opérations de récolte du riz et gestion inter-culturale des rizières


Moisson du riz à sec


Moisson du riz dans l'eau


Brûlage des pailles de riz


Rizière sèche


Rizière inondée

L'enfouissement des pailles nécessite des matériels agricoles pour la plupart spécifiques à l'opération selon qu'elle se fait à sec ou dans l'eau. Sur les terres basses l'enfouissement s'opère dans l'eau à l'aide de tracteurs à roues cages ou du rototiller, instruments agricoles spécifiques à cette opération culturale. Par contre sur les terres hautes, généralement l'incorporation des résidus de culture au sol se fait à sec à l'aide de la charrue pour le labour ou du cover-crop pour le déchaumage, portés par un tracteur. Pour une bonne dégradation et incorporation des pailles, lorsque celles-ci ne sont pas brûlées, les riziculteurs équipent au moment de la récolte les moissonneuses batteuses de broyeur-éparpilleur de pailles. L'enfouissement dans l'eau sur terres basses s'impose le plus souvent aux riziculteurs parce que le ressuage sur ces terres basses est difficile, ou à cause de la pratique d'une inondation hivernale pour des raisons cynégétiques. Dans le cas d'une inondation hivernale, la parcelle est inondée très rapidement après la moisson et pour toute la durée de la période de chasse, c'est-à-dire, d'octobre à fin janvier.

2- La situation de référence

Afin de procéder à la comparaison des itinéraires techniques, l'itinéraire le plus communément pratiqué en Camargue, c'est à dire l'itinéraire traditionnel impliquant le brûlage-labour (**moisson à sec-brûlage-**

labour), nous servira de référence (situation sans projet). Les ratios bénéfices-coûts de chacun des itinéraires seront calculés et confrontés à celui de cette situation de référence.

3- Les horizons d'analyse

L'activité analysée dans cette étude ne s'inscrit pas dans une activité d'investissement à long terme où les flux de coûts et de bénéfices peuvent être attendus sur plusieurs années. C'est une activité agricole annuelle dont le flux de dépenses et de bénéfices attendus est instantanément observé. En dehors des effets des pratiques de l'enfouissement de la biomasse et de rotation des cultures, qui sont attendus au bout de 3 à 5 années d'activité, tous les effets induits par l'activité sont observés la même année que les dépenses engagées pour sa réalisation. L'horizon temporaire est donc limité à une année, l'année de l'évaluation, c'est-à-dire 2014. L'horizon géographique de notre étude, comme nous l'avons décrit dans la première partie de ce document, se limite au territoire du Parc Naturel Régional de Camargue (PNRC), c'est-à-dire la Grande Camargue et le Plan du Bourg.

4- Identification des coûts et des bénéfices

En plus des coûts financiers consentis pour la réalisation des opérations culturales, une revue de la littérature sur la question a permis de déterminer les avantages et les inconvénients des différentes pratiques de gestion des résidus de culture après la moisson du riz. Ce travail bibliographique permet par la suite de définir des indicateurs mesurables attribués comme coûts et bénéfices pour les itinéraires techniques respectifs.

4-1- Avantages et inconvénients des opérations culturales

Monier *et al.* (2009) ont étudié les différents modes de gestion des pailles de riz après la moisson en Camargue sur la base de témoignages des riziculteurs. Les auteurs ont élaboré une liste des atouts et des contraintes des pratiques du brûlage et de l'enfouissement des pailles. Le tableau 2 présente ces atouts et contraintes d'après cette étude.

Tableau 2: Avantages et inconvénients du brûlage et de l'enfouissement des pailles de riz d'après Monier *et al.* (2009).

Mode de gestion	Avantages	Inconvénients
Brûlage	• Moindre coût • Passage en blé simplifié (rotation possible) • Travail rapide et simple (20 à 30 ha en une matinée)	• Dépendance climatique • Perte de matière organique • Risque d'incendie • Destruction d'habitats de la faune • Pollution de l'air
Broyage Enfouissement (avec inondation dans certains cas)	• Pailles bien dégradées et bien incorporées • Apport en matière organique • Diminution des apports en unités fertilisants • Amélioration de la structure des sols • Aplanissement des sols • Pas de contrainte météorologique.	• Coût supplémentaire de broyage • Usure rapide des couteaux du broyeur • Prolongement du temps de travail • Passage en blé difficile (rotation difficile) • Ressuyage tardif des sols • Danger humain (Roues cages)

Figure 10: Opérations d'enfouissement des pailles de riz à sec et dans l'eau



Labour-Charrue Déchaumage-Cover crop Enfouis.-Roues cages Enfouis.-Rototiller

Les avantages et inconvénients des opérations d'enfouissement des pailles selon qu'elles sont réalisées dans l'eau ou à sec sont présentés dans le tableau 3.

Tableau 3: Principaux avantages et inconvénients des différentes opérations d'enfouissement et d'inondation hivernale

Mode de gestion	Opération	Conséquences
Enfouissement à sec	Labour	• Ameublissement du sol en profondeur • Préparation du lit de semence • Enfouissement des graines d'adventices • Temps de travail 1,25h/ha • Consommation carburant 32l/ha • Destruction de la structure du sol • Réduction de la disponibilité des ressources alimentaires pour oiseaux d'eau • Emission de GES
	Déchaumage	• Ameublissement du sol en profondeur • Préparation du lit de semence • Enfouissement des graines d'adventices • Temps de travail 0,5h/ha • Consommation carburant 11l/ha • Destruction de la structure du sol • Emission de GES
Enfouissement dans l'eau	Roues cages	• Besoin d'un niveau d'eau important • Sol compacté difficile à reprendre • Temps de travail 2h/ha • Consommation carburant 16l/ha • Transmission difficile du tracteur et danger humain • Emission de GES
	Rototiller	• Besoin d'un niveau d'eau moins important

		• Sol aéré plus facile à reprendre • Temps de travail 1h/ha • Consommation de carburant 16l /ha • Transmission plus souple et travail confortable et plus sûr que les roues cages • Emission GES
	Inondation hivernale	• Accélération de la décomposition des pailles • Conservation de la structure des sols • Dessalement des terres agricoles • Réduction à 95% de la viabilité des graines du riz sauvage • Augmentation de la disponibilité des unités fertilisantes du sol • Utilisation des rizières par les oiseaux d'eau pour leur alimentation nocturne • Amélioration de la biodiversité • Amélioration de la qualité de l'eau • Cultures d'hiver impossibles • Coûts d'électricité pour l'irrigation et le drainage élevés • Emission de GES

Sources: Couderc (2013); Foglioatto *et al*. (2010) dans Pernollet *et al.* (sous presse); Anders *et al.* (2008); Mouret (1988); CFR (http://www.centrefrancaisduriz.fr/publications-20.html)

4-2- Les coûts et les bénéfices identifiés

A partir des avantages et inconvénients des différentes pratiques et sachant, comme souligné dans le chapitre 1, qu'une activité lucrative de chasse aux canards se pratique dans certaines rizières inondées et qu'il existe des prîmes rémunérant les engagements des agriculteurs à respecter certaines bonnes pratiques agri-environnementales, comme l'enfouissement des résidus de cultures, nous avons affecté des indicateurs mesurables aux avantages et inconvénients ci-dessus. Ces indicateurs représentant les coûts et les bénéfices sont présentés dans les tableaux 4 et 5.

Tableau 4: Coûts identifiés pour l'analyse des itinéraires techniques. Les coûts en rouge ne sont pas pris en compte dans l'analyse pour des raisons diverses expliquées plus bas.

Options	Thématiques	Description	Acteurs concernés	Type de Coûts
Brûlage Labour	Economique	Coût de la main d'œuvre	Agriculteur	Marchand
		Coût de consommation en carburant		
		Charges fixes		
	Agronomique	Apport d'engrais pour compenser la perte due au brûlage des pailles		Coût d'opportunité
		Destruction de la structure des sols		

	Environnemental	**Risque d'incendie**	Collectivité	Non marchand
		Emission de GES		
Broyage Enfouissement	Economique	Coût de la main d'œuvre	Agriculteur	Marchand
		Coût de consommation en carburant		
		Charges fixes		
	Environnemental	Emission de GES	Collectivité	Non marchand
Brûlage Inondation	Economique	Coût de la main d'œuvre	Agriculteur	Marchand
		Coût de consommation en carburant		
		Coût d'irrigation et de drainage		
		Charges fixes		
	Agronomique	Apport d'engrais pour compenser la perte due au brûlage des pailles	Agriculteur	Coût d'opportunité
		Impossibilité de rotation des cultures		
		Ressuyage tardif des sols		
	Social	**Danger humain**	Agriculteur	Non marchand
	Environnemental	**Risque d'incendie**	Collectivité	
		Risque d'inondation		
		Surexploitation de la ressource eau		
		Emission de GES		
Broyage Inondation Enfouissement	Economique	Coût de la main d'œuvre	Agriculteur	Marchand
		Coût de consommation en carburant		
		Coût d'irrigation et de drainage		
		Charges fixes		
	Agronomique	**Impossibilité de rotation des cultures**	Agriculteur	Coût d'opportunité
		Ressuyage tardif des sols		
		Destruction de la structure des sols		
	Environnemental	**Risque d'inondation**	Collectivité	Non marchand
		Surexploitation de la ressource eau		
		Emission de GES		

Tableau 5: Bénéfices identifiés pour l'analyse des itinéraires techniques. Les bénéfices en rouge ne sont pas pris en compte dans l'analyse pour des raisons expliquées plus bas

Options	Thématiques	Description	Acteurs concernés	Type de bénéfices
Brûlage Labour	Agronomique	Diminution des apports en engrais: Enfouissement chaumes	Agriculteur	Coût évité
		Economie sur les coûts de désherbage chimique: Rotation des cultures		
		Réduction des effets des adventices et maladies du riz		
Broyage Enfouissement	Agronomique	Diminution des apports en engrais : Enfouissement des pailles	Agriculteur	
		Economie sur les coûts de désherbage chimique: rotation des cultures		
		Amélioration de la structure des sols		
	Environnemental	Contrat MAE (Couver16)		Marchand
Brûlage Inondation	Agronomique	Diminution des apports en engrais: enfouissement des chaumes	Agriculteur	Coût évité
		Economie sur les coûts de désherbage chimique du riz sauvage		
		Réduction des effets des adventices et maladies du riz		
		Dessalement des rizières		
	Environnemental	Chasse récréative	Agriculteur	Non marchand
		Valeur esthétique paysagère	Collectivité	
		Maintien de la biodiversité		
		Amélioration de la qualité de l'eau		
		Inondation	Agriculteur	
		Prélèvement alimentaire	Chasseur	Cout évité
		Contrats MAE (Irrig09)	Agriculteur	Marchand
	Economique	Chiffre d'affaire cynégétique	Agriculteur	
Broyage Inondation Enfouissement	Agronomique	Diminution des apports en engrais: enfouissement des pailles et chaumes	Agriculteur	Coût évité
		Economie sur les coûts de désherbage chimique du riz sauvage		
		Amélioration de la structure du sol		
		Dessalement des rizières		

	Environnemental	Chasse récréative	Agriculteur	Non marchand
		Valeur esthétique paysagère	Collectivité	
		Maintien de la biodiversité		
		Amélioration de la qualité de l'eau		
		Inondation	Agriculteur	
		Prélèvement alimentaire	Chasseur	Cout évité
		Contrats MAE (Irrig09, Couver16)	Agriculteur	Marchand
	Economique	Chiffre d'affaire cynégétique	Agriculteur	

4-3- Justification des choix effectués

Les coûts et les bénéfices en rouge dans les tableaux de coûts et de bénéfices ci-dessus ne sont pas pris en compte, pour des raisons diverses expliquées ci-dessous.

4-3-1- Manque d'information pour leur évaluation

Pour certains coûts et bénéfices, nous ne disposons pas d'informations nous permettant de les évaluer économiquement. C'est le cas du coût de la destruction de la structure du sol et des bénéfices en termes de réduction des effets des adventices et maladies du riz dues au brûlage des pailles, de l'amélioration de la structure du sol par l'enfouissement des pailles et du dessalement des terres agricoles par l'inondation hivernale.

4-3-2- Eviter les doubles comptes

Eviter les doubles comptes est l'une des difficultés de la conduite d'une ACB. Un double compte potentiel a été détecté: l'impossibilité de rotation des cultures, donc la monoculture du riz, qui s'impose avec l'inondation hivernale des rizières. La monoculture promeut le développement des adventices du riz, en particulier le riz sauvage. Or des sources que nous avons citées dans ce document ont montré que l'inondation hivernale a un avantage agronomique lié à la perte de viabilité du riz sauvage (Fogliatto *et al.* 2010 dans Pernollet *et al.* sous presse). Ainsi, pour éviter de considérer l'effet de la monoculture comme un coût, nous avons fait le choix de ne prendre en compte que l'avantage agronomique de l'inondation hivernale via le bénéfice que celle-ci peut apporter en termes de réduction de la viabilité de cet adventice.

4-3-3- Des coûts et des bénéfices négligeables

Certains coûts et bénéfices peuvent être négligés : c'est le cas de la surexploitation de la ressource en eau ou du bénéfice en termes d'économie d'eau dans la mesure où, en Camargue et à notre connaissance, aucune restriction sur les quantités de prélèvement d'eau du Rhône n'existe. Le coût relatif à la difficulté de ressuyage des parcelles est aussi négligé dans cette étude, car nous supposons que l'activité des ASA de drainage et les opérations d'enfouissement des pailles aident à assécher les parcelles.

4-3-4- Les coûts peu probables

Le risque d'incendie lié au brûlage des pailles ainsi que le danger humain lié à l'utilisation des roues-cages et le risque d'inondation sont des coûts identifiés, mais peu probables à l'échelle de notre analyse car heureusement peu fréquents. Nous avons donc fait le choix de ne pas les intégrer dans l'analyse.

5- Quantification des coûts et des bénéfices

Les méthodes de valorisation économique décrites plus haut dans ce chapitre ont été appliquées pour la quantification des coûts et des bénéfices identifiés dans les tableaux 4 et 5. Ci-dessous sont détaillées les méthodologies de détermination des valeurs économiques par type de coûts et de bénéfices et les valeurs présentées dans l'annexe 3.

5-1- Les coûts marchands

5-1-1-Coût de la main d'œuvre, coût de la consommation de carburant des opérations culturales et charges fixes.

Pour évaluer les coûts de la main d'œuvre et de la consommation de carburant pour chacun des itinéraires techniques, nous avons dans un premier temps calculé le coût de chacune des opérations en inter-culture constituant l'itinéraire. Dans un second temps, les coûts des opérations successives par itinéraire ont été cumulés. Enfin, un travail de correction au prix constant 2014 a été fait pour nous permettre de tenir compte de l'effet de l'inflation.

Nous avons exploité les données relatives aux coûts marchands des opérations culturales extraites de la base de données de l'UMR Innovation-INRA Montpellier, elles mêmes issues du travail de thèse de Delmotte (2011). Dans ce travail de thèse, l'auteur a déterminé le temps de travail, la consommation de carburant et le coût par hectare pour chaque opération culturale dans les rizières camarguaises. Ainsi, nous avons pu calculer les coûts de chacun des itinéraires techniques.

Les charges fixes liées à l'utilisation de machines automotrices et matériels agricoles sont constituées des frais d'amortissement auxquels s'ajoutent les frais financiers, et de remisage. Les charges fixes à l'hectare par an sont issues de la publication «coûts prévisionnels indicatifs 2014 des matériels agricoles» du Bureau de Coordination du Machinisme Agricole (BCMA) (Pérès et al. 2014), calculées selon la méthode dite de BCMA. Faute d'informations, les charges fixes des roues cages et de la pompe italienne n'ont pas été calculées. Le calcul des charges fixes selon cette méthode tient compte de la puissance et de la durée minimale d'utilisation de 500 h/an pour les tracteurs. Ceci pose dans notre cas un problème de surestimation des charges, car notre étude ne concerne que les opérations en inter-culture, soit une partie seulement de l'année. Néanmoins, compte tenu du temps à notre disposition, nous avons tenu à exploiter ces données pour ne pas omettre une partie importante des charges liées à l'exploitation rizicole en Camargue. Les valeurs des charges opérationnelles et fixes des différents itinéraires sont consignées dans le tableau 6 (cf annexe 1 pour le détail des charges).

5-1-2- Les coûts d'irrigation et de drainage

Le système collectif d'irrigation et de drainage des terres agricoles en Camargue est géré par les ASA d'irrigation et d'assainissement, constituées sur toute la zone d'étude. D'après un entretien réalisé auprès du Syndicat Mixte de Gestion des Associations Syndicales (SMGAS) du pays d'Arles et les informations que nous avons recueillies dans la littérature (PNRC 2004; Mathevet 2000; Delmotte 2011), les exploitants agricoles bénéficiant des services des ASA paient des redevances annuelles à celles-ci, qui sont constituées d'un rôle ordinaire (RO) que paie tout propriétaire foncier se trouvant dans le territoire de l'ASA (irrigation et drainage) et d'un rôle d'exploitation (RE) institué par les ASA d'irrigation et payé seulement par l'adhérent qui prélève de l'eau dans les canaux pour irriguer ses parcelles (cf annexe 2 pour les tarifs par ASA). L'exploitant paie ainsi annuellement un rôle ordinaire pour les ASA d'assainissement et deux rôles, un ordinaire et un autre d'exploitation pour les ASA d'irrigation. Pour les usages agricoles et cynégétiques de l'eau, les tarifs sont fixés à l'hectare et payés par l'adhérent proportionnellement à la surface irriguée ou assainie. La base tarifaire du rôle ordinaire, qui est généralement identique pour toutes les parcelles (riz, blé, marais…) est calculée en fonction du budget global de l'ASA pour lui permettre de couvrir ses charges fixes, ainsi que les frais de fonctionnement et d'entretien des installations, divisé par la surface concernée pour l'ensemble des adhérents. Le rôle d'exploitation, calculé en fonction de la consommation nette d'électricité de l'ASA, lui permet de couvrir les frais d'énergie liés au pompage de l'eau du Rhône pour les canaux d'irrigation. A la différence du rôle ordinaire, le rôle d'exploitation varie en fonction des cultures selon leur besoin en eau. Les tarifs à l'hectare des RO et des RE varient aussi d'une ASA à une autre.

Les données relatives aux RO et RE dont nous disposons (cf. annexe 2) sont issues des rapports 2014 des différentes ASA, déposés au SMGAS du pays d'Arles qui coordonne les activités des ASA des territoires de la Grande Camargue et du Plan de Bourg. Les tarifs des rôles ont été calculés sur la base d'un tarif d'été de consommation d'électricité, correspondant aux tarifs d'irrigation et de drainage pendant la période de culture, c'est-à-dire du printemps à la fin d'été. Selon une enquête restreinte que nous avons réalisée

auprès d'un nombre réduit d'agriculteurs, la cherté de l'électricité en hiver est le principal frein à la pratique d'une inondation hivernale en Camargue. C'est ainsi, selon le gestionnaire du canal de l'Aube de Bouic avec lequel nous nous sommes entretenus, que certaines ASA telle que l'ASA d'irrigation du Sambuc facturent à l'heure de pompage tout adhérent souhaitant irriguer sa rizière en hiver, c'est à dire au prorata de sa consommation d'électricité. L'ASA de l'Aube de Bouic, au contraire, facture au tarif « marais » l'irrigation hivernale d'une rizière. Compte tenu de cette diversité de tarifications actuelle de l'irrigation hivernale des rizières et de l'absence générale de données sur les tarifs d'hiver (puisque l'inondation hivernale n'est que très peu pratiquée), nous avons décidé d'exploiter pour le calcul les rôles ordinaires des ASA d'assainissement pour les coûts de drainage, et les rôles d'exploitation « rizières » pour les coûts d'irrigation. Pour cela, nous avons posé l'hypothèse que les exploitants inonderaient les parcelles en octobre après la moisson pour bénéficier du tarif de consommation d'électricité d'« été », ce qui correspond également au moment où les premiers canards hivernants arrivent en Camargue. Les irrigants peuvent également profiter d'une pluviométrie moyenne mensuelle de 58,04 mm d'eau entre octobre et février (PNRC 2013b), selon les relevés mensuels pluviométriques sur le poste d'Arles entre 1977 et 2006, soit environ 580,4m^3/ha d'eau par mois. L'évapotranspiration étant quasiment nulle à cette période de l'année, ceci limiterait la nécessité de pompage d'eau pour l'irrigation durant l'hiver.

Nous avons calculé la moyenne des rôles ordinaires des différentes ASAs pour les coûts de drainage, et celle des rôles d'exploitation « riziculture » pour les coûts d'irrigation. Ainsi, en moyenne, l'irrigation coûterait **111,47€ /ha** et le drainage **18,22€ /ha**.

Pour un souci de prise en compte de la différence de coûts d'irrigation entre terres agricoles d'altitudes différentes, nous avons évalué le coût supplémentaire de pompage pour l'irrigation des terres hautes ou éloignées des canaux d'irrigation. Généralement dans les terres basses, l'irrigation se fait de manière gravitaire à partir des canaux d'irrigation, donc l'exploitant ne paie que le tarif de l'ASA. Par contre, dans les terres hautes, un pompage pour le relevage des eaux par une pompe privée à moteur ou une pompe italienne portée par un tracteur est indispensable. Les frais de consommation d'électricité ou de carburant pour le fonctionnement de la pompe doivent être pris en compte. Par manque d'informations sur les pompes privées en Camargue, nous avons retenu l'utilisation de la pompe italienne, bien qu'elle ne puisse pas être généralisée à toutes les exploitations agricoles. Une pomme italienne d'un débit de 1800m^3/h portée par un tracteur d'une puissance de 90 CV consommant 6 litres de carburant par heure pour un besoin minimal de 10.000m^3 d'eau par hectare a été retenu pour le calcul de ce coût. Les données relatives à la pompe italienne considérée sont disponibles sur le site internet du fabriquant, Pennacchio Pompe s.a.s. (http://www.pennacchiopompe.com/, consulté le 15 mai 2015). Après calcul, le coût supplémentaire d'irrigation en terre haute s'élève ainsi à 24,97€/ha en plus du tarif ASA, soit un coût global de gestion de l'eau sur les terres hautes (irrigation et drainage) de **161,32 €/ha** (dont 6,66€/ha de main d'œuvre). Les exploitations dont la moisson s'effectue dans l'eau ne supportent pas de coûts d'irrigation car nous supposons que les eaux d'irrigation excédentaires des cultures sont laissées sur les parcelles après la moisson, pendant la période inter-culturale. Les exploitants moissonnant dans l'eau ne paieraient ainsi en inter-culture qu'un coût de drainage. Les coûts d'irrigation et de drainage ainsi que les autres coûts financiers des différents itinéraires sont présentés dans le tableau 6.

Tableau 6: Coûts marchands des itinéraires techniques en inter culture

Itinéraire	Coût main d'œuvre (€/ha)	Coût carburant (€/ha)	Coût irrigation drainage (€/ha)		Coût fixe (€/ha)		Total Coût (€/ha)	
			TB	TH	TB	TH	TB	TH
Moisson à sec Brûlage Labour	30,39	51,97	-	-	82,77	82,77	165,13	165,13
Moisson à sec Broyage Déchaumage	25,18	39,13	-	-	84,45	84,45	148,76	148,76

Moisson à sec Brûlage Inondation Roues cages Drainage	39,69	37,63	129,69	161,32	67 ,80	109,05	274,81	347,69
Moisson à sec Broyage Inondation Drainage Labour	34,49	58,18	129,69	161,32	96,17	137,42	318,53	391,41
Moisson à sec Broyage Inondation Rototiller Drainage	30,98	43,83	129,69	161,32	89,95	131,20	294,45	367,33
Moisson dans l'eau Inondation Rototiller Drainage	30,98	43,83	18,22	18,22	100,03	100,03	193,06	193,06

5-2- Les coûts d'opportunité

5-2-Apport d'engrais pour compenser la perte due au brûlage des pailles

En France, les pailles de céréales, riches en éléments minéraux prélevés par la plante, sont soit laissées sur les parcelles soit exportées. Selon Monier *et al.* (2009), en Camargue les pailles de riz sont au contraire brûlées sur 80% des surfaces cultivées, le reste étant plus rarement enfoui ou exporté hors des parcelles. Les pailles exportent une quantité d'unités fertilisantes prélevées par la plante qui pourraient être restituées au sol si elles étaient enfouies (Peloquin 2010). Dans le cas d'un brûlage ou d'une exportation des pailles en dehors des parcelles, il est donc nécessaire de restituer au sol une grande part de ces éléments minéraux pour assurer aux cultures suivantes un développement normal, par apport d'engrais chimiques ou de fertilisants organiques, bien que le retour des cendres restituerait quelques éléments minéraux (Coopénergie, http://www.coopenergie.com/qui-sommes-nous, consulté le 3 mai 2015).

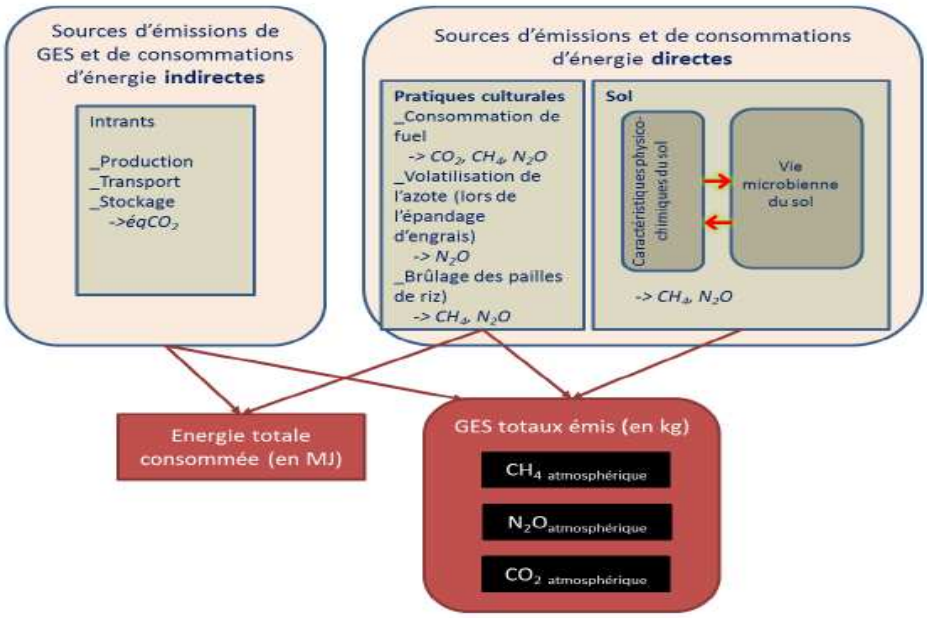
Le riz produit environ 6 tonnes de pailles à l'hectare (Mouret *et al.* 2010), dont environ 15% en chaumes non arrachées des parcelles (Monier *et al.* 2009). Une tonne de paille de céréales, dont la valeur équivalente en engrais est estimée à 12,9€, exporte environ 6 unités d'azote, 2 unités de phosphore et 12 unités de potasse, avec quelques variations suivant les types de céréales (Peloquin 2010*).* Ainsi, 5,10 t de pailles de riz par hectare (sans les chaumes) coupées à la moisson et brûlées obligeraient le riziculteur à dépenser **69,41€/ha** (inflation cumulée de 5,5%) d'engrais à apporter aux cultures.

5-3- Les coûts non-marchands

5-3-1- Émission de gaz à effet de serre

En France, selon l'inventaire national 2010 des émissions de gaz à effet de serre (GES), l'agriculture est responsable de 17,8% des émissions (Pellerin *et al.* 2013). Cet inventaire national ne tient pas compte des émissions du secteur liées à la consommation d'énergie. Si elles sont comptabilisées, les émissions des GES attribuées au secteur agricole représentent environ 20% des GES émis au niveau national, dont 9,8% liées aux émissions de protoxyde d'azote (N_2O) et 8% à l'émission du méthane (CH_4), qui sont généralement produits par les activités biologiques des micro-organismes (Pellerin et al. 2013). Comme nous le voyons, le GES émis par la consommation d'énergie fossile ou électrique n'occupe qu'une part très faible. La riziculture, comme toutes les activités agricoles, est responsable d'émission de GES suivant différentes sources d'émission présentées sur la figure 10.

Figure 11: Les sources d'émission de GES et de consommation d'énergie liées à la riziculture (d'après Couderc 2013)



Comme nous le remarquons sur la figure 6, un premier poste d'émission de dioxyde de carbone (CO_2), de CH_4 et de N_2O est lié à la consommation d'énergie (fossile et électrique) pour la production, le transport et le stockage des intrants et pour la réalisation des opérations culturales. Un deuxième poste réside dans l'émission par le sol de CH_4 et N_2O favorisée par les apports au sol de matières organiques et minérales, l'activité microbienne et par les caractéristiques édapho-climatiques. Enfin certaines émissions sont liées à la volatilité de l'azote lors de l'épandage des engrais et au brûlage des résidus de culture.

Dans ce travail ne sont prises en compte que les émissions de CO_2, CH_4 et de N_2O dues au brûlage des résidus de culture après la moisson, à la consommation de carburant pour les pratiques culturales et les émissions par le sol de CH_4 et de N_2O liées à l'enfouissement des résidus de récolte et à l'inondation hivernale des rizières. Par contre, les émissions de GES dues à la consommation d'énergie des stations de pompage pour l'irrigation et le drainage des rizières en hiver ne sont pas prises en compte par manque d'informations. Il en est de même pour les émissions en amont dues à la consommation d'énergie pour la production, le transport et le stockage des intrants car nous considérons que ces émissions sont aussi liées à des activités hors de notre territoire d'étude ou de la période de l'année considérée. En effet les pratiques de l'épandage d'engrais et de pesticides contribuant également aux émissions de N_2O à travers leurs apports en azote au sol et à sa volatilité dans l'atmosphère ne sont pas intégrées dans l'étude, qui ne se focalise que sur les opérations inter-culturales.

L'évaluation économique des coûts que supporte la société en Camargue dues à l'émission de GES nous conduit dans un premier temps à quantifier les émissions de CO_2, de CH_4 et de N_2O et déterminer les équivalences en tonnes de CO_2 (t eq CO_2) du méthane et du protoxyde d'azote à l'aide de leurs Pouvoirs de Réchauffement Global (PRG) respectifs. Les PRG des différents gaz définis par le Groupe Intergouvernemental d'Experts sur l'évolution du Climat (GIEC) visent à convertir tous les gaz en équivalence CO_2, le PRG du CO_2 étant fixé à 1, celui du CH_4 à 25 et celui du N_2O à 298 (GIEC 2006). Dans un second temps, nous avons valorisé les quantités de GES émises par itinéraire technique (cf tableau 9) en fonction du prix de marché du carbone en vigueur en France en 2014. La taxe carbone ou la «Contribution Climat-Énergie (CCE)» a été mise en place en 2014 par le gouvernement pour taxer les émissions de GES des énergies fossiles. Le carbone est taxé à 7€ la tonne en 2014, ce prix serait à 14,50€ en 2015 (Ministère de l'Economie et des finances, circulaire du 12 mars 2014, NOR : BUDD1406060C). Les coûts que nous avons calculés ne tiennent pas compte des dommages sanitaires des polluants ou ceux dus à la fumée des pailles de riz brûlées qui se propage dans le territoire. Nous ne considérons que la contribution des GES au réchauffement climatique.

5-3-1-1- Les émissions de GES dues à la combustion de carburant pour les opérations culturales

Comme défini ci-dessus, la combustion de carburant par les engins agricoles émet du CO_2, du CH_4 et du N_2O. A partir des quantités de carburant consommées par opération culturale, nous avons calculé les quantités de GES émises à travers les équations et les facteurs d'émission du Gazole Non Routier (GNR) suivants:

1- Emission totale de GES par opération

$$GES_{Opér} = GES_{CO2}opér + GES_{CH4}opér + GES_{N2O}opér$$

2- Emission de GES due à la combustion de carburant

$$GES_{(CO2,CH4\ ou\ N2O)}opér = TpsTravail_{opér} * ConsCarb_{opér} * FacEmis_{opér} * PRG_{GES}$$

Avec: $GES_{opér}$= En kg eq CO_2 de GES émis par opération culturale

$GES_{(CO2,CH4\ ou\ N2O)}opér$: en kg eq CO_2 de GES émis par type de GES et par opération.

$TpsTravail_{opér}$: Temps nécessaire pour l'opération culturale (en h/ha)

$ConsCarb_{opér}$: Quantité de carburant consommée pour l'opération culturale (en l/h)

Source: Couderc (2013)

Les facteurs d'émission de GES du GNR, c'est-à-dire, la quantité de GES émise par litre de carburant consommé par les engins agricole, sont les suivants: CO_2= 2,67, CH_4= 0,000152 et N_2O= 0,000053 (Van Kempen 2010; EnviroConsult 2011). Les PRG de chacun des GES, définis plus haut, ont servi pour la conversion en équivalences CO_2 pour chacune des opérations culturales, présentées dans le tableau 7.

Tableau 7: Quantité de GES émise par la consommation de carburant par opération culturale

Opération	Combustion carburant (l/ha)	CO_2 (kg/ha)	CH_4 (kg/ha)	N_2O (kg/ha)	eq CO_2 (t /ha)
Moisson	24	64,08	0,00364	0,00127	0,064
Broyage	7	18,69	0,00106	0,000371	0,019
Déchaumage	11	29,37	0,00167	0,000583	0,029
Labour	31,25	83,43	0,00475	0,00165	0,084
Roues cages	16	42,72	0,00243	0,000848	0,043
Roto tiller	16	42,72	0,00243	0,000848	0,043
Irrigation/pompe italienne	33,3	88,91	0,00506	0,00176	0,089

5-3-1-2- Les émissions de GES dues au brûlage des résidus de culture

Dans son travail de mémoire de fin d'étude d'ingénieur agronome réalisé au sein de UMR Innovation-INRA Montpellier, dans le cadre de l'exécution du projet CLIMATAC en Camargue, dont l'un des objectifs majeurs est la réduction de la production de GES par l'agriculture, Couderc (2013) a quantifié des indicateurs d'émission de GES et de consommation d'énergie du système agricole camarguais. Nous présentons ci-dessous les estimations des quantités de GES émises par le brûlage des pailles de riz en Camargue issues de cette étude, qui sont celles que nous avons exploitées par la suite.

Tableau 8: Quantités de GES émises par le brûlage des pailles de riz (d'après Couderc 2013)

GES émis	**Agriculture biologique**	**Agriculture conventionnelle**
CO_2 (kg/ha)	7884	9313
CH_4 (kg/ha)	14,05	16,6
N_2O (kg/ha)	0,36	0,43
Total (t eq CO_2/ha)	8,3 (±0,9)	9,9 (±1,1)

Ainsi, en équivalence CO_2, la quantité de GES émis par la riziculture conventionnelle est de 9,9 t/ha éq CO_2, contre 8,3 t/ha eq CO_2 pour la riziculture biologique. Dans notre étude, nous nous concentrons sur la riziculture conventionnelle.

5-3-1-3- Les émissions de GES des sols de rizières

Les sols des rizières sont connus pour leurs émissions de CH_4 et de N_2O. Les micro-organismes des sols des rizières contribuent à la décomposition des résidus de culture enfouis dans les sols et, en conséquence, permettent la production de GES qui sont émis dans l'atmosphère quand la structure des sols le permet. Ainsi, l'enfouissement des résidus de culture, certains travaux du sol et l'inondation des rizières favorisent la production et les émissions de CH_4 et de N_2O par les sols (Couderc 2013; Pellerin *et al.* 2013; Doublet 2011; Roger *et al.* 1999). Les résidus de culture enfouis apportent une certaine quantité d'azote et contribuent à l'émission de N_2O par les sols à travers les phases de nitrification et de dénitrification. Ces deux phases peuvent se succéder selon que les sols des rizières sont secs ou inondés (les eaux de pluie peuvent y contribuer) (Roger *et al.* 1999). Les rizières inondées émettent particulièrement du CH_4, produit par la décomposition des matières organiques des sols par les micro-organismes anaérobies. Ainsi les émissions de CH_4 par le sol et de N_2O dues à l'enfouissement des résidus sont quantifiées ci-dessous.

5-3-1-3-1- Les émissions de N_2O des sols dues à l'apport en azote des résidus de culture

La quantité d'azote qu'apportent les résidus de culture aux sols s'ils sont enfouis et la quantité de N_2O émise par le sol due à l'apport d'azote des résidus sont déterminées à partir des données et équations présentées dans l'encadré suivant:

1- <u>Apport en azote</u>

$$\mathbf{N_{RES}\ (i) = Q_{RES}\ (i) * \%TN_{RES}\ (i)}$$

Avec **N_{RES} (i)** en(t N/an), quantité d'azote apportée parles résidus d'une culture, (i)

Q_{RES} (i) en (t de matières sèches), quantité de résidus de culture

$\%TN_{RES}$(i) en (t N/t de matières sèches), teneur en azote des résidus

Le calcul doit se faire pour les résidus de surface (pailles et chaumes) et pour les résidus enfouis (racines). La part des résidus enfouis sur la biomasse de surface totale (grains, pailles et chaumes) correspond à 16%.

Le riz la culture qui nous concerne ici, la teneur en azote des résidus de surface est de 0,007t N par tonne de matières sèches et 0N pour les résidus enfouis. Alors, on ne s'intéresse qu'aux apports en azote au sol des résidus de surface.

2- <u>Emission de N_2O par les résidus de culture non récoltés</u>

$$\mathbf{N\text{-}N_2O_{RES} = N_{RES} * FE_{N2O}}$$

Avec **N- N_2O_{RES}**(t N-N_2O/an), émission de N- N_2O_{RES} annuelle par les résidus

N_{RES} (i) en(t N/an), quantité d'azote apportée par les résidus de la culture i

FE_{N2O}facteur d'émission direct de N_2O, défini à 1% par le GIEC 2006 pour le riz

3- Conversion des émissions de N- N_2O_{RES} en N_2O

$N_2O_{RES-SOL}$ = N- N_2O_{RES} *(44/28)

Source : Doublet (2011); Couderc (2013)

En application des informations et équations de l'encadré ci-dessus et sachant qu'un hectare de riz produit environ 6 tonnes de matières sèches (pailles et chaumes) et que 15% sont constituées de chaumes (Mouret *et al.* 2010), un hectare de sols de rizières émettrait 0,00066 t/an de N_2O, ce qui correspond à 0,197 t eq CO_2 si toutes les pailles et chaumes sont enfouies et 0,00011 t/an de N_2O correspondant à 0,033 t eq CO_2 pour les itinéraires dont les pailles sont brûlées et les chaumes enfouies.

5-3-1-3-2- Les émissions de CH_4 des sols de rizières

Roger *et al.* (1999), travaillant sur l'émission de CH_4, affirment que la gestion de l'eau en inter-culture est un facteur important dans l'émission de CH_4 par les sols des rizières. Citant Trolldenier (1995) les auteurs indiquent que les rizières laissées à sec pendant la période entre les cultures émettent moins de CH_4 que les rizières inondées à cette période. Toujours selon Roger *et al*. (1999), les rizières et les environnements dulçaquicoles non végétalisés sont les plus émetteurs de CH_4, avec 3 kg de CH_4/ha/j. Pour toute la période hivernale, estimée à 120 jours, un hectare de rizière inondée émettrait donc 360 kg de CH_4, correspondant à 9 t eq CO_2.

En résumé de l'ensemble des sections de la partie 5-3-1, le tableau 9 présente les quantités et les coûts sociaux d'émission de GES (issus des sols, de la combustion de carburant et du brûlage des pailles) des différents itinéraires techniques considérés.

Tableau 9 : Quantités et coûts sociaux d'émission de GES par itinéraire

Itinéraire	Quantité de GES émise				Coût social (€/ha)
	CO_2 (kg/ha)	CH_4 (kg/ha)	N_2O (kg/ha)	eq CO_2 (t/ha)	
Moisson à sec – Brûlage - Labour	9460,51	16,60	0,54	10	70
Moisson à sec – Broyage - Déchaumage	112,14	0,0063	0,66	0,31	2,17
Moisson à sec – Brûlage – inondation - Roues cages - Drainage	9508,71	376,60	0,54	19,10	133,70
Moisson à sec – Broyage – inondation – Drainage - Labour	255,11	360	0,67	9,45	66,15
Moisson à sec – Broyage – Inondation – - Roto tiller - Drainage	214,40	360	0,66	9,41	65,87
Moisson dans l'eau – Broyage- Inondation - Roto tiller - Drainage	125,49	360	0,66	9,32	65,24

5-2- Évaluation économique des bénéfices

5-2-1- Les coûts évités

5-2-1-1- Diminution des apports en engrais

Comme décrit plus haut, l'enfouissement d'une tonne de biomasse de paille produite par la culture du riz permet de restituer au sol 6 unités d'azote, 2 unités de phosphore et 12 unités de potasse prélevées par les

plantes, correspondant à 12,9€ d'engrais (Peloquin 2010). Selon Anders *et al.* (2008), l'inondation hivernale des rizières favoriserait la dégradation rapide des résidus de culture, permettant à l'agriculteur de réduire, au bout de 3 à 5 années d'enfouissement, de 30 unités les doses d'azote apportées aux cultures suivantes.

Dans les conditions sous lesquelles les pailles de riz sont brûlées, les chaumes non arrachées du sol sont néanmoins enfouies. Avec 6 t/ha de pailles produites, 15% sont composés de chaumes (Monier *et al*. 2009). Il est donc produit environ 1 t/ha de chaumes non arrachés et enfouies dans le sol. L'agriculteur aura, en équivalent engrais, un bénéfice de **13,61€/ha** (inflation cumulée 5,5%) économisé du fait de l'enfouissement des chaumes. Dans les options broyage et enfouissement des pailles, la totalité des matières sèches produites est enfouie, c'est-à-dire 6t/ha. Une économie en engrais (coût évité) d'une valeur de **81,66€/ha** sera réalisée par l'agriculteur céréalier en enfouissant la matière sèche totale des pailles (pailles et chaumes) produites par les cultures.

5-2-1-2- Économie sur les coûts de désherbage chimique

Les rizières constituent un milieu favorable au développement des adventices, qui représentent un facteur limitant important de la riziculture camarguaise (Mouret 2013; Mouret 1988). La lutte contre la vingtaine d'espèces d'adventices les plus problématiques dans la riziculture camarguaise s'effectue par différentes techniques incluant la rotation des cultures, les travaux du sol, les choix variétaux et l'emploi d'herbicides qui semble indispensable en riziculture conventionnelle (CFR, guide désherbage 2011, http://www.centrefrancaisduriz.fr/maj/phototheque/photos/enherbement/guide2011.pdf, consulté le 3 mai 2015). Néanmoins, la rotation entre cultures irriguées et sèches permet aussi de lutter efficacement contre les adventices (Mouret 1988). D'après Mathevet (2000), les exploitations camarguaises pratiquent un système de rotation entre la culture du riz irriguée et des cultures sèches (le blé dur, la luzerne…). La culture du riz permet de lessiver le sel, mais au bout de trois à quatre années, les mauvaises herbes se développent et augmentent les coûts de traitement. Le retour à la culture du blé dur (sèche par nature), par exemple, permet de lutter contre ces mauvaises herbes mais entraîne à son tour au bout de trois années la remontée saline. Certains témoignages d'agriculteurs confirment le rôle de la rotation dans la lutte contre les adventices, comme le rapportent Hammond *et al.* (2012),«*la première année de blé après le riz, il n'y a pas de traitement contre les mauvaises herbes, la deuxième année, on ne traite que les bordures et ce n'est qu'en troisième année qu'on traite toute la parcelle avant de passer sur une autre culture l'année suivante…*» Dans certaines parcelles de rizières en terres basses, où la salinité des sols est élevée, la pratique de la monoculture du riz prédomine néanmoins (Mouret 2004; Mouret 1988), nécessitant une lutte chimique contre le développement des adventices.

D'après Fogliatto *et al.* (2010) cité par Pernollet *et al.* (sous presse), le riz sauvage perdrait 95% de sa viabilité lorsque les rizières sont inondées en hiver, sans compter la consommation des grains du riz sauvage et d'autres adventices par les canards, qui ne peuvent s'alimenter que dans l'eau. Ceci constitue un avantage agronomique important pour les riziculteurs en termes d'économie sur les coûts de lutte contre les adventices dans la mesure où, avec une inondation hivernale, la monoculture du riz s'impose sur les parcelles (impossibilité d'implanter à l'automne des cultures sèches type blé ou autres). Dans les parcelles conduites sans inondation en hiver, au contraire, les agriculteurs ont la possibilité de mettre en place la rotation des cultures tous les 3 ans, comme elle se pratique habituellement en Camargue. Dans ce cas, comme indiqué plus haut, des économies sur les coûts de désherbage se dégagent.

Pour l'évaluation des coûts de désherbage évités, nous nous sommes servis du guide 2011 du désherbage cité ci-dessus, mis à la disposition des riziculteurs par le Centre Français du Riz (CFR). Dans ce guide, il est indiqué pour chaque espèce d'adventice répertoriée dans les rizières en Camargue la méthode de lutte à employer (mécanique et/ou chimique), les différents types d'herbicides, les quantités appropriées pour chaque espèce d'adventice et leur prix en 2011. Après avoir exploité ces données, nous avons corrigé les coûts observés en 2011 à un taux d'inflation cumulé de 3,40% tel qu'observé entre 2011 et 2014.

Ainsi, pour nos options brûlage-travail du sol à sec et broyage-enfouissement à sec qui n'adoptent pas une inondation hivernale dans les itinéraires techniques, la rotation entre le riz et le blé dur à l'espace de 3 ans permet aux agriculteurs, à la première année de rotation, d'éviter un coût de 1,68€/ha (2,25l/ha de carburant) pour la pulvérisation des herbicides (Delmotte, 2011) et 223,58€/ha pour l'achat d'herbicides,

ce qui donne un coût total évité de désherbage chimique de **225€/ha**. Les options avec une monoculture imposée par l'inondation hivernale, qui entraînent une perte de viabilité du riz sauvage et donc une limitation partielle des adventices, assurent un coût évité de **52,90€/ha** (coût de carburant pour la pulvérisation et achat d'herbicide) aux agriculteurs

5-2-1-3- Prélèvement alimentaire

D'après Tamisier et Dehorter (1999) environ 100 000 canards sont prélevés par an à la chasse en Camargue, sur une surface totale de 27 000 ha, soit une moyenne de 3,70 canards par hectare. Ces prélèvements concernent non seulement ceux effectués dans les marais aménagés mais aussi les prélèvements dans les rizières inondées pour les besoins cynégétiques (9% des surfaces cultivées en riz, Pernollet et al. 2015). Mathevet (2000) a étudié 42 exploitations agricoles pratiquant aussi la chasse privée. Dans ces exploitations, les rizières inondées occupent en moyenne 50% de la part des espaces alloués à la chasse. Les rizières sont surtout utilisées comme gagnage nocturne par différentes espèces de canards chassables (canards colverts, sarcelles d'hiver, canards chipeaux *A. strepera*, canards pilets *A. acuta*, canards souchets *A. clypeata*…), durant les mois d'Août à Janvier, période correspondant à la saison de chasse en Camargue. Beaucoup d'auteurs ont prouvé que les rizières, si elles sont inondées, sont parmi les milieux qui concentrent le plus de canards durant leur alimentation nocturne (Tamisier et Dehorter 1999; Pernollet *et al.* 2015; Pernollet *et al.* en préparation).

La chasse est non seulement une activité récréative pour les chasseurs, mais le gibier chassé est également consommé. Ceci représente donc un service d'approvisionnement alimentaire qui leur est rendu par l'écosystème agricole. Pour sa monétarisation, nous avons valorisé la quantité de prélèvement (3,70 canards/ha) par le prix du marché d'un canard colvert, qui se vend à 5,85€ pièce (Au gibier de France, http://www.gibierdefrance.com/tarifs-gibier/colvert/, consulté le 13 mai 2015). Ainsi, la valeur du coût évité total s'élève à **21,65€/ha**.

Sur décision n° 12/17 du 19 juin 2012, le conseil d'administration de l'ONCFS a fixé à 90€ la valeur de référence d'un canard colvert (chassable) devant les tribunaux. Cette valeur de référence peut être considérée comme une valeur de remplacement de la ressource, donc sa valeur économique. Nous avons cependant décidé de retenir le prix du marché d'un canard colvert pour refléter au mieux le point de vue des acteurs de la chasse en Camargue, la valeur de référence de l'ONCFS incluant aussi des notions plus larges relatives à la valeur de l'oiseau et le coût de sa destruction pour la société.

5-2-2- Les bénéfices marchands

5-2-2-1- Le chiffre d'affaire cynégétique

En Camargue, avec la faible rentabilité de la culture du riz et la baisse des subventions de la PAC, l'inondation des rizières en période inter-culturale pourrait contribuer à la diversification des exploitations agricoles par la pratique de la chasse privée aux canards, déjà pratiquée dans les marais et sur certaines rizières inondées, et ainsi procurer un revenu cynégétique complémentaire aux exploitants.

Mathevet (2000) a évalué le «coût de gestion et la marge brute de six chasses privées camarguaises» qui totalisent en moyenne 205 ha. Il a estimé à 1839F/ha/an soit **358,43€/ha** en 2014 le chiffre d'affaire moyen généré par la chasse payante dans les exploitations en Camargue. Ainsi, cette valeur du chiffre d'affaire de la chasse ne concerne pas que la chasse dans les rizières inondées, c'est la valeur du chiffre d'affaire moyen de tous les types de chasse que l'auteur a étudiés. Par ailleurs, comme nous l'avons souligné un peu plus haut l'auteur, en analysant les types de chasse en Camargue, a montré que les rizières inondées occupent en moyenne la moitié de l'espace alloué à la chasse dans les exploitations enquêtées, et que les rizières inondées sont parmi les milieux chassées qui concentrent le plus de canards pendant l'hiver, avec une densité moyenne de 8,6 ±3 canards/ha (d'après Pirot 1982 in Mathevet 2000), les résultats les plus récents suggérant même jusqu'à 24 ± 2 canards/ha (Pernollet *et al.* en préparation).

5-2-2-2- Les contrats MAEC

Les Mesures Agri-Environnementales et Climatiques (MAEC) sont un ensemble de mesures de Bonnes Conditions Agricoles et Environnementales (BCAE), cofinancées par l'État et l'Europe, pour compenser les manques à gagner pour les agriculteurs qui s'engagent à respecter certaines pratiques respectueuses de

l'environnement. Les agriculteurs qui s'engagent à mettre en œuvre des MAEC, localisées au niveau de la parcelle, le font sur un contrat de 5 ans avec la structure gestionnaire, cumulant les mesures unitaires pour la durée d'engagement.

Pour les besoins de ce travail, les MAEC prises en compte sont issues des mesures liées à la riziculture dans le territoire du Parc Naturel Régional de Camargue (PNRC. Ne sont considérés que les engagements unitaires rentrant dans le cadre des pratiques inter-culturales. Ainsi, l'enfouissement des pailles de riz (Couver16) ne pouvant jamais dépasser trois ans d'engagement et le maintien d'une culture irriguée par submersion pour 2 années supplémentaire (Irri09) sont pris en compte dans cette étude. Nous avons maintenu l'engagement «Irri09», dans la mesure où la pratique de l'inondation hivernale des rizières impose une monoculture du riz sur les parcelles. Le calcul des montants de MAEC est basé sur la méthode qui nous a été communiquée par la chargée de mission agriculture et élevage du PNRC, comme elle l'explique *«… dans le contexte économique actuel, tenant compte des besoins de dessalement et de ressuyage des terres, un agriculteur en terres hautes pratiquerait une seule année de riz sur 5 ans, contre deux années en terres basses. Les années supplémentaires de maintien des cultures irriguées par submersion porteraient alors sur la deuxième année en terres hautes et la troisième année en terres basses. Sauf que le surfaçage, l'enfouissement des pailles... s'ils sont demandés dans la MAE en question, porteront sur toutes les années de riz, y compris celles des années de base (1 en terre haute et 2 en terre basse), d'où le différentiel de chiffrage plus important en terres basses».*

Quelle que soit l'option d'enfouissement des pailles, à sec ou dans l'eau, l'hypothèse que le riziculteur s'engage à cultiver 2 années supplémentaires une culture irriguée est posée, l'engagement d'enfouissement des pailles ne dépassant pas trois ans. Ainsi, pour la MAEC enfouissement des pailles de riz «Couver16», dont le montant unitaire s'élève à 14,92€/ha/an, la valeur est cumulée 3 fois en terres basses ainsi qu'en terres hautes, pour donner un montant de **44,76€/ha**. La MAEC «irrig09» primant l'engagement de 2 ans supplémentaires de culture irriguée s'élève à 180,74€/ha. En la combinant avec la prime des trois années d'engagement pour l'enfouissement des pailles, nous aurons **225,50€/ha** sur terres basses et sur terres hautes. L'option avec inondation hivernale dont les pailles sont brûlées, la MAEC « Irri09 », peut être souscrite pour une prime de **180,74€/ha**.

Dans d'autres territoires méditerranéens espagnols à hauts intérêts écologiques, comme la Camargue, une MAEC incitant à l'inondation des rizières en hiver est octroyée aux riziculteurs (cf. annexe 4 comparant les MAEC mises en place dans trois zones humides rizicoles méditerranéennes, dont la Camargue). Au compte des Programmes de Développement Rural Régionaux (PDRR) 2014-2020 respectifs, Les riziculteurs bénéficient d'une aide de 60€/ha à l'Albulfera de Valencia et de 54€/ha au delta de l'Ebre pour l'inondation hivernale des rizières. Dans ces régions, l'inondation des rizières est gravitaire et se fait donc à moindre coût qu'en Camargue. De telles mesures pourraient être instituées en Camargue pour encourager l'inondation hivernale des rizières, dont les intérêts écologiques et économiques sont prouvés par plusieurs travaux de recherche *(*Mañosa i Riffé 1997; Tamisier et Dehorter 1999; Tourenq 2000; Mathevet 2000; Pernollet *et al.* 2015).

5-2-3- Les bénéfices non marchands

5-2-3-1- La valeur non-marchande des services éco-systémiques

L'inondation hivernale des rizières, nous l'avons vu dans ce chapitre, entraîne des externalités du point de vue environnemental et socio-économique. Dans notre étude, nous avons cherché à évaluer les valeurs économiques de ces externalités pour permettre aux acteurs d'intégrer dans leur prise de décisions ces valeurs environnementales dont bénéficient les êtres humains en termes de «services éco-systémiques» rendus par l'écosystème rizicole. Nous avons identifié dans le chapitre 1 les services que pourraient rendre à la société les écosystèmes agricoles inondés avec oiseaux d'eau en hiver:

- Prélèvement alimentaire de l'activité cynégétique
- Chiffre d'affaire de l'activité cynégétique
- Service recréatif par la chasse passion
- Maintien de la biodiversité
- Valeur esthétique paysagère
- Amélioration de la qualité d'eau

- Services agronomiques et environnementaux rendus par l'inondation (dégradation des paillers, dessalement des rizières, tamponnage des crues, etc)

Pour leur évaluation, nous avons procédé au cas par cas, selon les services rendus. En ce qui concerne le **prélèvement alimentaire** et le **chiffre d'affaire cynégétique** (activité économique)**,** les modes d'évaluation de leur valeur économique sont respectivement expliqués, plus haut, dans les rubriques coûts évités et bénéfices marchands. Les valeurs monétaires des autres services éco-systémiques sont issues d'un rapport d'étude de Calvet *et al*. (2011), réalisé en Camargue. Dans cette étude réalisée dans le cadre du projet «Combien coûte la Camargue?», les auteurs ont procédé à des analyses coûts-efficacités et coûts-bénéfices des investissements publics dans l'agriculture et l'environnement en Camargue pour déterminer s'ils sont efficaces et efficients. Pour ce faire, le calcul des valeurs non marchandes des services éco-systémiques rendus par les milieux agricoles et naturels les ont conduits à procéder à une «méta-analyse des zones humides méditerranéennes comparables à la Camargue». La comparaison des données issues de la littérature leur a permis de retenir les valeurs à l'hectare de l'étude de Brander *et al.* (2006), issues elles mêmes d'une «méta-analyse» pour enfin procéder au transfert des bénéfices de la zone d'étude à la zone d'intérêt (la Camargue). Le tableau 10, extrait de ce rapport, présente les valeurs non-marchandes des services éco-systémiques que pourraient rendre les milieux agricoles et naturels.

Tableau 10: Valeurs des services éco-systémiques rendus par les milieux agricoles et naturels dans le delta de l'Ebre d'après Brander *et al.* (2006). Les services en gris sont ceux retenus pour les rizières inondées en hiver, considérées dans la présente analyse.

	Milieux naturels		**Milieux cultivés**	
Services éco-systémiques	**$/ha/an 1995**	**$/ha/an 2010**	**$/ha/an 1995**	**$/ha/an 2010**
Biodiversité	20	28,8	5	7,2
Aménité	80	115,2	50	72
Pêche récréative	40	57,6	10	14,4
Chasse récréative	55	79,2	40	57,6
Habitats et pépinières	80	115,2	60	86,4
Qualité de l'eau	25	36	15	21,6
Approvisionnement en eau	20	28,8	15	21,6
Inondation	26	37,44	13	18,72

Source: Calvet *et al.* (2011).

Tenant compte d'un taux d'inflation cumulé de 5,5%, les valeurs non marchandes des services éco-systémiques s'élèvent à **46,65€/ha** pour **la chasse récréative**, **à 5,83€/ha pour le maintien de la biodiversité**, **à 17,49€/ha pour l'amélioration de la qualité de l'eau et à 15,16€/ha pour l'inondation**.

Pour l'évaluation de la valeur d'usage de la Camargue, c'est-à-dire les bénéfices tirés par les visiteurs du territoire que leur offre la qualité du paysage**,** Calvet et al.(2011), dans une étude comparative de deux évaluations contingentes, ont établi à 15,57€, soit **16,09€** en juin 2014, le Consentement A Payer (CAP) par un visiteur et par visite. L'une des évaluations contingentes a été réalisée par Lopez et al. (2004) dans une étude sur la préservation du paysage du delta de Guadalquivir. La seconde a été réalisée en Camargue par Lucchini et al. (1999), et concernait une enquête «pour évaluer le prix que les visiteurs seraient prêts à payer pour continuer à avoir accès à la Camargue telle qu'elle est».

La population des visiteurs considérée dans notre cas est celle des visiteurs du territoire du PNRC en hiver. Une étude régionale de la fréquentation touristique en PACA incluant le PNRC (PNRC 2013c) a estimé à près de 5,3 millions la fréquentation annuelle des communes qui composent le territoire du PNRC. Cette population de visiteurs est partagée entre 800 000 touristes et 4,5 millions d'excursionnistes dont 12% des visites ont lieu pendant la saison hivernale, soit un nombre de visiteurs hivernaux estimé à 636 000.

Le mode d'évaluation de la **valeur esthétique paysagère** de la Camargue en hiver est le suivant. Cette évaluation est basée sur l'hypothèse que chaque usager de Camargue effectue une seule visite pendant l'hiver:

Nombre de visiteurs de la Camargue: 636 000
CAP par visiteur (€): 16,09
CAP total des visiteurs(€): 10 233 240
Surface cultivée en riz (2014) (ha): 11 390
CAP des visiteurs à l'hectare (€): **898,44**

Ainsi, la Valeur Economique Totale (VET) non-marchande des rizières inondées en hiver en Camargue s'élèverait à **983,57€/ha.**

6- Elaboration des ratios bénéfices-coûts

L'analyse se faisant d'une part pour l'exploitation à l'échelle de la parcelle et de l'autre pour la société y compris les riziculteurs, nous présentons dans le tableau 11 les coûts et les bénéfices qui ont servi à calculer les ratios bénéfices-coûts pour chaque itinéraire technique, lesquels sont présentés dans les tableaux 12 et 13.

Tableau 11: Décomposition des bénéfices et des coûts pour l'exploitation agricole et la société

Exploitation agricole	**Société**
Bénéfices marchands • Contrats MAEC • Chiffre d'affaire cynégétique **Coûts évités** • Diminution des apports en engrais • Economie sur les coûts de désherbage chimique **Bénéfices non-marchands** • Chasse récréative • Services agronomique de l'inondation	**Bénéfices marchands** • Contrats MAEC • Chiffre d'affaire cynégétique **Coûts évités** • Diminution des apports en engrais • Economie sur les coûts de désherbage chimique **Bénéfices non-marchands** • Chasse récréative • Valeur esthétique paysagère • Maintien de la biodiversité • Amélioration de la qualité de l'eau • Services agronomiques de l'inondation • Prélèvement alimentaire
Coûts marchands • Coût de la main d'œuvre des opérations • Coût de la consommation de carburant • Coût d'irrigation et de drainage • Charges fixes **Coûts d'opportunité** • Apport d'engrais pour compenser la perte due au brûlage des pailles	**Coûts marchands** • Coût de la main d'œuvre des opérations • Coût de la consommation de carburant • Coût d'irrigation et de drainage • Charges fixes **Coûts d'opportunité** • Apport d'engrais pour compenser la perte due au brûlage des pailles **Coûts non-marchand** • Emission de GES

Tableau 12: Ratios Bénéfices-Coûts pour l'exploitation agricole

Itinéraire	**Bénéfices**	**Coûts**	**Ratio**
Moisson à sec-Brûlage-Labour	238,87	234,54	1,02
Moisson à sec-Broyage-déchaumage	351,68	148,76	2,36
Moisson à sec-Brûlage-Inondation -Roues cages-Drainage	667,49	417,10	1,60
Moisson à sec-Broyage-Inondation-Drainage-Labour	780,30	391,41	1,99
Moisson à sec-Broyage-Inondation-Rototiller-Drainage	780,30	367,33	2,12
Moisson dans l'eau-Broyage-Inondation-Rototiller-Drainage	780,30	193,06	4,04

Tableau 13: Ratios Bénéfices-Coûts pour la société

Itinéraire	Bénéfices	Coûts	Ratio
Moisson à sec-Brûlage-Labour	238,87	304,54	0,78
Moisson à sec-Broyage-déchaumage	351,68	150,93	2,33
Moisson à sec-Brûlage-Inondation -Roues cages-Drainage	1610,90	550,80	2,92
Moisson à sec-Broyage-Inondation-Drainage-Labour	1723,71	457,56	3,77
Moisson à sec-Broyage-Inondation-Rototiller-Drainage	1723,71	433,22	3,98
Moisson dans l'eau-Broyage-Inondation-Rototiller-Drainage	1723,71	258,30	6,67

Le calcul des ratios pour l'exploitation agricole et pour la société nous montre que d'un point de vue agronomique, tous les itinéraires techniques sont acceptables car les ratios sont tous supérieurs à 1. Par contre, du point de vue social, l'itinéraire impliquant le brûlage-labour devient non justifié. Ce dernier itinéraire présente également le ratio le plus faible (1,02) dans l'analyse pour l'exploitation, soit 3,96 fois inférieur au ratio le plus élevé, correspondant à l'itinéraire avec une inondation hivernale issue de la moisson dans l'eau (4,04).

7- Analyse de sensibilité

Une analyse de sensibilité tenterait d'évaluer les conséquences d'une variation de chacun des coûts et bénéfices, afin de déterminer à quoi les ratios sont les plus sensibles. Ici, seule la variation des coûts marchands (main d'œuvre, consommation carburant, charges fixes, irrigation et drainage) sont considérée. Les coûts de gestion de l'eau dans les rizières (irrigation et drainage) sont les plus incertains, étant calculés en fonction de la consommation d'électricité d'été des ASA.

En choisissant de façon aléatoire une augmentation de 50% des coûts marchands de la main d'œuvre, de la consommation de carburant et des charges fixes des opérations inter-culturales, nous observons les variations des ratios bénéfices-coûts qui sont consignés dans le tableau 14 et 15 suivants.

Tableau 14: Sensibilité des ratios Bénéfices-Coûts pour l'exploitation à la variation des coûts marchands de la main d'œuvre, de la consommation de carburant et des charges fixes des opérations inter-culturales.

Itinéraire	Ratio intial	Ratio simulé
Moisson à sec-Brûlage-Labour	1,02	0,75
Moisson à sec-Broyage-déchaumage	2,36	1,58
Moisson à sec-Brûlage-Inondation -Roues cages-Drainage	1,60	1,31
Moisson à sec-Broyage-Inondation-Drainage-Labour	1,99	1,54
Moisson à sec-Broyage-Inondation-Rototiller-Drainage	2,12	1,66
Moisson dans l'eau-Broyage-Inondation-Rototiller-Drainage	4,04	2,78

Tableau 15: Sensibilité des ratios Bénéfices-Coûts pour la société à la variation des coûts marchands de la main d'œuvre, de la consommation de carburant et des charges fixes des opérations inter-culturales.

Itinéraire	Ratio initial	Ratio simulé
Moisson à sec-Brûlage-Labour	0,78	0,62
Moisson à sec-Broyage-déchaumage	2,33	1,56
Moisson à sec-Brûlage-Inondation -Roues cages-Drainage	2,92	2,50
Moisson à sec-Broyage-Inondation-Drainage-Labour	3,77	3,01
Moisson à sec-Broyage-Inondation-Rototiller-Drainage	3,98	3,21
Moisson dans l'eau-Broyage-Inondation-Rototiller-Drainage	6,67	4,99

Au cas où les ASA décideraient de fixer la redevance en fonction du prix d'hiver de l'électricité et considérant le « tarif vert A5 base, courte utilisation » (l'abonnement le plus commun des ASA aux tarifs

d'EDF), le prix du KWh de la consommation d'électricité augmenterait au maximum de 19,30% (variation entre le prix des heures creuses d'été et le prix des heures de pointe d'hiver, tarif vert A5 base 2015), c'est-à-dire une augmentation du coût moyen de 31,13€. Les incidences de cette augmentation sur la variation des ratios sont consignées dans les tableaux 14 et 15 suivants :

Tableau 14 : Sensibilité des ratios Bénéfices-Coûts pour l'exploitation à la variation des coûts d'irrigation et de drainage. Seuls les itinéraires incluant une inondation hivernage par pompage sont considérés ici.

Itinéraire	Ratio initial	Ratio simulé
Moisson à sec-Brûlage-Inondation-Roues cages-Drainage	1,60	1,48
Moisson à sec-Inondation-Drainage-Labour	1,99	1,84
Moisson à sec-Broyage-Inondation-Rototiller-Drainage	2,12	1,95
Moisson dans l'eau-Broyage-Inondation-Rototiller-Drainage	4,04	3,96

Tableau 15: Sensibilité des ratios Bénéfices-Coûts pour la société à la variation des coûts d'irrigation et de drainage. Seuls les itinéraires incluant une inondation hivernage par pompage sont considérés ici.

Itinéraire	Ratio initial	Ratio simulé
Moisson à sec-Brûlage-Inondation-Roues cages-Drainage	2,92	2,76
Moisson à sec-Inondation-Drainage-Labour	3,77	3,52
Moisson à sec-Broyage-Inondation-Rototiller-Drainage	3,98	3,71
Moisson dans l'eau-Broyage-Inondation-Rototiller-Drainage	6,67	6,59

Discussion des résultats et recommandations

Les résultats de l'analyse montrent que les ratios pour l'exploitation agricole de toutes les options inter-culturales (y compris l'itinéraire de référence) sont supérieurs à 1. Cela signifie que les dépenses consenties pour la réalisation de l'activité suivant chacun des itinéraires techniques sont justifiées au regard des bénéfices procurés à l'exploitation. En comparant les ratios bénéfices-coûts pour l'exploitation, nous observons que les itinéraires avec brûlage des pailles de riz ont les ratios bénéfices-coûts les plus faibles, ce qui peut s'expliquer par le fait que le brûlage des pailles entraine une perte de matières organiques pour les cultures suivantes, mesurée comme un coût puisque ceci devra être compensé par l'apport ultérieur d'intrants. Le ratio de l'itinéraire de référence (le plus commun dans les exploitations rizicoles en Camargue), c'est-à-dire le brûlage-labour, est 2,31 fois inférieur au ratio de l'itinéraire avec broyage et enfouissement des pailles de riz à sec, et 3,96 fois inférieur au ratio le plus élevé, correspondant à l'itinéraire avec une inondation hivernale issue de la moisson dans l'eau (et bénéficiant donc de l'inondation hivernale sans coût supplémentaire d'irrigation).

En intégrant certains coûts et les bénéfices non-marchands pour une analyse ne comprenant plus uniquement l'exploitation agricole concernée mais l'ensemble de la société, le ratio coûts-bénéfices de l'itinéraire technique de référence devient inférieur à 1, donc socialement non acceptable, c'est-à-dire que les bénéfices attendus de l'activité ne justifient pas les coûts consentis pour sa réalisation, tandis que les ratios des autres itinéraires sont tous supérieurs à 1. Cette situation de l'itinéraire de référence s'explique par le poids des coûts sociaux (émissions de GES) dus au brûlage des pailles de riz, qui s'ajoutent aux coûts agronomiques pour l'exploitation agricole (perte de matières organiques). Que ce soit durant l'analyse pour l'exploitation agricole uniquement ou pour la société dans son ensemble, les itinéraires techniques impliquant l'enfouissement des pailles avec ou sans inondation hivernale des rizières présentent tous des ratios bénéfices-coûts, non seulement acceptables mais aussi supérieurs à celui de l'itinéraire de référence. Ces résultats nous permettent de révéler que les pratiques du broyage-enfouissement des pailles, d'autant plus si celui-ci est associé à une inondation hivernale, fournissent les bénéfices socio-économiques qui influent le plus positivement l'efficience de l'activité. Bien que les coûts de l'inondation hivernale des rizières soient élevés en Camargue, l'analyse de sensibilité des

résultats montre que malgré la simulation de l'augmentation des coûts d'irrigation et de drainage en hiver et des coûts de la main d'œuvre et de la consommation de carburant pour les opérations inter-culturales, les ratios bénéfices-coûts de ces itinéraires restent robustes. Seul l'itinéraire de référence qui implique le brûlage-labour qui devient non acceptable non seulement pour l'exploitation agricole mais aussi pour la société avec une augmentation de 50% des coûts de la main d'œuvre et de consommation de carburant.

Nous fondant sur ces résultats, nous pouvons donc recommander l'introduction d'une inondation en hiver des rizières parmi les opérations inter-culturales en Camargue. L'inondation en hiver des rizières est non seulement économiquement viable pour les exploitations rizicoles, mais aussi écologiquement et socialement bénéfique. Sa généralisation en Camargue pourrait être encouragée par des MAEC spécifiques à la pratique de l'inondation hivernale des rizières.

Dans le contexte actuel de crise de la riziculture camarguaise, les riziculteurs les plus rationnels sont enclins à choisir l'option de conduite des opérations culturales (itinéraire technique) qui présente le ratio bénéfices-coûts le plus élevé, c'est-à-dire le bénéfice net le plus grand. En opérant un classement des itinéraires techniques en fonction des ratios bénéfices-coûts, l'option d'inondation hivernale avec la moisson dans l'eau, permettant d'économiser les coûts d'irrigation, présente les ratios les plus élevés, tant dans l'analyse à l'échelle de la parcelle pour l'exploitation qu'à l'échelle de la société. Dans ce cas, le riziculteur est amené donc à choisir cette dernière option qui maximise le bien-être social et minimise ses coûts de production.

En termes d'économie sur les coûts d'exploitation, des études réalisées en Amérique du nord sur la gestion hivernale de rizières par une inondation, citées dans Pernollet *et al.* (sous presse) estiment que l'inondation hivernale de rizières permettrait d'économiser 49,42$/ha (40,63€/ha) sur les produits chimiques (Muzzi, 1994 dans Anders *et al.* 2008) et 34,22$/ha (28,13€/ha) sur les opérations de déchaumage ou de labour à l'automne (Manley *et al.* 2005). Nos résultats montrent également que l'inondation hivernale des rizières en Camargue pourrait permettre une économie de 81,65€/ha sur l'achat d'engrais à partir de la troisième année d'enfouissement si les résidus de culture sont enfouis, et 52,90€/ha sur l'achat d'herbicide pour la lutte contre le riz sauvage, ce qui donnent respectivement 929 994 et 602 531€ économisés à l'échelle du territoire (considérant les surfaces en riz dans le territoire en 2014). En termes d'émission de GES, bien que l'enfouissement des résidus de récolte dans l'eau par roto tiller, accompagné d'une inondation hivernale des rizières, favorise plus d'émission de CH_4 par rapport aux rizières sèches, il permettrait d'éviter l'émission de 8 200,80 t eq CO_2 à l'échelle du territoire soit un dommage social évité de 57 405,60€/an en cas d'abandon par les riziculteurs de la pratique du brûlage-labour automnal.

Les limites et difficultés rencontrées

L'évaluation économique de la pratique de l'inondation hivernale des rizières en Camargue par la méthode d'Analyse Coûts-Bénéfices (ACB) nous a paru pertinente puisque les outils et méthodes d'évaluation qu'elle préconise nous ont permis d'atteindre les objectifs que nous nous étions fixés, à savoir la possibilité de confronter le réalisme économique et sociétal de différentes pratiques culturales. Cependant elle ne s'est pas réalisée sans difficultés et limites, liées notamment à la récolte des données et aux outils et méthodes d'analyse.

Le premier facteur limitant était le temps imparti pour la réalisation de l'étude, qui ne nous permettait pas de réaliser des enquêtes directes auprès des acteurs, nécessaires pour la récolte de données originales. En effet, nous avons du nous contenter d'entretiens avec certains acteurs et des spécialistes des questions que traite le sujet, de recherches documentaires sur le sujet et de données d'études réalisées par d'autres sur la riziculture en Camargue, pour pouvoir surmonter cette difficulté liée au temps. Les difficultés liées à la récolte des données et les limites de leur précision dépendent de la nature de chacune d'entres elles.

Tout d'abord, comme nous l'avons souligné dans l'introduction, n'ayant pas pu accéder aux données sur les coûts d'irrigation et de drainage des rizières du coté de la Camargue gardoise, nous nous sommes résolus à réduire notre territoire d'étude au périmètre du PNRC.

Ensuite, le calcul des coûts marchands des opérations culturales nous a été facilité par la collaboration du SMGAS du pays d'Arles et l'UMR Innovation-INRA de Montpellier, qui nous ont transmis

respectivement les données sur les coûts de gestion de l'eau dans les rizières, et les coûts de la main d'œuvre et de consommation de carburant des opérations culturales. Les coûts de gestion de l'eau dans les rizières (irrigation et drainage) posent des questions de précision des résultats de l'étude. Les tarifs d'irrigation (rôle d'exploitation) étant calculés par les ASA en fonction de la consommation d'électricité, les tarifs qui nous ont servi à calculer les coûts d'irrigation se basent sur le prix d'été de consommation d'électricité des ASA d'irrigation alors que notre étude concerne l'irrigation en hiver des rizières, période à laquelle le prix de consommation d'électricité est généralement plus élevé que le prix d'été. Devant l'absence totale de données sur les coûts d'irrigation et de drainage des rizières en hiver, puisque ceci n'est pas aujourd'hui pratiqué à large échelle, nous avions voulu calculer les coûts d'irrigation hivernale des rizières en fonction des prix d'hiver de la consommation d'électricité des ASA. Compte tenu du fait que nous ne maitrisons pas le fonctionnement des stations de pompage des ASA et le temps était limitant, nous avons exploité les données disponibles tout en posant l'hypothèse que les agriculteurs irrigueraient les rizières en octobre, bénéficiant donc toujours du tarif d'été. Cependant, il est notable que l'analyse de sensibilité des résultats à l'augmentation potentielle des tarifs d'irrigation que nous avons effectuée montre bien que cette différence de prix du KWh d'électricité n'affecte pas la robustesse des résultats. En ce qui concerne le revenu cynégétique lié à la chasse, les données que nous avons exploitées sont issues d'une étude réalisée durant l'année 2000, donc un peu ancienne. Nous les avons cependant utilisées car ce sont à notre connaissance les seules disponibles sur la question économique de la chasse au gibier d'eau en Camargue.

Comme nous l'avons expliqué dans la partie sur l'évaluation des valeurs non-marchandes des services éco systémiques, les valeurs des biens non-marchands sont issues d'une étude réalisée en Camargue, qui elle même a usé d'une méta-analyse réalisée dans le delta de l'Ebre en Espagne. Bien que cette méthode de transfert de données comporte de nombreuses limites et faiblesses (Boyer 2013), le site de référence étant le delta de l'Ebre, une région méditerranéenne dont les caractéristiques sont très proches de celles de la Camargue, il est possible d'être relativement confiant quant aux incertitudes sur les résultats.

Conclusion et perspectives

L'évaluation économique des gains et des pertes qu'engendre la mise en œuvre des différents itinéraires techniques inter-culturaux en riziculture camarguaise, par la méthode d'Analyse Coûts-Bénéfices (ACB), a permis de déterminer l'opportunité socio-économique de la pratique de l'inondation hivernale des rizières en Camargue. Pour ce faire, nous avons d'abord identifié tous les itinéraires techniques en inter-culture mis en place en Camargue et les coûts et avantages qu'ils impliquent, pour enfin les quantifier par les méthodes appropriées à chaque coût et avantage. Ensuite, nous avons élaboré les indicateurs qui nous ont permis d'apprécier la viabilité socio-économique de chacun des itinéraires techniques inter-culturaux rizicoles mis en place en Camargue. Le calcul des ratios a montré que d'un point de vue agronomique, toutes les pratiques de gestion inter-culturale des rizières camarguaises que nous avons analysées, impliquant ou non une inondation hivernale, sont économiquement viables pour l'exploitation. Par contre, du point de vue social, les pratiques impliquant le brûlage des résidus de culture ne sont plus justifiées compte-tenu des dommages environnementaux liés à l'émission des gaz à effet de serre, alors que les itinéraires techniques impliquant l'enfouissement des pailles de riz et l'inondation hivernale des rizières deviennent plus efficients.

Dans le contexte actuel de crise économique de la riziculture camarguaise, de baisse des subventions et de reforme de la PAC plus exigeante sur les bonnes pratiques agricoles, les résultats de l'étude ont montré que les riziculteurs pourraient avec l'inondation hivernale baisser leurs coûts de production et générer des revenus complémentaires (cynégétiques), en plus de permettre aux rizières de fournir des services écosystémiques importants à la société.

Malgré les limites qu'elle présente, l'étude aura le mérite d'apporter des éléments de réflexion et de décision aux différents acteurs impliqués dans la gestion durable de la Camargue. C'est pourquoi, dans la perspective de généralisation de la pratique de l'inondation hivernale des rizières et de l'amélioration de ce travail, il nous semble nécessaire:

- De réaliser une étude complète des coûts de gestion hivernale de l'irrigation et du drainage des rizières en Camargue;

- D'actualiser les données de l'économie cynégétique camarguaise, particulièrement en ce qui concerne la chasse dans les rizières inondées;
- De réaliser une étude de monétarisation des services éco-systémiques que pourraient rendre aux humains l'agro-écosystème camarguais. Ceci permettrait de prendre en compte les caractéristiques spécifiques de la Camargue et d'éviter le besoin de recourir à des transferts de données d'autres sites d'étude.
- De procéder à une identification et à la mise en œuvre de Mesures Agri-Environnementales et Climatiques (MAEC) spécifiques à l'inondation hivernale des rizières pour encourager cette pratique inter-culturale en Camargue pour ses intérêts agronomiques et écologiques.

Bibliographie

Anders M. M., Kessel C. V. & Eadie J. M. (2008). Conservation in ricelands of North America. Agronomic Impacts of Winter Wetland and Waterflowl Management in Riceland. In Manley S.W. (ed) Ph.D. thesis. The rice fondation, Sturttgart, Arkansas, USA, pp. 91-112.

Bouscasse H., Defrance P., Duprez C., Strosser P., Morardet S., & Beley Y. (2011). Evaluation économique des services rendus par les zones humides-Enseignement méthodologique de monétarisation. Commissariat Général au Développement Durable (CGDD), France. Disponible sur : <http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/ED49.pdf>

Boyer J.-P. (2013). Évaluation économique de biens et services environnementaux par la méthode du transfert de bénéfices [en ligne]. Centre universitaire de formation en environnement, Université de Sherbrooke. Disponible sur: <http://savoirs.usherbrooke.ca/bitstream/handle/11143/7076/cufe_Boyer_JP__2013-01-21_essai245.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Brahic E. (2013). Evaluation économique de la biodiversité et des services rendus par les écosystèmes: Pourquoi? Comment? Note de présentation [en ligne]. Disponible sur : <http://www.environnement.ens.fr/IMG/file/E_Brahic%20ENS_2013.pdf>

Calvet C., Lifran R. & Mathevet R. (2011). Rapport d'étude scientifique du projet : combien coûte la Camargue ? CNRS-CEFE et l'INRA-LAMETA, Montpellier. Disponible sur : <http://www.environnement.ens.fr/IMG/file/E_Brahic%20ENS_2013.pdf>

Chauvelon P. (2013). La gestion des eaux dans l'île de Camargue. In Blondel J., Barruol G. & Vianet R. (eds.) L'encyclopédie de la Camargue. Buchet-Chastel, Libella, Paris, France, pp. 39-41.

Conseil régional de Languedoc Roussillon (CR-LR) (2011). CPER 2007 – 2013. Gérer durablement le Littoral - Etudes stratégiques et prospectives sur l'évolution des risques littoraux. Module 2: stratégies d'adaptation. Rapport phase 1 [en ligne]. [Consulté le 23 juillet 2015]. Disponible sur: <http://littoral.languedocroussillon.fr/IMG/pdf/rapport_phase_1_cper_aca.pdf>

Centre Européen de Prévention du Risque d'Inondation (CEPRI) (2011). L'Analyse Coûts-Bénéfices: une aide à la décision au service de la gestion des inondations. Guide à l'usage des maitres d'ouvrage et de leurs partenaires [en ligne]. [Consulté le 23 juillet 2015]. Disponible sur: <http://www.mementodumaire.net/wp-content/uploads/2012/07/CEPRI-Guide-ACB-inondations-2011.pdf>

Couderc V. (2013). Evaluation de scénarios d'évolution des systèmes agricoles en lien avec la réduction des émissions de gaz à effet de serre et des consommations d'énergie. Application au cas de la céréaliculture de Camargue. Mémoire de fin d'études d'ingénieur agronome, SupAgro, Montpellier, France, 44p.

Delmotte S., (2011). Evaluation participative de scénarios: Quelles perspectives pour les systèmes agricoles camarguais? Thèse de doctorat, Systèmes Intégrés en Biologie, Agronomie, Géosciences, Hydrosciences et Environnement, Montpellier SupAgro, 277p. Disponible sur : <http://cormas.cirad.fr/pdf/Delmotte_2011_PhD.pdf>

Deceuninck B., Quaintenne, G., Ward, A., Dronneau, C. & Mahéo, R. (2014). Synthèse des dénombrements d'anatidés et de foulques hivernant en France à la mi-janvier 2013. Ligue pour la Protection des Oiseaux, Rochefort, 74p.

Doublet S. (2011). ClimAgri : Guide méthodologique et des facteurs d'émission. SOLAGRO-ADEME [en ligne]. [Consulté le 25 juin 2015]. Disponible sur: <http://www-old.agroparistech.fr/energiepositive/downloads/Aline/Performance%20nourrici%C3%A8re/GuideMethodologiqueCLIMAGRI.pdf>

Eadie J. M., Elphick C. S., Reinecke K. J. & Miller M. R. (2008). Conservation in ricelands of North America. Wildlife Values of North América Ricelands. In Manley, S.W. (ed) Ph.D. thesis. The rice fondation, Sturttgart, Arkansas, USA, pp. 07-73.

Elphick, C.S., Parsons, K.C., Fasola, M. & Mugica, L. (Eds.) (2010). Ecology and Conservation of Birds in Rice fields: A Global Review. Waterbirds 33 (Special Publication 1).

EnviroConsult. Bilan des Emissions de Gaz à Effet de Serre, 2011, Toupargel [En ligne]. [Consulté le 9 juin 2015]. Disponible sur : <https://www.google.fr/search?q=Bilan+des+Emissions+de+Gaz+%C3%A0+Effet+de+Serre,+2011,+Toupargel&ie=utf-8&oe=utf-8&gws_rd=cr&ei=ZiTbVfmNGor6aLLSl9gG>

Garrabé M. (1994). Ingénierie de l'évaluation économique. Enseignement Supérieur Tertiaire. Ellipses, Edition markiting, Paris, France, 245p.

Generalitat de Catalunya (2014). Programa de Desarrollo Rural de Catalunya (PDR-C) 2014-2020. Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca, Alimentaio i Medi Natural, Generalitat de Catalunia, Barcelona, Espagna, 391p.

Generalitat de Valenciana (2014). Programa de Desarrollo Rural de la Comunitat Valenciana (PDR-CV) 2014-2020. Generalitat de Valenciana, Valencia, España, 391p.

GIEC (2006). Lignes directrices 2006 du GIEC pour les inventaires nationaux des gaz à effet de serre, préparé par le Programme pour les inventaires nationaux des gaz à effet de serre, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. et Tanabe K. (éds). IGES, Japon.

Green, A. J. & Elmberg J. (2014). Ecosystem services provided by waterbirds. Biological Reviews,89: 105-122.

Hammond R., Mouret J-C., Le Velly R., Mailly F. & Michel L. (2012). Aspects techniques, économiques, sociaux, environnementaux. Agriculture biologique-questions posées à la recherche. Riziculture Camarguaise. La durabilité des systèmes de production agricole. Analyse des points de vue des riziculteurs camarguais. UMR-Innovation, INRA-Montpellier, 46p.

Lavoux T., Robinet O., Schmit P. & Simon G. (2011). Les enjeux écologiques et fonciers en Camargue. Conseil Général de l'Environnement et du Développement Durable, Rapport juillet 2011 [en ligne], 63p. [Consulté le 21 mars 2015]. Disponible sur : <http://www.ladocumentationfrancaise.fr/var/storage/rapports-publics/114000572.pdf>

Lifran R. (2013). L'agriculture à la croisée des chemins. In Blondel J., Barruol G. & Vianet R. (eds). L'encyclopédie de la Camargue. Buchet-Chastel, Libella, Paris, France, pp. 139-141.

Mañosa i Rifé S. (1997). Les rizières et la conservation des oiseaux d'eau dans trois régions du bassin méditerranéen occidental: la Camargue, le delta de l'Ebre et la plaine de Pô. Thèse de doctorat, Station de la Tour du Valat, Arles, 111p.

Mathevet R. (2004). Camargue incertaine. Sciences, usages et natures. Buchet/Chatel, Meta-Editions, Paris, France, 180p.

Mathevet R. (2000). Usages des zones humides camarguaises : Enjeux et dynamique des interactions Environnement/Usages/Territoire. Thèse de doctorat, Université Jean Moulin de Lyon 3, France, 404p.

Meunier V. & Mardsen E. (2009). L'analyse coût-bénéfices, guide méthodologique. Les cahiers de la sécurité industrielle [en ligne]. Institut pour une Culture de Sécurité Industrielle (ICSI), Toulouse, France. [Consulté le 9 avril 2015]. Disponible sur : <http://www.icsi-eu.org/docsi/documents/csi0906-acb-guide-methodologique.pdf>

Monier C., Mouret J.-C. & Hammond R. (2009). Etat des lieux retours d'expériences, débats participatifs, voies de valorisation. Riziculture camarguaise. La paille de riz. Pratiques au champ et filières de valorisation pour un développement durable. UMR Innovation, INRA-Montpellier, 33p.

Mouret J.-C. (2013). L'agriculture, le riz. In Blondel J., Barruol G. & Vianet R. (eds). L'encyclopédie de la Camargue. Buchet-Chastel, Libella, Paris, France, pp. 143-144.

Mouret J.-C., Hammond R., Lopez R. S. & Delmotte S. (2010). Compte rendu d'étude scientifique. Plan d'adaptation de la filière riz (année 5), FranceAgrimer. UMR-Innovation et développement, INRA-Montpellier, 58p.

Mouret J.-C. (2004). Les potentialités agroclimatiques et la place du riz dans la dynamique d'évolution des systèmes de culture en Camargue. UNRA-UMR Innovation, Montpellier, France, 8p. Disponible sur: <http://www.museum.agropolis.fr/pages/savoirs/camargue/mouret.pdf>

Mouret J.-C. (1988). Etude de l'agrosystème rizicole en Camargue dans ses relations avec le milieu et le système cultural: aspects particuliers de la fertilité. Laboratoire d'Etudes Comparées des Systèmes Agraires, INRA-Montpellier, 177p.

Mouronval J. B., Brochet A. L., Aubry P. & Guillemain M. (2014). Les anatidés hivernants en Camargue se nourrissent-ils dans les marais aménagés pour la chasse ? Faune sauvage 303 : 14-21. Disponible sur : <http://www.oncfs.gouv.fr/IMG/pdf/FS_303_regime_canards_Camargue.pdf>

Palvadeau L. Mailly F. & Mouret J.-C. (2012). Etat des connaissances scientifiques et techniques et perspectives de recherche. Première conférence internationale. Les systèmes de production rizicole biologique. UMR Innovation, Montpellier, France, 19p**.**

Parc Naturel Régional de Camargue (2013a). Evolution de l'occupation du sol en Camargue en 20 ans (1991-2011) [en ligne]. Pôle évaluation et prospective, PNRC, Arles, 33p. Disponible sur : <http://parc-camargue.fr/newsletter/Evolution_occupation_sol_Camargue.pdf>

Parc Naturel Régional de Camargue (2013b). Amélioration de l'évacuation des crues en Camargue insulaire. Phase 1 : approche générale et état des lieux-Analyse et proposition d'un schéma d'amélioration du système hydraulique existant. PNRC, Arles, 103p.

Parc Naturel Régional de Camargue (2013c). Les clientèles touristiques de la Camargue. Arles, Les Saintes-Maries-de-la-Mer, Port Saint-Louis-du-Rhône [en ligne]. Disponible sur : <http://www.parc-camargue.fr/getlibrarypublicfile.php/d8814a2d636f119443469588d7c28f85/parc-camargue/_/collection_library_fr/201300053/0001/Chiffres_clefs_tourisme_Camargue.pdf>

Parc Naturel Régional de Camargue (2009). Diagnostic du territorial, Charte du PNRC, objectif 2022 [en ligne], 96p. Disponible sur : <http://www.parc-camargue.fr/getlibrarypublicfile.php/3b7ed89641162b2d41229ce9fc57374d/parc-camargue/_/collection_library_fr/201100325/0001/1_Diagnostic.territorial_web.pdf>

Parc Naturel Régional de Camargue (2004). Etude hydraulique et hydro biologique des canaux de Camargue. Volume 1: Etat des lieux-Diagnostic. PNRC, 51p.

Pearce D., Atkinson G. & Mourato S. (2006). Analyse coûts-bénéfices et environnement. Développements récents [en ligne]. OCDE édition, 333p. Disponible sur : <http://tbauler.pbworks.com/f/OECD-Pearce+et+al-2006.pdf>

Pellerin S., Bamière L., Angers D., Béline F., Benoît M., Butault J.P., Chenu C., Colnenne-David C., De Cara S., Delame N., Doreau M., Dupraz P., Faverdin P., Garcia-Launay F., Hassouna M., Hénault C., Jeuffroy M.H., Klumpp K., Metay A., Moran D., Recous S., Samson E., Savini I. & Pardon L. (2013). Quelle contribution de l'agriculture française à la réduction des émissions de gaz à effet de serre ? Potentiel d'atténuation et coût de dix actions techniques [en ligne]. Synthèse du rapport d'étude, INRA (France), 92 p. Disponible sur : <http://inra-dam-front-resources-cdn.brainsonic.com/ressources/afile/237958-637ec-resource-etude-reduction-des-ges-en-agriculture-synhese-90-p-.html>

Peloquin T. (2010). Comment mettre en place une échange paille-fumier (ou autres déjections) ? [en ligne]. Chambre d'Agriculture des Deux-Sèvres, 6p. Disponible sur : <http://www.charente-maritime.chambagri.fr/fileadmin/publication/CA17/secheresse/documents/FTECH_2010_TPE_Echange_paille_fumier.pdf>

Pérès J. L., Hamiti N. & Kempen P. V. (2014). Coûts prévisionnels indicatifs des matériels agricoles [en ligne]. Service Elevage et Agroéquipements de l'APCA-Chambre d'Agriculture France, 52p. Disponible sur : <http://www.loiret.chambagri.fr/fileadmin/documents/Machinisme/Bareme_grandeculturereelevage_20140722.pdf>

Pernollet C.A., Cavallo F., Simpson D., Gauthier-Clerc M. & Guillemain M. **(en préparation).** Seed availability and waterfowl use of ricefields in Camargue (France): the role of post-harvest practices.

Pernollet C. A., Simpson D., Gauthier-Clerc M. & Guillemain M. (sous presse). Rice and Duck, a good combination? Identifying the incentives and triggers for joint rice farming and wild duck conservation. Agriculture, Ecosystems and Environment.

Pernollet C.A., Guelmami A., Green A.J., Curcó Masip A., Dies B., Bogliani G., Tesio F., Brogi A., Gauthier-Clerc M. & Guillemain M. (2015). A comparison of wintering duck numbers among European rice production areas with contrasting flooding regimes. Biological Conservation 186: 214-224. DOI: 10.1016/j. biocon. 2015.03.019.

Roger P., Le Mer J., & Joulian C. (1999). L'émission de méthane par les sols : mécanismes, intensité et régulation. Laboratoire de Microbiologie IRD, Université de Provence Aix Marseille 1, ESIL, France. Disponible sur : <http://pierre-armand-roger.fr/publications/pdf/208_coursch4.pdf>

Tamisier A. & Dehorter O. (1999). Camargue, canards et foulgues. Fonctionnement et devenir d'un prestigieux quartier d'hiver. Centre ornithologique du Gard, Nîmes, France.

Tourenq C. (2000). Valeur et fonction des rizières pour les communautés d'oiseaux d'eau en Camargue. Thèse de doctorat, Sciences et technologie du Languedoc, Université de Montpellier II, Montpellier, France.

Van Kempen P. (2010). Consommation et pollution du carburant agricole [en ligne]. Bureau de Coordination du Machinisme Agricole (BCMA). Disponible sur : <http://agroequipement-energie.fr/cms_page_media/24/consommation%20et%20pollution%20du%20carburant%20agricole%20BCMA%20juil%202010.pdf>

Liste des tableaux

Tableau 1: Les itinéraires techniques à analyser……..19

Tableau 2: Atouts et contraintes du brûlage et de l'enfouissement des pailles de riz…….....21

Tableau 3: les avantages et les inconvénients des différentes opérations d'enfouissement et d'inondation hivernale…….22-23

Tableau 4: Les coûts identifiés pour l'analyse des itinéraires techniques…….23-24

Tableau 5: Les bénéfices identifiés pour l'analyse des itinéraires techniques……..25-26

Tableau 6: Les coûts marchands des itinéraires techniques en inter culture……..28-29

Tableau 7: Quantité de GES émise par la consommation de fioul par opération Culturale……..31

Tableau 8: Quantités de GES émises par le brûlage des pailles de riz…….32

Tableau 9: Les quantités et les coûts sociaux d'émission de GES par itinéraire……33

Tableau 10: Valeurs des services éco-systémiques rendus par les milieux agricoles et naturels…..37

Tableau 11: Décomposition des bénéfices et des coûts pour l'exploitation agricole et la société….38

Tableau 12: Ratios Bénéfices-Coûts pour l'exploitation agricole……38

Tableau 13: Ratios Bénéfices-Coûts pour l'exploitation agricole……39

Tableau 14: Sensibilité des ratios Bénéfices-Coûts pour l'exploitation à la variation des coûts marchands de la main d'œuvre, de la consommation de carburant et des charges fixes des opérations inter-culturales……39

Tableau 15: Sensibilité des ratios Bénéfices-Coûts pour la société à la variation des coûts marchands de la main d'œuvre, de la consommation de carburant et des charges fixes des opérations inter-culturales……39

Tableau 16: Sensibilité des ratios Bénéfices-Coûts pour l'exploitation à la variation des coûts d'irrigation et de drainage……..40

Tableau 17: Sensibilité des ratios Bénéfices-Coûts pour la société à la variation des coûts d'irrigation et de drainage……40

Liste des figures

Figure 1: Le périmètre de la zone d'étude…….8

Figure 2: Altimétrie des milieux agricoles dans le périmètre du PNRC («terres hautes» et «terres basses»)…….9

Figure 3: Occupation du sol (sans les prairies) des milieux agricoles en 2011 du périmètre d'étude…….9

Figure 4: Evolution des surfaces cultivées en riz en Camargue (1942-2014)…….10

Figure 5: Equipements d'irrigation agricole en Camargue…….10

Figure 6: L'inondation hivernale de rizières en Europe de l'Ouest et l'abondance de canards hivernants dans chaque région…….....13

Figure 7: Quelques services écologiques et éco-systémiques rendu par l'agro-écosystème rizicole inondé en hiver……14

Figure 8: Schéma des itinéraires techniques inter-culturaux en riziculture camarguaise…….....19

Figure 9: Opérations de récolte du riz et de gestion inter-culturale des rizières…….....20

Figure 10: Opérations d'enfouissement des pailles de riz à sec et dans l'eau……..22

Figure 11: Les sources d'émission de GES et de consommation d'énergie…….30

Table des matières

Remerciements

Sommaire…….2-3

Résumé et mots clés…… ……....4

Liste des sigles……5

Introduction

1- Les termes de référence du stage

1-1- Le contexte du stage……6

1-2- Objectif du stage……6

1-3- Missions……..6

2- Présentation de la structure d'accueil

2-1- Généralité……6

2-2- Le CNERA Avifaune Migratrice……7

3- Présentation du plan……7

Chapitre I: Présentation du contexte et de la problématique de l'étude

1- La zone d'étude

1-1- Le périmètre de la zone d'étude……7

1-2- Caractérisation du territoire de la zone d'étude en lien avec l'étude……..8-11

2- Contexte et justification……..11-12

3- Présentation de la thèse doctorale dans laquelle s'inscris l'étude……12

4- Problématique de l'inondation hivernale des rizières en Camargue……12-13

L'inondation hivernale des rizières et difficultés de ressuyage des terres agricoles……14

Chapitre II: Présentation de la méthodologie

1- Présentation de la méthode d'analyse couts-bénéfices

1-1- Principe et justification de l'analyse couts-bénéfices…….....14-15

1-2- Les différentes phases d'une analyse couts-bénéfices

1-2-1- Définition des objectifs……..15

1-2-2- Identification des options……..15

1-2-3- Définition de la situation de référence…….15

1-2-4- Identification des coûts et des avantages……15-16

1-2-5- Etablissement des horizons d'analyse……..16

1-2-6- Quantification des coûts et des bénéfices……16

1-2-7- Actualisation des coûts et des bénéfices futurs……16

1-2-8- Elaboration d'indicateurs de décision……..16

1-2-9- Analyse de sensibilité……..16

1-3- Méthodes de quantification des coûts et des bénéfices……16-17

2- Méthodologie de l'étude

2-1- Principe et justification du choix de la méthode d'analyse……..17

2-1-1- Règle de décision……..18

2-1-2- Outils de collecte de données……18

Chapitre III: Présentation des résultats de la pratique l'analyse coûts-bénéfices de l'inondation hivernale des rizières en Camargue

1- Identification des itinéraires techniques : options à analyser……..19-20

2- La situation de référence……..20-21

3- Les horizons d'analyse……21

4- Identification des couts et des bénéfices

4-1- Avantages et inconvénients des opérations culturales…….21-23

4-2- Les coûts et les bénéfices identifiés…….23-26

4-3- Justification des choix effectués

4-3-1- Manque d'information pour leur évaluation……26

4-3-2- Eviter les doubles comptes……..26

4-3-3- Des coûts et des bénéfices négligeables……26

4-3-4- Les coûts peu probables……26

5- Quantification des coûts et des bénéfices

5-1- Evaluation économique des coûts

5-1-1- Les couts marchands

5-1-1-1- Coût de la main d'œuvre, coût de la consommation de fioul des opérations culturales et charges fixes……27

5-1-1-2- Les coûts d'irrigation et de drainage……..27-28

5-1-2- Les couts d'opportunité

5-1-2- Apport d'engrais pour compenser la perte due au brûlage des pailles…….29

5-1-3- Les couts non-marchands

5-1-3-1- Émission de gaz à effet de serre.....29-30

5-1-3-1-1- Les émissions de GES dues à la combustion de carburant pour les opérations culturales…….....31

5-1-3-1-2- Les émissions de GES dues au brûlage des résidus de culture…….....31-32

5-1-3-1-3- Les émissions de GES des sols de rizières…….32

5-1-3-1-3-1- Les émissions de N_2O des sols dues à l'apport en azote des résidus de culture……32-33

5-1-3-1-3-2- Les émissions de CH_4 des sols de rizières…….33

5-2- Evaluation économique des bénéfices

5-2-1- Les couts évités

5-2-1-1- Diminution des apports en engrais……33-34

5-2-1-2- Économie sur les coûts de désherbage chimique…….34-35

5-2-1-3- Prélèvement alimentaire……..35
5-2-2- Les bénéfices marchands
5-2-2-1- Le chiffre d'affaire cynégétique…….35
5-2-2-2- Les contrats MAEC…….35-36
5-2-3- Les bénéfices non marchands
5-2-3- La valeur non-marchande des services éco-systémiques…….36-38
6- Elaboration des ratios bénéfices-coûts……..38
6-1- Les ratios Bénéfices-Coûts pour l'exploitation agricole……38
6-2- Les ratios Bénéfices-Coûts pour la société…….....39
7- Analyse de sensibilité……..39-40
Discussion des résultats et recommandation……..40-41
Les limites et difficultés rencontrées…….41-42
Conclusion et perspectives…….42-43
Bibliographie…….44-47
Liste des tableaux……..48
Liste des figures…….49
Tables des matières……50-52
Annexes…….....53-63

Annexe 1: Coûts marchands des opérations inter-culturales

OPERATION INTER CULTURALE	EQUIPEMENT	NATURE DES CHARGES	TEMPS DE TRAVAIL (h/ha)	QUANTITE CARBURANT (l/h)	COÛT (€/ha)	COÛT TOTAL (€/ha)	RESPONSABLE
Moisson à sec	Moissonneuse batteuse 6 secoueurs 6m 260 CV	Consommation carburant		24	22,58	87,78	Agriculteur
		Main d'œuvre	1		12,40		
		Charges fixes			52,80		
Moisson dans l'eau	Moissonneuse batteuse AV à chenille 420 CV 9m	Consommation carburant		24	22,58	96,74	Agriculteur
		Main d'œuvre	1		12,40		
		Charges fixes			62,90		
Brûlage		Main d'œuvre	0,2	0	2,48	2,48	Agriculteur
Broyage	Broyeur tracté 5m 3 rotors	Consommation carburant		14	6,20	26,18	Agriculteur
		Main d'œuvre	0,5		6,58		
		Charges fixes			13,40		
Déchaumage	Tracteur/Cover-crop 180CV, V 5m	Consommation carburant		22	10,35	34,80	Agriculteur
		Main d'œuvre	0,5		6,20		
		Charges fixes			18,25		
Labour	Tracteur/Charrue (200 CV / 6 socs)	Consommation carburant		25	29,39	74,87	Agriculteur
		Main d'œuvre	1,25		15,51		
		Charges fixes			29,97		
Roues cages	Tracteur, 90 CV Roues cages	Consommation carburant		8	15,05	54,86	Agriculteur
		Main d'œuvre	2		24,81		
		Charges fixes			15		
Rototiller	Tracteur, 120CV Roto tiller 4m	Consommation carburant		16	15,05	50,83	Agriculteur
		Main d'œuvre	1		12		

		Charges fixes			23,75		
Irrigation	Réseau d'irrigation ASA	Moyenne rôle d'exploitation			111,47	111,47	ASA/Agriculteur
	Tracteur 90 CV Pompe italienne 1800m3/h	Consommation carburant		6	24,97	72,88	ASA Agriculteur
		Main d'œuvre	5,55		6,66		
		Charges fixes			41,25		
Drainage	Réseau de drainage ASA	Moyenne rôle ordinaire			18,22	18,22	

Annexe 2: Les tarifs des Rôle Ordinaire (RO) et des Rôle d'exploitation (RE) des ASA d'irrigation et d'assainissement (source: SMGAS du pays d'Arles, bilans 2014 des ASA d'irrigation et d'assainissement)

ASA	Type	RO	RE Riz	RE Marais	RE blé
Irrigation du Mas de Vert	Irr	53,48	129,97		
Irrigation les Clos de la vigne	Irr		71,36		
Arrosant de Saliers	Irr	91,41	120	120	15
ASCO de Roubine de l'aube de Bouic	Irr	55	95,35	84,13	
Irrigation Petit Montlong	Irr	9,5	180,66	37,69	
Roubine de la Triquette	Irr	31,82	116,23	28,96	28,96
Canal du Sambuc	Irr	31,5	147,33		
Canal en relief grande Montlong	Irr	58	155		
Arrosant prise de Petit Beaumont	Irr		57,29		11,46
Arrosant de Saint-Cezaire	Irr	39,69	97,87	26,1	
Irrigation Petit Plan du Bourg	Irr	274,72			
Du Bras mort	Irr	35,02			
Irrigation frigoules grazier	Irr		150		
ASCO vidance Ccorrege Major	Irr/Ass	18,18	16,68	8,7	
Canal du Japon	Irr/Ass				
Mas Thibert	Ass	88,57			
ASCO D'égout de Roquemaure	Ass	6,87			
Canal de la Sigoulette	Ass	1,15	18,75	4	12
Canal de Fumemorte	Ass				
Grand Plan du bourg	Ass	1,18			
Saintes-Maries de la mer	Ass	0,088			
Nord Arles Trebon	Ass	11,56			

Annexe 3: Valeurs économiques des coûts et des bénéfices

Annexe 3-1: Valeurs économiques des coûts

Option	Thématique	Description	Coûts (€/ha)	Acteurs concernés	Type de Coût
Brûlage Labour	Economique	Coût de la main d'œuvre	30,39	Agriculteur	Marchand
		Coût de consommation en carburant	51,97		
		Charges fixes	82,77		
	Agronomique	Apport d'engrais pour compenser la perte due au brûlage des pailles	69,41		Coût d'opportunité
	Environnemental	Emission de GES	70	Collectivité	Non marchand
Broyage Enfouissement	Economique	Coût de la main d'œuvre	25,18	Agriculteur	Marchand
		Coût de consommation en carburant	39,13		
		Charges fixes	84,45		
	Environnemental	Emission de GES	2,17	Collectivité	Non marchand
Moisson à sec Brûlage Inondation Roues cages Drainage	Economique	Coût de la main d'œuvre	39,69	Agriculteur	Marchand
		Coût de consommation en carburant	37,63		
		Coût d'irrigation et de drainage	161,32		
		Charges fixes	109,05		
	Agronomique	Apport d'engrais pour compenser la perte due au brûlage des pailles	69,41	Agriculteur	Coût d'opportunité
	Environnemental	Emission de GES	133,70	Collectivité	Non marchand
Moisson à sec Broyage Inondation Drainage Labour	Economique	Coût de la main d'œuvre	34,49	Agriculteur	Marchand
		Coût de consommation en carburant	58,18		
		Coût d'irrigation et de drainage	161,32		
		Charges fixes	137,42		
	Environnemental	Emission de GES	66,15	Collectivité	Non marchand

Moisson à sec Broyage Inondation Rototiller Drainage	Economique	Coût de la main d'œuvre	30,98	Agriculteur	Marchand
		Coût de consommation en carburant	43,83		
		Coût d'irrigation et de drainage	161,32		
		Charges fixes	131,20		
	Environnemental	Emission de GES	65,87	Collectivité	Non marchand
Moisson dans l'eau Broyage Inondation Rototiller Drainage	Economique	Coût de la main d'œuvre	30,98	Agriculteur	Marchand
		Coût de consommation en carburant	43,83		
		Coût du drainage	18,22		
		Charges fixes	100,03		
	Environnemental	Emission de GES	65,24	Collectivité	Non marchand

ANNEXE 3-2: Valeurs économiques des bénéfices

Options	Thématique	Description	Bénéfices (€/ha)	Acteurs concernés	Type de bénéfice
Brûlage Labour	Agronomique	Diminution des apports en engrais: Enfouissement chaumes	13,61	Agriculteur	Coût évité
		Economie sur les coûts de désherbage chimique: Rotation des cultures	225,26		
Broyage Enfouissement	Agronomique	Diminution des apports en engrais : Enfouissement des pailles	81,66	Agriculteur	
		Economie sur les coûts de désherbage chimique: Rotation des cultures	225,26		
	Environnemental	Contrat MAE (Couver16)	44,76		Marchand
Brûlage Inondation	Agronomique	Diminution des apports en engrais: Enfouissement des chaumes	13,61	Agriculteur	Coût évité

		Economie sur les coûts de désherbage chimique du riz sauvage	52,90		
	Environnemental	Chasse récréative	46,65	Agriculteur	Non marchand
		Valeur esthétique paysagère	898,44	Collectivité	
		Maintien de la biodiversité	5,83		
		Amélioration de la qualité de l'eau	17,49		
		Inondation	15,16	Agriculteur	
		Prélèvement alimentaire	21,65	Chasseur	Cout évité
		Contrats MAE (Irrig09)	180,74	Agriculteur	Marchand
	Economique	Chiffre d'affaire cynégétique	358,43		
Broyage Inondation Enfouissement	Agronomique	Diminution des apports en engrais: Enfouissement des pailles et chaumes	81,66	Agriculteur	Coût évité
		Economie sur les coûts de désherbage chimique du riz sauvage	52,90		
	Environnemental	Chasse récréative	46,65	Agriculteur	Non marchand
		Valeur esthétique paysagère	898,44	Collectivité	
		Maintien de la biodiversité	5,83		
		Amélioration de la qualité de l'eau	17,49		
		Inondation	15,16	Agriculteur	
		Prélèvement alimentaire	21,65	Chasseur	Cout évité
		Contrats MAE (Irrig09, Couver16)	225,50	Agriculteur	Marchand
	Economique	Chiffre d'affaire cynégétique	358,43		

Annexe 4: Comparaison des MAEC unitaires liées a la riziculture dans trois territoires humides méditerranéens.

Territoire	Engagements unitaires	PDRR 2014-2020 Montant (€/ha /an)			
		1 an sup.		2 ans sup.	
		TH	TB	TH	TB
CAMARGUE	Surfaçage avant implantation du riz (Irrig01)	22,64	33,96	33,96	45,28
	Faux semis mécanique avant implantation du riz (Irrig06)	15,08	22,62	22,62	30,16
	Semis à sec du riz (Irrig07)	26,40	39,60	39,60	52,80
	Enfouissement des pailles (Couver16)	29,84	44,76	44,76	44,76
	Maintien d'une culture irriguée par submersion (Irrig08 et Irrig09)	90,37	90,37	180,74	180,74
	Total	**184,33**	**231,31**	**321,68**	**353,74**
DELTA DE L'EBRE	**Engagements principaux**				
	Perte de production	97,27		-	
	Maintien d'une inondation automne-hiver au moins 4 mois	54		-	
	Lutte biologique (*Chilo suppressalis*)	46,73		-	
	Désherbage mécanique (octobre-mars)	105,74		-	
	Entretien du système de rétention des eaux d'irrigation	90,97		-	
	Utilisation de semence certifiée	66,36		-	
	Engagements secondaires				
	Désherbage chimique ou manuel des canaux d'irrigation et de drainage	36 ,70		-	
	Tenue d'un compte d'exploitation ou pièces justificatives	-		-	
	Total	**443,77**		**-**	
ALBUFERA DE VALENCIA	**Obligatoires**				
	Tenue d'un compte d'exploitation ou pièces justificatives	-		-	
	Broyage et enfouissement ou exportation des pailles de riz	-		-	
	Entretien du système de rétention des eaux d'irrigation	-		-	
	Facultatifs				
	Maintien d'une Inondation automne-hiver (3,5 mois) ou des pailles et des chaumes	60		-	

	de riz jusqu'au premier février		
	Désherbage mécanique et enfouissement des chaumes par Rotovator ou équivalent	63,17	-
	Désherbage manuel ou mécanique en inter-culture des limites des parcelles	51,11	-
	Désherbage manuel des canaux d'irrigation et de drainage	50	-
	Maintien de la culture du riz sur la même parcelle 6 ans	140	-
	Utilisation de semence certifiée	75,80	-
	Total	**440,08**	**-**

Annexe 5 : Questionnaire

PROJET CANARDS-RIZICULTURE (2012-2015)

L'EXPLOITATION

Date:	**Nom:**	**Ferme:**
	Tel/Email:	

1- Quelle est la superficie de votre exploitation (has)? …….

2- Quelles activités y sont mises en place ?

☐ Polyculture-élevage ☐ Cultures ☐ Marais de chasse ☐ Auberge-restauration-agrotourisme

☐ Autres :

3- Quel type de sol avez-vous sur l'exploitation?

☐ Argileux ☐ Limoneux ☐ Sableux ☐ Mixte :

4- Avez-vous des problèmes de salinité du sol?

5- Avez-vous des terres basses hydro morphes?

6- Ces deux derniers points ont-ils des conséquences sur vos choix de mise en culture?

7- Quelle rotation mettez-vous en place?

LA PRODUCTION DE RIZ

1- Combien d'hectares de riz avez-vous semé en 2013?.....

2- Cette superficie a-t-elle évolué depuis ces 10 dernières années?.....

3- Combien d'années de suite cultivez-vous en riz sur une même parcelle?.....

4- Quelle est la superficie de riz (has):

☐ Bio ☐ Conventionnel

8- Comment luttez-vous contre les mauvaises herbes du riz?

☐ Faux-semis ☐ Désherbage manuel ☐ Désherbage mécanique ☐ Désherbage chimique

9- Si désherbage chimique, quelle quantité d'herbicide appliquez-vous par hectare?……

10- Inondez-vous vos rizières par?

☐ Submersion dynamique (flux constant) ☐ Statique (eau rajoutée 1/2 fois /semaine)

11- Quelles sont les périodes d'inondation ?.....

12- Quelle est la hauteur moyenne d'eau?.....

PRATIQUES AGRICOLES EN INTER-CULTURE

13- Comment traitez-vous vos pailles?

☐ Brulée ☐ Broyée ☐ Bottelée ☐ Inondée ☐ Autre

14- Pourquoi ?

☐ Economique ☐ Agronomique ☐ Ecologique ☐ Culturelle ☐ Autre:

15- Quelles sont vos pratiques agricoles en inter-culture? Type moissonneuse

16- Ont-elles évolué dans le temps et si oui pourquoi et comment?

17- Avez-vous déjà utilisé des roues cages ou l'inondation hivernale?

a) NON, pourquoi?

☐ Economique ☐ Agronomique ☐ Culturelle ☐ Autre :

b) OUI, pourquoi?

Economique ☐ Agronomique ☐ Culturelle ☐ Autre : ☐

18- Pratiquez-vous une inondation hivernale ?

☐ Oui ☐ Non

19- Si oui quand et comment inondez-vous? Hauteur d'eau moyenne? Superficie inondée.

20- Avez-vous observé un effet attractif des oiseaux en général et des canards en particulier de l'inondation hivernale?

21- Avez-vous observé un effet de l'inondation sur : + / - /

La décomposition de la paille:

La viabilité des adventices:

La mise en place d'une culture au printemps:

COÛT DES PRATIQUES

22- Connaissez-vous vos coûts moyens de production /ha de riz?

Mécanisation/Intrants/Main d'œuvre :

Traitement de la paille :

23- Recevez-vous des subventions pour cette production?

☐ Oui ☐ Non PAC : Changement de la PAC :

23- Auriez-vous des contraintes/intérêts économiques ou agronomiques à inonder en hiver? Canaux sans eau ?

ASA :

Rôle ordinaire :

Rôle d'exploitation :

Type de pompe :

Electricité :

24- Combien vous coûte l'inondation estivale / quel serait pour vous le coût d'une inondation hivernale ? Pompage, dépense en essence ou en électricité ?

25- Seriez-vous ouverts à la chasse sur vos parcelles inondées en hiver (éventuellement à titre onéreux) ?

26- Touchez-vous des subventions liées à la conservation de la biodiversité ?

☐ Non

☐ Oui

MAE ? Montant…….. ; Natura 2000 ? Montant..... ; IPG ? Montant……

27- Inonderiez-vous vos parcelles si vous receviez une prime dans ce sens ? Combien ?

☐ Non

☐ Oui Combien ?.....