

*Spécialisation Sciences et Techniques des Equipements Agricoles
Certificat d'Etudes Supérieures
Institut Supérieur Européen des Agro-Equipements*

Mise au point d'un argumentaire technico-économique en faveur de l'adoption des pneumatiques en riziculture

Page Antonin



Maître de stage
Lannes Gilbert

Maître de mémoire
Paoli Jean Noël

2011

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier Gilbert Lannes, maitre de stage exemplaire pour sa disponibilité, ses explications et surtout, son accueil. Je n'oublie pas Cyrille Thomas, directeur technique du Centre Français du Riz, qui a transmis ma demande de stage de fin d'études à Monsieur Lannes. Ce sont ces deux personnes qui m'ont permis d'évoluer pendant 5 mois en Camargue.

Du côté scolaire, je remercie Jean Noël Paoli, pour ses conseils en tant que maitre de mémoire. Je salue aussi tous ses collègues du Laboratoire du Génie des Procédés et des Agroéquipements qui ont accompagné la spécialité Sciences et Techniques des Equipements Agricoles 2011.

Ensuite, tout ce travail n'aurait pas été possible sans le Mas de la Furane dirigé par Olivier Dellenbach. En effet, c'est cette ferme qui a été le support de tous les essais techniques réalisés, et le chef de culture, Philippe Poulette, est de loin la personne la plus ouverte pour partager son expérience et répondre à toutes les questions pratiques.

L'expérience de Frédéric Testi, riziculteur particulier, fut aussi d'une grande aide pour comprendre les pratiques culturales Camarguaises. Sa gentillesse et ses multiples invitations furent une source de motivation non négligeable devant les déboires que j'ai pu connaître auprès de certains riziculteurs.

Une pensée pour tout le personnel du Centre Français du Riz, à commencer par la personne la plus connue dans le milieu du riz, Monsieur Guy Clément. Viennent ensuite, Valérie, Sonia, Anne, Xavier, Didier et Gérard avec qui j'ai partagé quelques journées de travail.

D'autre part, je remercie tous les acteurs de la riziculture qui ont pris sur leur temps en m'accordant un entretien, en commençant par les entrepreneurs, Messieurs Giraud, Gay et Arnaud. Je n'oublie pas Monsieur Guichard, riziculteur et Monsieur Marando, commercial chez Euromaster, pour les informations qu'ils ont pu me communiquer.

Je salue par la suite Norbert Taxil, entrepreneur de battage reconnu, et son équipe pour les moments que nous avons passés entre les moissonneuses batteuses. Romain, Rolland, André, Vincent, Thierry et les autres sont d'autant de personnes qui ont rendu ce stage encore plus riche. Je remercie aussi Nicolas Thibault, consultant et spécialiste du réglage des moissonneuses batteuses qui m'a permis d'augmenter mes connaissances de machiniste agricole.

Toutes ces personnes suscitées montrent encore une fois à quel point les stages sont des expériences humaines exceptionnelles.

Enfin, j'ai une grande pensée pour mon papa et ma maman, sans qui au final, tout ceci n'aurait pas été possible. Je n'oublie pas ma compagne qui me supporte hyperactif que je suis, et toute la promotion d'Ingénieur Agronome d'Agrosup Dijon 2011.

Liste des figures

- Figure 1 : Photo d'un tracteur équipé de roues squelettes en fer
- Figure 2 : Cheminement du riz après récolte
- Figure 3 : Zone de culture du riz en France Métropolitaine
- Figure 4 : Précipitations relevées à la station météorologique du Mas d'Adrien (13) – 2010
- Figure 5 : Evapotranspiration journalière (mm) calculée au Mas d'Adrien (13) – 2010
- Figure 6 : Températures (°C) au Mas d'Adrien situé à Fourques (13) – 2010
- Figure 7 : Anémométrie (m/s) au Mas d'Adrien situé à Fourques (13) – 2010
- Figure 8 : Surface, production et rendement en riz Paddy en Camargue de 1942 à 2010
- Figure 9 : Représentation schématique du nivellement d'une rizière
- Figure 10 : Semis à la volée dans la pépinière
- Figure 11 : Mise en poquet à la pépinière (1966)
- Figure 12 : Mise en place des poquets
- Figure 13 : Repiquage (1966)
- Figure 14 : Désherbage manuel
- Figure 15 : Semis à la volée (1968)
- Figure 16 : Evolution du poids des tracteurs en fonction de la puissance de 1970 à 2010 (Konedata)
- Figure 17 : Tracteur et porte-engin utilisé pour le déplacement des tracteurs en roues squelettes
- Figure 18 : Les chenilles fers, équipement spécifique pour la récolte du riz
- Figure 19 : Roues dites « maraichères » montées à l'arrière des moissonneuses batteuses
- Figure 20 : Illustration de l'enfoncement des roues « maraichères »
- Figure 21 : Répartition des masses d'une moissonneuse batteuse John Deere CTS
- Figure 22 : Représentation graphique de la charge admissible par roue en fonction de la pression de gonflage pour différentes dimensions de pneumatiques
- Figure 23 : Courbes moteur caractéristiques d'une moissonneuse batteuse John Deere CTS 9600
- Figure 24 : Etat de surface des parcelles au printemps après le passage des roues « maraichères »
- Figure 25 : Travaux de nivellement au printemps dans les rizières
- Figure 26 : Pénétrromètre enregistreur
- Figure 27 : Courbes de résistance du sol à la récolte (Octobre 2003)
- Figure 28 : Courbes de résistance de différents sols en Camargue commentées
- Figure 29 : Traces laissés par les pneumatiques grandes largeurs lors des essais de portance
- Figure 30 : Répartition des masses et pressions choisies lors des essais de portance en pulvérisation
- Figure 31 : Illustration du bourrelet laissé par le passage des pneumatiques
- Figure 32 : Efface-traces rudimentaire placé sous le relevage arrière du tracteur
- Figure 33 : Elargisseurs de voie fabriqués pour permettre la fixation des pneumatiques
- Figure 34 : Essais de portance en pneumatiques étroits gonflés à faible pression
- Figure 35 : Seconde génération d'efface-traces monté sous le relevage arrière du tracteur
- Figure 36 : Traceur utilisé pour le traçage à sec
- Figure 37 : Rigoleuse utilisée pour créer les entrées et sorties d'eau
- Figure 38 : Traçage + Roulage en simultané
- Figure 39 : Mise en place des plaques de pesée
- Figure 40 : Mise en place du bac de sable entre la roue et la plaque de pesée
- Figure 41 : Contrôle du poids via le cric pneumatique
- Figure 42 : Mesure de l'empreinte obtenue
- Figure 43 : Empreinte obtenue à 0,8bar de pression et 1100kg de charge (Kléber 300/95 R52)
- Figure 44 : Courbe de la surface de l'empreinte en fonction de la charge suivant le type de sol
- Figure 45 : Same Explorer³ 110 équipé en roues squelettes

Figure 46 : Courbe de résistance du sol réalisée aux 15 lots

Figure 47 : Méthode de calcul de l'empreinte au sol d'un pneumatique

Figure 48 : Traces de pneumatiques (gauche) et de roues squelettes (droite) en début de végétation (10 juin 2011)

Figure 49 : Traces de pneumatiques (gauche) et de roues squelettes (droite) en fin de végétation (Septembre 2011)

Figure 50 : Courbe de résistance et courbe de tendance (Excel) du sol des 15 lots

Figure 51 : Représentation schématique de la force de roulement s'exerçant sur une roue

Figure 52 : Courbes moteur caractéristiques d'un tracteur Same Explorer³ 110

Figure 53 : Comparaison des temps de parcours selon l'équipement du tracteur utilisé en rizière

Figure 54 : Influence des pneumatiques sur le rendement et les pertes à l'hectare par rapport aux roues squelettes

Figure 55 : Illustration de la surdensité au niveau des passages des pneumatiques

Liste des tableaux

Tableau 1 : Les principales céréales dans le monde (Source : FAOSTAT 2009)

Tableau 2 : Températures nécessaires à la culture du riz (Source : CIRAD – GREC - MAE)

Tableau 3 : Classement commercial du riz (ITCF – CFR, 1995)

Tableau 4 : Grandes régions productrices de riz paddy (FAOSTAT – 2009)

Tableau 5 : Pays Européen producteurs de riz paddy (FAOSTAT – 2009)

Tableau 6 : Calendrier cultural du riz (André F. – CFR – 1995)

Tableau 7 : Relevé de pression à l'entrée des réducteurs av. de moissonneuse John Deere CTS 9600

Tableau 8 : Evaluation du surcoût de reprise des sols et de surfaçage dû aux roues étroites

Tableau 9 : Paramètres utilisés pour les estimations des surcoûts de reprise des terres

Tableau 10 : Mesures et choix faits pour les essais de portance en pneumatiques étroits

Tableau 11 : Résultats des mesures d'empreintes pour le pneumatique Kléber 300/95 R52

Tableau 12 : Résultats des mesures d'empreintes pour le pneumatique Continental 340/85 R48

Tableau 13 : Poids admissible par les pneumatiques du marché actuel

Tableau 14 : Equipements pneumatiques sur tracteurs présents en Camargue

Tableau 15 : Avantages et inconvénients des pneumatiques et des roues squelettes

Tableau 16 : Démarche et résultats de l'évaluation de la consommation de gasoil

Tableau 17 : Données économiques des équipements spécifiques à la riziculture

Tableau 18 : Relevés de temps lors des interventions au champ et du transport

Tableau 19 : Données nécessaires aux estimations de coûts de mécanisation

Tableau 20 : Coût d'utilisation des équipements utilisés en riziculture

Tableau 21 : Débit et temps de chantier des machines utilisées en riziculture suivant l'équipement du tracteur

Tableau 22 : Tableau récapitulatif des coûts et économies de mécanisation en riziculture

Liste des abréviations utilisées

APV : Agence de Protection des Végétaux
BCMA : Bureau de Coordination du Machinisme Agricole
CEMAGREF : Centre national du Machinisme Agricole, du Génie Rural, des Eaux et des Forêts
CFR : Centre Français du Riz
CIRAD : Centre de coopération International en Recherche Agronomique pour le Développement
GRET : Groupe de Recherche et d'Echanges Technologiques
ITCF : Institut Technique des Céréales et des Fourrages (Arvalis – Institut du Végétal)
MAE : Ministère des Affaires Etrangères
ONEMA : Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques
ONIC : Office National Interprofessionnel des Céréales
U.E : Union Européenne
MO : Main d'Œuvre
HT : Hors Taxes
TTC : Toutes Taxes Comprises

cm³/tr : centimètre cube par tour
daN : déca Newton
€/h : Euro par heure
€/an : Euro par an
€/ch/h : Euro par cheval et par heure
€/ha : Euro par hectare
g/l : gramme par litre
g/kWh : gramme par kilowattheure
ha : hectare
kg/hab/an : kilogramme par habitant et par an
kW : kilowatt
l/h : litre par heure
l/min : litre par minute
mm : millimètre
m² : mètre carré
m³ : mètre cube
N : Newton
Nm : Newton-mètre
q/an : quintaux par hectare
W : Watt
°C : Degré Celsius

Sommaire

Introduction.....	1
I. La recherche agronomique dans les rizières camarguaises	2
a. Le Centre Français du Riz (CFR)	2
i. Présentation.....	2
ii. Liens avec divers organismes.....	2
b. Le Centre de coopération International de Recherche Agronomique pour le Développement	2
i. Présentation.....	2
ii. Implication du CIRAD dans la riziculture française	2
II. La Riziculture et ses pratiques	3
A. Etat de l'Art	3
a. La plante	3
i. Ses origines controversées	3
ii. La culture du riz	4
iii. Son cycle végétatif (CIRAD – GRET – MAE).....	5
iv. Ses débouchés (CIRAD – GRET – MAE)	5
b. Sa production	6
i. Du monde.....	6
ii. ...A l'Europe... ..	7
iii. En passant par la France Métropolitaine.....	8
B. La spécificité de la Riziculture Camarguaise	8
a. La Camargue Agricole	8
b. Situation pédoclimatique	8
i. Vue d'ensemble	8
ii. Le climat camarguais.....	9
iii. Atouts et contraintes du milieu	10
1. Les atouts.....	19
2. Les contraintes.....	19
c. La production rizicole au fil des décennies (Barbier JM., Mouret JC., 1995)	19
d. Situation actuelle.....	12
C. La Mécanisation en riziculture Française	12
a. Historique de la mécanisation	12
b. Itinéraire technique et facteurs extérieurs : des contraintes spécifiques.....	13
i. Travail en roues squelettes.....	14
ii. Législation sur les traitements aériens.....	14
iii. Le travail sur pneumatiques : une alternative intéressante	15
III. Etude technique de l'introduction des pneumatiques en riziculture	15
a. Des premiers essais terrain.....	16
i. Moissonneuse batteuse (1999)	16
ii. Mise en place de la technique	16
iii. Résultats	17
iv. Rentabilité de l'investissement.....	18
v. Améliorations.....	19
b. ...Aux premières mesures, interprétations... ..	20
i. 2004 : Etude de portance des sols de Camargue.....	20
ii. 2005 : Mesure des puissances nécessaires.....	20
c. ...et applications.....	21

i.	Expérimentations sur tracteur lors du semis.....	21
1.	Première phase (2006)	41
2.	Deuxième phase (2007).....	41
3.	Troisième phase (2008 – 2009)	41
4.	Quatrième phase (2010 – 2011).....	23
ii.	2011 : Mesure d'empreinte de pneumatiques.....	24
d.	Synthèse technique	25
e.	2011 : Réflexion sur un chariot porte outil.....	29
f.	Et sur le terrain ?	29
IV.	Mise au Point d'un Argumentaire Technico-Economique	30
a.	Matrice SWOT.....	30
b.	Avantages et inconvénients	31
c.	Collecte de données auprès des acteurs de la riziculture	35
d.	Comparaison économique des coûts de mécanisation lors des interventions en eau	37
e.	Argumentaire technico-économique	41
f.	Discussions.....	41
	Conclusion	42
	Bibliographie.....	43
	Annexes	44

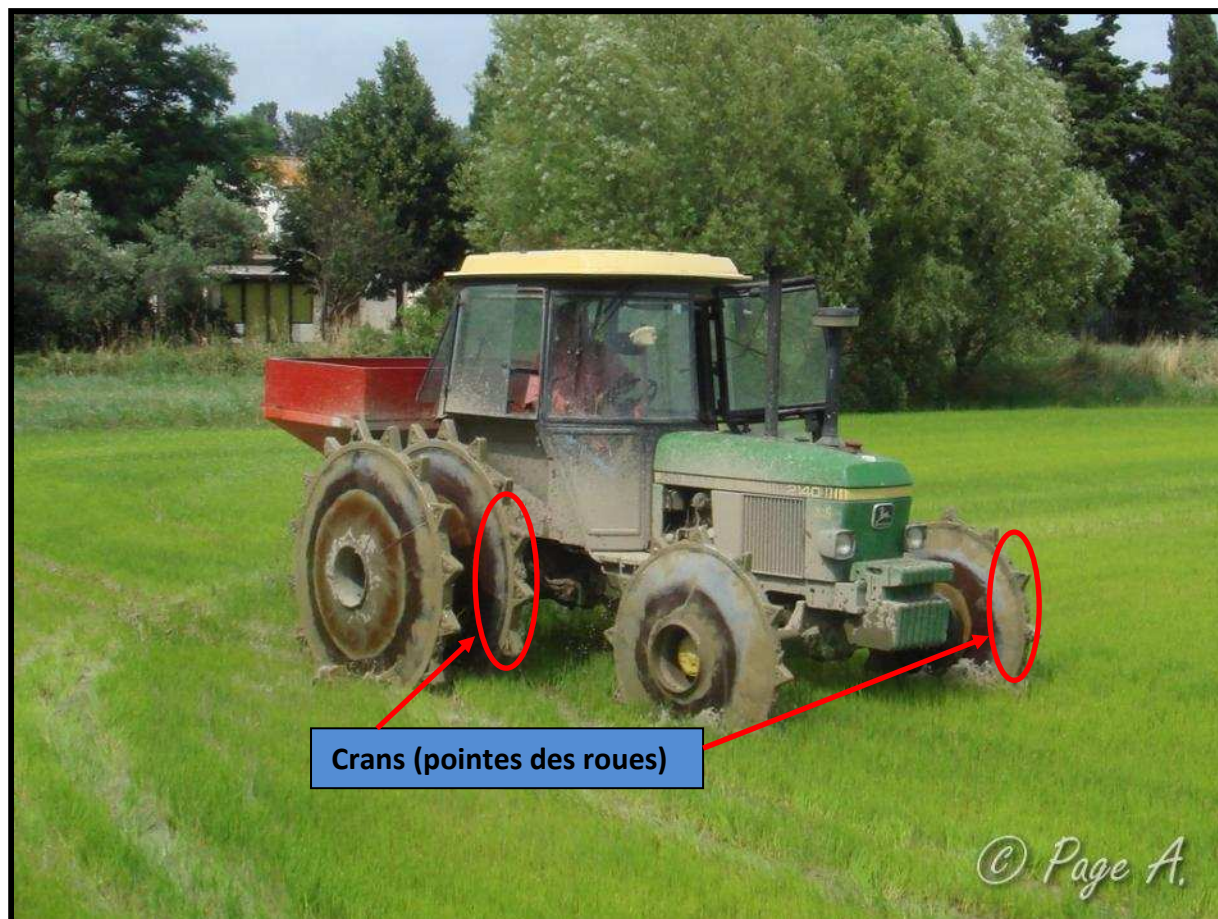


Figure 1 : Photo d'un tracteur équipé de roues squelettes en fer

Introduction

Depuis son installation en Camargue, il y a bientôt 150 ans, la culture du riz en France n'a cessé d'évoluer. Elle a connu un âge d'or durant les années soixante avec plus de 32 000ha cultivés, puis a failli disparaître en 1980 suite à plusieurs difficultés. C'est pour cette raison que des aides techniques et économiques ont été mises en place qui ont permis que la Camargue compte 24500ha en 1994.

Aujourd'hui, le riz occupe la majorité du système de culture et est produit par plus de 90% des exploitations du Delta du Rhône. Mais les riziculteurs font face à la volatilité des marchés mondiaux, avec un prix de vente du grain et des coûts de production qui suivent une évolution inverse. En effet, ces derniers ne cessent d'augmenter du fait du coût des matières premières, des produits phytosanitaires, de la main d'œuvre et des machines employées.

La Camargue est dotée d'une riziculture fortement mécanisée, héritage des dernières décennies. Les surfaces d'exploitations ne cessent, elles aussi, d'augmenter (150ha en 2010¹), et les riziculteurs font face à des problèmes pédoclimatiques toujours plus durs : sécheresse, remontées salées, sols peu porteurs, vents violents, fenêtres d'intervention réduites. Ces spécificités du milieu ont entraîné l'achat de machines de plus en plus performantes, puissantes, larges et lourdes, ajoutant des problèmes de franchissement sur des sols fragiles. Ainsi, depuis toujours, les tracteurs sont équipés de roues squelettes en fer (Figure n°1 ci contre), crantées, pour tenter d'enrayer ces gênes. Mais, le poids des engins fait que, bien souvent, on retrouve des tracteurs enlisés dans les champs et la logistique qu'implique cet équipement spécifique est gourmande en temps et en argent.

C'est ce qui a attiré l'attention d'un technicien de recherche appliquée, Mr Gilbert Lannes, travaillant en partenariat avec deux organismes encadrant la riziculture. Une question s'est posée : pourquoi ne pas utiliser des pneumatiques à la place des roues squelettes pour travailler en milieu inondé et boueux ? C'est alors que toute une réflexion s'est engagée depuis déjà plus de 10 ans pour apporter des améliorations aux équipements de travail afin de les rendre plus polyvalents, confortables et moins coûteux.

L'étude présentée dans ce mémoire a pour objectif de faire un état des lieux de la riziculture à travers le monde. Ensuite, l'accent sera mis sur la mécanisation au niveau de la Camargue agricole pour en arriver à l'évaluation de la technique conventionnelle. Enfin, ce mémoire présentera une synthèse des travaux de recherche menés jusqu'ici, en allant plus loin pour proposer un argumentaire technico-économique en faveur de l'utilisation des pneumatiques en riziculture.

¹ Entretien avec Mazel B. – Président du Syndicat des Riziculteurs – 19/08/2011

I. LA RECHERCHE AGRONOMIQUE DANS LES RIZIERES CAMARGUAISES

L'organisation de la recherche en Camargue se fait autour d'un organisme central, le Centre Français du Riz, basé en Arles (13), qui coordonne la recherche dans le Delta du Rhône. Des liens ont été créés avec d'autres institutions pour mener à bien les nombreux travaux qui sont essentiels à l'évolution de la riziculture.

a. Le Centre Français du Riz (CFR)

i. Présentation

Le Centre Français du Riz, association loi 1901, a été créé en 1985 à l'initiative des pouvoirs publics et des riziculteurs, dans le but de conforter la production rizicole en mettant à son service un organisme d'appui scientifique et technique.

Sa mission, qui s'apparente à celle d'un institut technique, consiste en :

- L'élaboration et la réalisation de programmes d'expérimentation en Camargue,
- La diffusion des acquis (réunions techniques, visites d'essais, notes et brochures) et l'appui technique aux riziculteurs.

Au niveau du centre, trois axes de recherches sont conduits simultanément :

- Maîtrise de l'impact de la riziculture sur le milieu naturel,
- Qualité du produit,
- Amélioration de la productivité avec la diminution des coûts de production.

C'est dans ce dernier axe de recherche que se situe l'étude présentée dans ce mémoire, puisque la part de la mécanisation est non négligeable dans le coût de production du riz.

ii. Liens avec divers organismes

Le CFR est en étroite relation avec le CIRAD (Centre de coopération International de Recherche Agronomique pour le Développement) basé à Montpellier (34). En effet, on retrouve même une personne détachée du CIRAD dans les locaux du CFR. C'est aussi le CIRAD qui mène les études sur la mécanisation de la riziculture, dont celle de l'introduction des pneumatiques en milieu inondé.

b. Le Centre de coopération International de Recherche Agronomique pour le Développement

i. Présentation

Cet organisme français spécialisé dans la recherche agronomique appliquée aux régions chaudes contribue au développement rural des pays tropicaux. Mettant au point des programmes de recherche, des réalisations expérimentales et des actions de formation, des chercheurs sont présents dans une cinquantaine de pays et travaillent au sein de structures nationales ou en appui à des opérations de développement.

ii. Implication du CIRAD dans la riziculture française

Le programme de sélection du riz pour la France méditerranéenne vise à la création de variétés susceptibles de répondre à la fois à la demande des producteurs, des industriels et des consommateurs. Ce programme est conduit depuis 1989 par le CIRAD dans le cadre du programme coordonné de recherches du Centre Français du Riz.

Mais les travaux du CIRAD ne s'arrêtent pas là, car des chercheurs travaillent également sur les mécanismes physiologiques de l'adaptation du riz aux contraintes du milieu camarguais, sur les maladies du riz, sur la pyrale et sur la gestion de la mécanisation dans les exploitations agricoles.

II. LA RIZICULTURE ET SES PRATIQUES

A. ETAT DE L'ART

Au préalable de toute étude, il est nécessaire de présenter la riziculture et sa filière à différentes échelles. Les bases de cette culture atypique en France seront aussi répertoriées dans cette deuxième partie pour faciliter la compréhension des difficultés rencontrées dans un pays où la culture du riz est fortement mécanisée.

a. La plante

Le riz est la céréale la plus cultivée dans le monde, après le blé, en terme de surface. Mais les quantités produites sont égales. En effet, pour 2009, nous avons les données suivantes :

	Production (millions de tonnes)	Surface (millions ha)	Rendement (q/ha)
Blé	685	225	30,3
Riz Paddy	685	158	43,2
Maïs	818	158	51,6
Orge	152	54	28,1
Sorgho	56	40	14,0
Millet	26	33	7,9
Avoine	23	10	22,7
Seigle	18	6	27,7
Autres	20	10	20,0
TOTAL	2483	694	27,3

Tableau 1 : Les principales céréales dans le monde (Source : FAOSTAT 2009)

Constituant la base de l'alimentation des peuples asiatiques, la consommation du riz s'étend constamment. Cette culture, lorsqu'elle se pratique par submersion, est aussi très méthanogène. C'est pour cette raison qu'elle est donc montrée du doigt depuis plusieurs années.

i. Ses origines controversées

Le riz, *Oryza sativa L.*, est une des plus anciennes plantes vivrières cultivées dans le monde. Il est impossible de déterminer avec exactitude l'époque à laquelle l'homme a commencé à la cultiver.

De nombreux auteurs tiennent le sous-continent indien comme centre d'origine, mais les plus anciennes traces archéologiques que l'on y trouve ne remontent pas plus loin que 2500 ans avant J.C. Par contre, des glumes de riz de la période néolithique ont été retrouvées en Chine et datées de -3200 ans. D'autres chercheurs considèrent plutôt l'Asie du Sud-est comme centre d'origine du riz : des empreintes de glumes ont été retrouvées en Thaïlande, sur des poteries, datées de 3500 ans avant J.C. (Feyt H. *et al*, 1995).

Quoiqu'il en soit, le riz a été introduit en Europe par Alexandre le Grand, d'abord en Grèce, puis en Espagne et en Italie. Ce n'est qu'en 1864, que l'endiguement complet du Rhône a permis la culture du riz en France, dont le but premier était de maintenir des terres peu salées par submersion des parcelles en hiver.

ii. La culture du riz

Le riz est cultivé partout, sur tous les continents, dans une très large gamme de latitudes (53° Nord en Chine à 35° Sud en Argentine) et à toutes les altitudes (-0,5m en France jusqu'à 2400m au Népal). Cependant, l'essentiel des surfaces se situe dans les zones humides, tropicales et subtropicales soumises au régime de la mousson et à forte densité de population.

Les systèmes de cultures sont très diversifiés d'un continent à l'autre. On distingue alors deux grands écosystèmes rizicoles en fonction du régime hydrique : aquatique et non aquatique.

Le premier régime représente 88% des surfaces rizicultivées et propose plusieurs méthodes culturales :

- Le riz irrigué : L'agriculteur fait venir l'eau dans les parcelles par moyens artificiels. La maîtrise de l'eau est totale, de l'arrivée jusqu'au retrait, ainsi que la hauteur de la lame d'eau. Ce type de culture représente 55% des superficies cultivées et assure 75% de la production mondiale. Ce système demande beaucoup de temps et d'investissements en canaux d'irrigation, par exemple, pour gérer l'eau à 100%.
- Le riz inondé : Cultivé dans les bas-fonds des plaines, le riz est recouvert des eaux de débordements des cours d'eau lors des fortes pluies. Il n'y a pas de maîtrise de l'eau de la part du riziculteur, et la lame d'eau peut atteindre 5 mètres ! Les rendements sont de ce fait plus faibles, et les variétés utilisées doivent être plus rustiques et dites « flottantes ».
- Le riz de marais : Bénéficiant des eaux de pluie qui inondent les marécages, le riz est cultivé sur des marais parfois toxiques, chargés en fer et en manganèse, ou tourbeux, ce qui demande de l'attention au riziculteur pour assurer le drainage des parcelles.
- Le riz de mangroves : C'est le lieu de rencontre des eaux de pluie et celles de mer. Les sols sont donc salés, toxiques, mais certaines variétés tolèrent une salinité anormalement élevée.

La riziculture non aquatique (12% des surfaces), dite pluviale, est beaucoup moins exigeante en main d'œuvre, investissement et logistique. Le riz peut être cultivé sur tous les sols présentant un minimum de fertilité, à condition que, comme son nom l'indique, les pluies soient suffisantes pour couvrir les besoins du cycle végétal. C'est aussi un moyen de palier au problème du méthane, dégagé lors de la submersion du riz.

Côté technique, plusieurs facteurs régissent une extrême variabilité d'équipements. En effet, cela dépend tout d'abord du degré de développement du pays, puis de l'aménagement parcellaire des exploitations. Ensuite, on retrouve le type de structure, la surface cultivée et les pratiques culturales. Le repiquage, non mécanisable, est encore pratiqué dans plusieurs régions du monde (Asie surtout). On retrouve par ailleurs, à la limite de la forêt Amazonienne, des productions hyper-mécanisées sur d'immenses étendues, tout comme en Amérique du Nord et en Europe.

Il n'y a pas de chiffres sur la part de la riziculture mécanisée et celle réalisée manuellement. Mais certains ouvrages montrent que tous ceux qui pratiquent la culture du riz, utilise des outils animés pour plus de facilité dans le travail du sol par exemple (Aubin JP., Dagalier JC., 1997).

iii. Son cycle végétatif (CIRAD – GRET – MAE)

La longueur du cycle végétatif varie de 80 à plus de 250 jours selon les variétés et le climat. La durée de la phase reproductive, de l'épiaison à la maturité, est peu variable (40 jours environ) et dépend surtout des conditions de culture. La date de semis influe fortement sur le début du cycle (germination – épiaison) et la température sur la floraison (fin du cycle). Il faut donc trouver un compromis entre le climat et la précocité de la variété pour avoir un cycle de culture qui correspond à la latitude où le riz est cultivé.

- La température : Les exigences aériennes de la plante sont les suivantes

Températures de l'air (°C)			
Stade	Minimum	Optimum	Maximum
Germination	14-16	30-35	42
Tallage	16-18	28-30	40
Floraison	22	27-29	40
Maturation	13	25	40

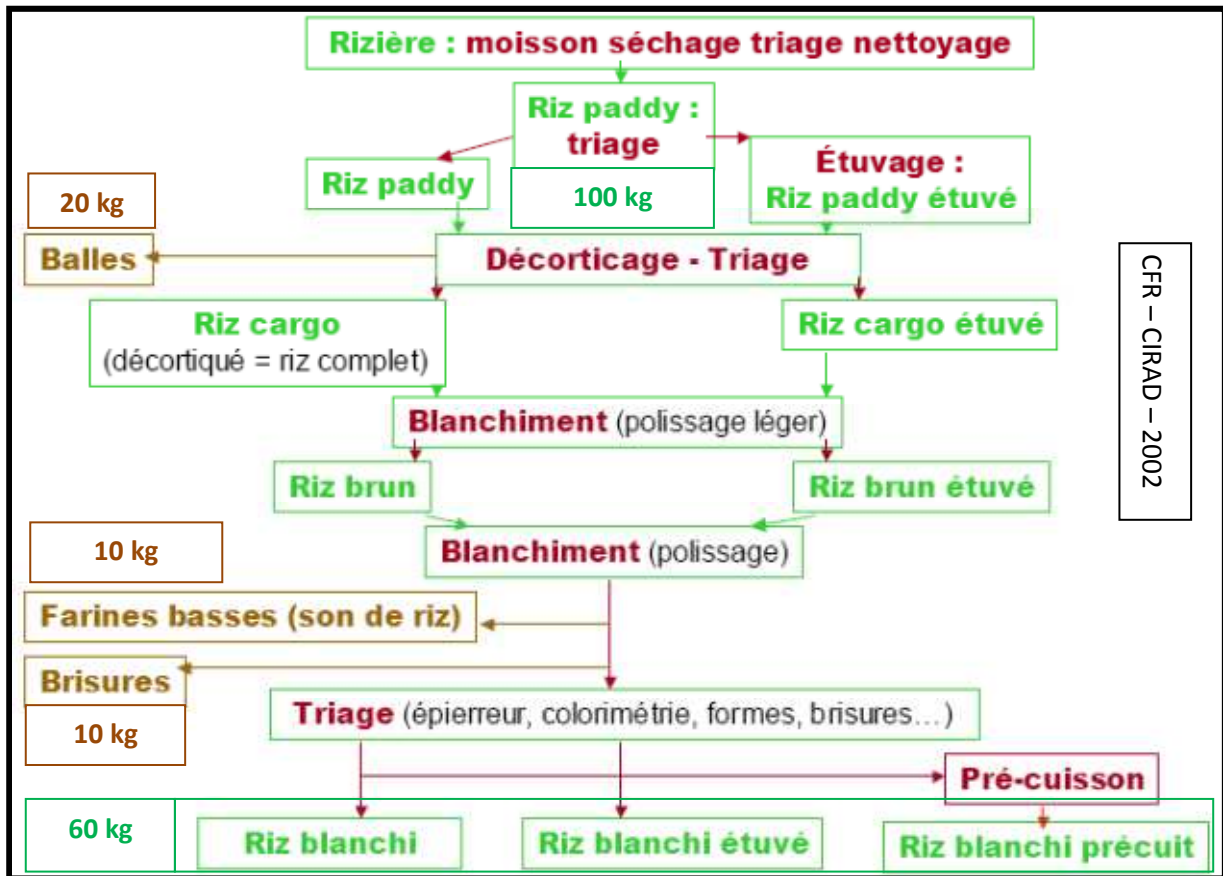
Tableau 2 : Températures nécessaires à la culture du riz (Source : CIRAD – GRET - MAE)

Le riz est donc une plante très exigeante en fortes températures et les forts écarts de cette dernière sont mal tolérés. Il ne faut pas oublier aussi que la température de la lame d'eau qui recouvre le riz a aussi une importance du fait que le zéro végétatif est de 13°C, et qu'en dessous de 7°C, le développement est compromis. Suivent, les actions des différents éléments sur la plante :

- L'hygrométrie : C'est lors de la floraison qu'une humidité relative de 70% à 80% permet d'obtenir de forts rendements. D'autre part, une forte humidité favorise le développement des maladies.
- Le vent : Léger, le vent a un effet favorable car il accélère la transpiration ; fort, il peut arracher les jeunes plants ou provoquer la verse et l'échaudage à maturité.
- La lumière : La photopériode, qui représente la durée d'éclairage et d'obscurité sur un jour, joue un rôle important dans le développement du riz. Aussi exigeante en lumière, la somme des radiations solaires nécessaires au riz correspond à 1000 heures d'ensoleillement pour un cycle d'une durée de 120 jours.
- Besoins en eau : Le riz est certainement la plante la plus gourmande en eau. En culture sèche, les pluies doivent atteindre 1800mm pour satisfaire la plante. En riziculture irriguée, la submersion demande 20000m³/ha, soit 2000mm d'eau amenée artificiellement du fait de la rareté des pluies. Les fortes averses sont nuisibles à cause de leurs effets mécaniques, à la floraison, mais entravent aussi la récolte en rendant le sol impraticable par les machines.
- Le sol : Comme toutes les cultures, le riz aime les sols riches en matières organiques possédant des pH neutres. La tolérance au sel est de 1g/L.

iv. Ses débouchés (CIRAD – GRET – MAE)

Du grain à la tige, le riz est une plante dont on utilise toutes les parties. En effet, outre leur utilisation en alimentation humaine, les grains de riz servent à fabriquer alcool, amidon et dérivés, huile, produits pharmaceutiques, aliments diététiques et nourriture pour les animaux domestiques. La paille est utilisée comme litière, comme matière première pour la fabrication de pâte à papier ou encore pour la fabrication de papier mural.



CFR – CIRAD – 2002

Figure 2 : Cheminement du riz après récolte

Les grains de riz sont classés pour la commercialisation selon une norme datant de 1995. Plusieurs formats : rond, medium, longs A et B doivent répondre aux caractéristiques suivantes.

Caractères du grain	Classement France (riz blanchi)			
	Rond	Médium	Long A	Long B
Longueur (mm)	< 5,2	<6,0	>6,0	>6,0
Rapport facial (long. / épaisseur)	-	-	<3,0	>3,0

Tableau 3 : Classement commercial du riz (ITCF – CFR, 1995)

Après la moisson qui permet de séparer le fruit de la paille, le riz subit une transformation industrielle importante. Ci-contre, le schéma de la figure n°2 montre le cheminement du grain de riz une fois récolté. Ce riz dit « Paddy », est d'abord dénudé de ses balles pour devenir le riz « Cargo » ou « Complet ».

Un polissage permet d'obtenir le riz blanc que nous connaissons tous. Il représente 70% de ce qui est récolté au champ. Le rendement à l'usinage est un facteur qui rentre en compte pour le paiement du riziculteur, par exemple si le riz est difficile à décortiquer. Enfin des traitements peuvent intervenir pour réduire la durée de cuisson (étuvage) ou lui conférer un caractère incollable.

Les sous-produits de transformation tels que les brisures, les farines et le tourteau sont utilisés en alimentation animale. Les balles, issues du décortilage, servent de combustibles et leurs cendres d'engrais.

Rien ne se perd donc de cette plante qui nourrit la moitié de l'humanité en étant cultivée sur les 5 continents.

b. Sa production

i. **Du monde...**

Fournissant près de 50% des besoins énergétiques de 3 milliards d'asiatiques, le riz est surtout produit pour être autoconsommé. En effet, seuls 5% de la production mondiale, soit 33 millions de tonnes de Paddy, sont écoulés sur le marché mondial. La consommation se répartit de la façon suivante (Feyt H. *et al*, 1995) :

- 100 kg/hab/an en Asie
- 50 kg/hab/an en Afrique et Amérique Latine
- 5 kg/hab/an en Europe.

Les différences sont spectaculaires mais ne font que refléter les régimes alimentaires de chaque région du monde. Les surfaces cultivées sont aussi proportionnelles à la consommation annuelle par habitant comme le montre le tableau suivant.

Pays / Région	Surfaces (ha)	Production (tonnes)
Asie	140 816 621	618 238 856
Afrique	9 383 330	24 511 877
Amérique Latine	5 352 642	25 657 854
Europe	668 370	4 102 286

Tableau 4 : Grandes régions productrices de riz paddy (FAOSTAT – 2009)

ii. ...A l'Europe...

Les trois principaux pays producteurs en Europe sont l'Italie, l'Espagne et la Russie (912 000 tonnes de Paddy pour ce dernier) qui cumulent 80% de la production sur ce continent.

Pays	Surfaces (ha)	Rendements (t/ha)	Production (tonnes)
Italie	238 500	6,28	1 500 000
Espagne	119 300	7,53	899 400
Russie	177 500	5,14	912 970
Grèce	29 000	7,06	205 000
Portugal	27 900	5,69	159 000
France (et Guyane)	24 180	5,70	138 035
TOTAL	668 370	6,13	4 102 286

Tableau 5 : Pays Européen producteurs de riz paddy (FAOSTAT – 2009)

Pour les pays membres de l'Union Européenne (U.E), la production de riz est de l'ordre de 3,03 millions de tonnes de riz Paddy pour environ 460 000 ha. Cette production se fait dans les régions du pourtour méditerranéen. Dans cette partie de l'Europe, la riziculture est exclusivement irriguée et se répartit de la manière suivante :

- En Italie, dans la région de la plaine du Pô (partie Nord), grâce à la construction du canal Cavour permettant de transporter l'eau du Fleuve Pô et du Lac Majeur. Le pays produit un tiers du riz Européen et en exporte les deux tiers vers les pays de l'U.E.
- En Espagne, la riziculture n'est pas spécifique à une région mais est répartie de façon dispersée. Le Delta de Séville et ses 210 000 tonnes est une grande région productrice, puis on retrouve des régions comme Valence et Tarragona qui approche les 120 000 tonnes.
- En Grèce, on recense 29 000ha répartis sur trois régions là aussi dispersées. Cependant, depuis la fin de la deuxième guerre mondiale, l'ensemble de la superficie consacrée aux céréales (y compris le riz) a connu un certain déclin. Les principaux facteurs qui limitent la production rizicole sont les suivants : eau d'irrigation insuffisante, salinité élevée du sol et le problème du riz crodo (adventice majeure du riz).
- Au Portugal, on compte près de 28 000ha de rizières. Le climat joue également un rôle important car situé entre la Méditerranée et l'Océan Atlantique, le Portugal a la particularité d'être chaud et humide.
- En France qui, en plus de la Camargue, bénéficie de terres en Guyane où deux récoltes par an sont possibles. Sur les 24 000ha de rizières françaises, 4 000 sont situés Outre-Atlantique. Dans cette région, les rendements ne sont pas exceptionnels puisqu'ils ne dépassent pas les 2,5t/ha.



Figure 3 : Zone de culture du riz en France Métropolitaine

iii. En passant par la France Métropolitaine

Les 20 000ha de riz cultivés dans le sud de la France se situent à 99% en Camargue. En effet, on retrouve seulement une centaine d'hectares du côté de Carcassonne, dans l'étang de Marseillette, et de Narbonne, ce qui concerne deux producteurs.

C'est donc dans le Delta du Rhône (13), et dans le Gard (30) (Figure n°3 ci-contre) que l'on retrouve la majorité de la production de riz, qui ne représente que 4% de la production européenne soit 0,02% de la production mondiale.

Ces 108 000 tonnes (2010) de riz Paddy sont cultivées par 240 producteurs et adhérents au syndicat, bénéficiant d'un climat unique, alliant fortes températures et vents fréquents. Les sols de Camargue présentent des contraintes car ils sont difficilement praticables par les machines agricoles du 21^{ème} siècle qui ont un poids élevé.

B. LA SPECIFICITE DE LA RIZICULTURE CAMARGUAISE

a. La Camargue Agricole

Cette région agricole est concentrée, pour l'essentiel, sur les bourrelets alluviaux, plus nombreux et plus larges dans la moitié Nord du Delta du Rhône. Au sud, les nombreux terrains bas et halomorphes (marais) sont associés à l'élevage de taureaux et chevaux. Les milieux agricoles sont divisés en deux parties : les rizières et les autres terres.

La Camargue désigne un espace de 150 000ha à l'intérieur duquel on retrouve le Delta du Rhône, qui délimite une superficie de 78 000ha (appelée « Grande Camargue ») dont 40% des terres sont labourables. Le reste est dédié au Parc Naturel, marais et étangs (Barbier JM., *et al.* 1995).

b. Situation pédoclimatique

i. Vue d'ensemble

La formation géomorphologique de la Camargue est le résultat de l'action conjuguée du Rhône et de la mer. On observe donc une grande diversité dans les sols. Nous pouvons en rencontrer 5 types en Camargue (Gouny P, 1964) :

- Les cordons littoraux : formations dues à la mer et à l'érosion éolienne.
- Les étangs, constituant des étendues saumâtres, et les marais, utilisés en parcours extensifs pour les taureaux camarguais.
- Les basses terres, valorisées par l'élevage extensif et par la chasse, tandis que les terres hautes servent de support à la riziculture.
- Les parties latérales des bourrelets alluviaux, qui, après mise en place d'irrigation et de drainage, permettent le développement de cultures maraichères et céréalières.
- Les bourrelets alluviaux, formés par les crues du Rhône qui sont utilisés pour les cultures et les bâtiments.

Présentant une faible mais caractéristique variation d'altitude, la Camargue est soumise aux influences simultanées et contradictoires des eaux douces du Rhône, des eaux salées de la mer et du climat méditerranéen. En effet, allant de -0,5m à 5m d'altitude, les sols de Camargue situés en zone basse subissent les remontées par capillarité des eaux salées de la mer. Bien que le riz soit halotolérant, la submersion est nécessaire pour diluer le sel et l'entraîner dans la nappe phréatique.

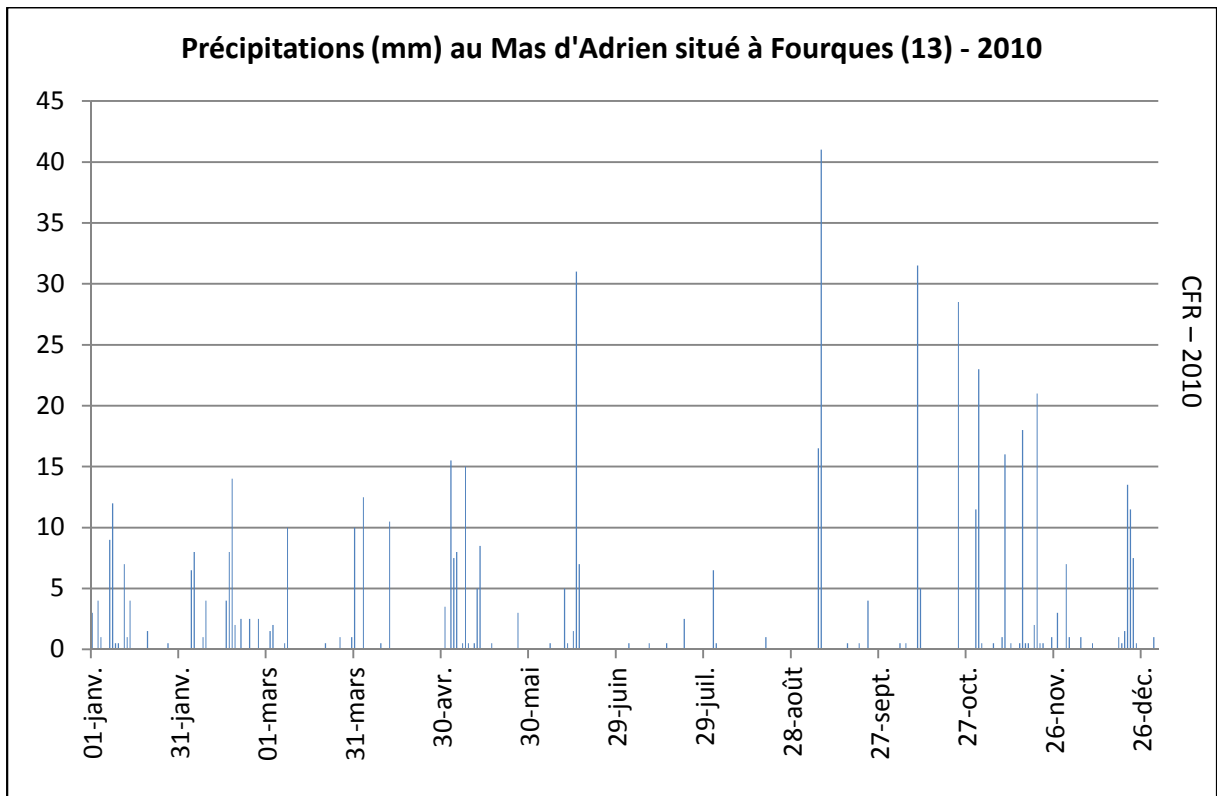


Figure 4 : Précipitations relevées à la station météorologique du Mas d'Adrien (13) – 2010

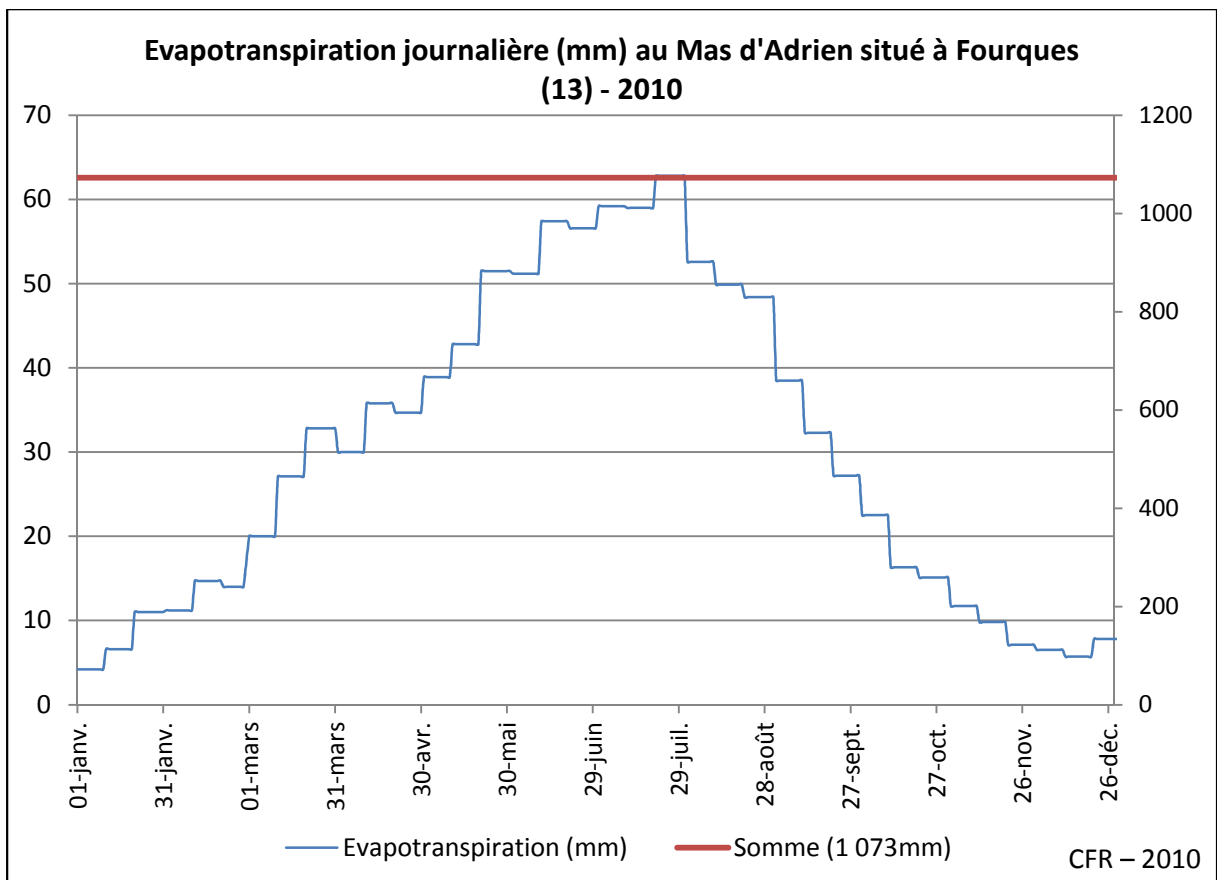


Figure 5 : Evapotranspiration journalière (mm) calculée au Mas d'Adrien (13) – 2010

ii. Le climat camarguais

De type méditerranéen, le climat est caractérisé par des différences saisonnières très marquées : irrégularité des précipitations et variabilités des températures. D'autre part, l'anémométrie est importante.

○ Pluviométrie

Relativement faibles, les précipitations varient du nord au sud de la Camargue. Il tombe en moyenne 588mm en Arles contre 480 aux Salins de Giraud. Ci-contre, la figure n°4 présente le graphique des précipitations de l'année 2010 à la station expérimentale du Centre Français du Riz située au Mas d'Adrien, à Fourques (13).

C'est sur un peu moins de 100 jours que tombent les 550mm enregistrés. Le plus souvent, ce sont de fortes averses en automne qui viennent perturber la fin du cycle du riz et la récolte. En effet, la verse des tiges peut survenir, mais aussi une forte humidité du grain.

Enfin, l'évapotranspiration est forte, avec près de 1 000mm en moyenne, on retrouve donc un déficit hydrique moyen par an de 450mm (Figure n°5 ci contre). L'évaporation peut atteindre un rythme de 2 litres par seconde et par hectare. L'irrigation est donc indispensable pour couvrir les besoins hydriques du riz en Camargue.

○ Températures

Avec une température moyenne de 14°C, la Camargue présente d'assez fortes amplitudes thermiques. En effet, on constate sur la figure n°6 au verso qu'en 2010, l'amplitude était de presque 40°C avec un minimum à -5°C et un maximum à 35°C. Certaines années, on observe jusqu'à -15°C¹, ce qui renforce cette amplitude. Mais le riz est exigeant en forte température, et c'est ce qui rend sa culture difficile en Camargue, sachant que le vent renforce la sensation de froid.

○ Anémométrie (Figure n°7 au verso)

Du fait de sa position géographique, à la sortie du couloir Rhodanien et en bordure de mer, des vents violents soufflent en Camargue pendant la majeure partie de l'année. Les jours sans vent ou de brise légère (vitesse inférieure à 3m/s) peuvent être évalués à environ 80 par an. Deux types de vents soufflent en Camargue : les vents d'Est et du Sud-Est apportant l'humidité de la mer et le Mistral, vent froid et sec venant du Nord-Ouest. Ce dernier peut atteindre des pointes à 190 km/h.

Les vents, Mistral en particulier, jouent un rôle important en surface, puisqu'ils dessèchent rapidement le sol, favorisant les remontées de sel. Ils rendent difficiles les opérations culturales tel que le semis, le nivellement des rizières et les traitements. Les moyens aériens (hélicoptères) souffrent beaucoup du vent du fait de la forte dérive des produits phytosanitaires. Aussi, les vents du Nord abaissent la température ce qui retarde la levée et favorise la pourriture des graines. C'est là que la lame d'eau qui recouvre le riz prend tout son intérêt. En effet, elle sert de tampon et de régulation des écarts de températures que l'on peut retrouver.

L'action des vents n'est pas totalement néfaste, car elle évite les gelées printanières en brassant l'air, dissipe les émanations marécageuses, chasse les nuages et donne à l'atmosphère une éclatante limpidité. Les vents repoussent également l'eau des étangs vers le Sud (cas du Mistral) et abaissent le niveau du rivage, ce qui favorise les écoulements des eaux de drainage. Enfin, deux aspects très bénéfiques et uniques des vents, pour la riziculture Française, sont qu'ils participent au séchage des rizières après les pluies pour la récolte et surtout, gênent le développement des maladies d'origine fongique.

¹ Entretiens avec Clément G. – Sélectionneur CFR – Été 2011

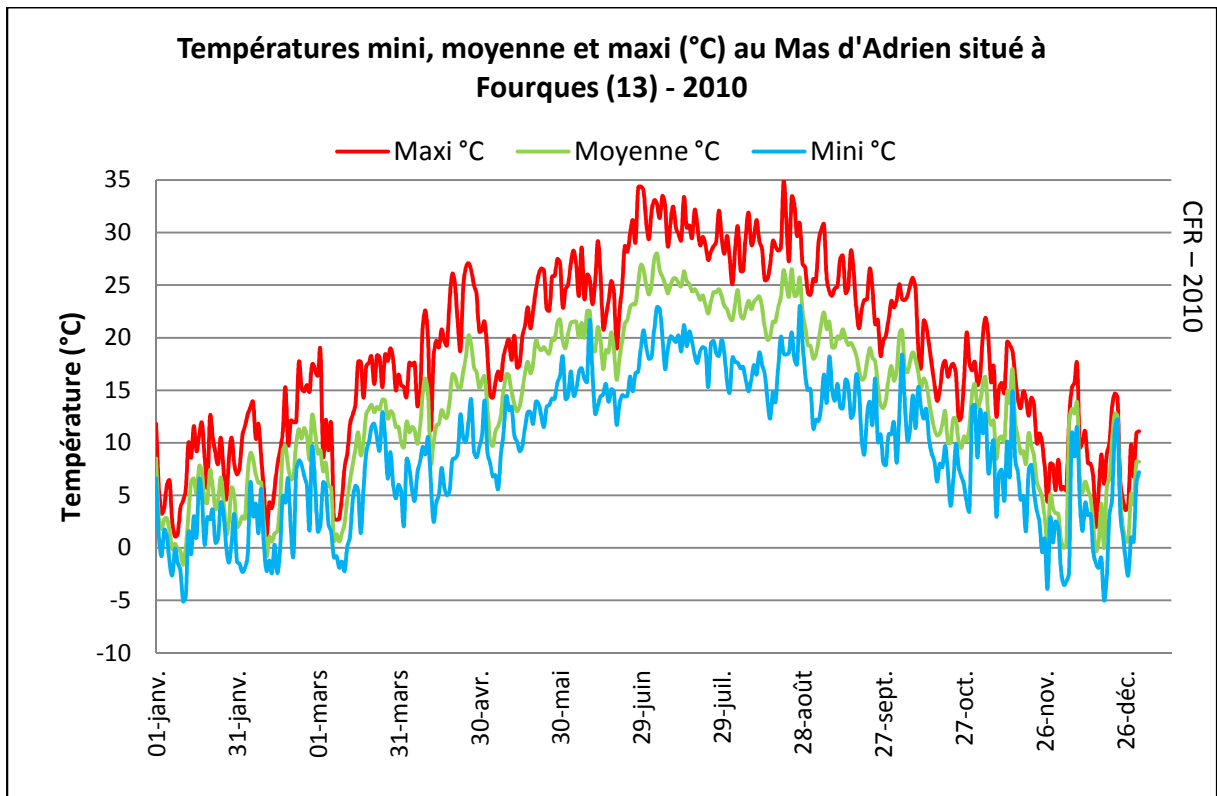


Figure 6 : Températures (°C) au Mas d'Adrien situé à Fourques (13) – 2010

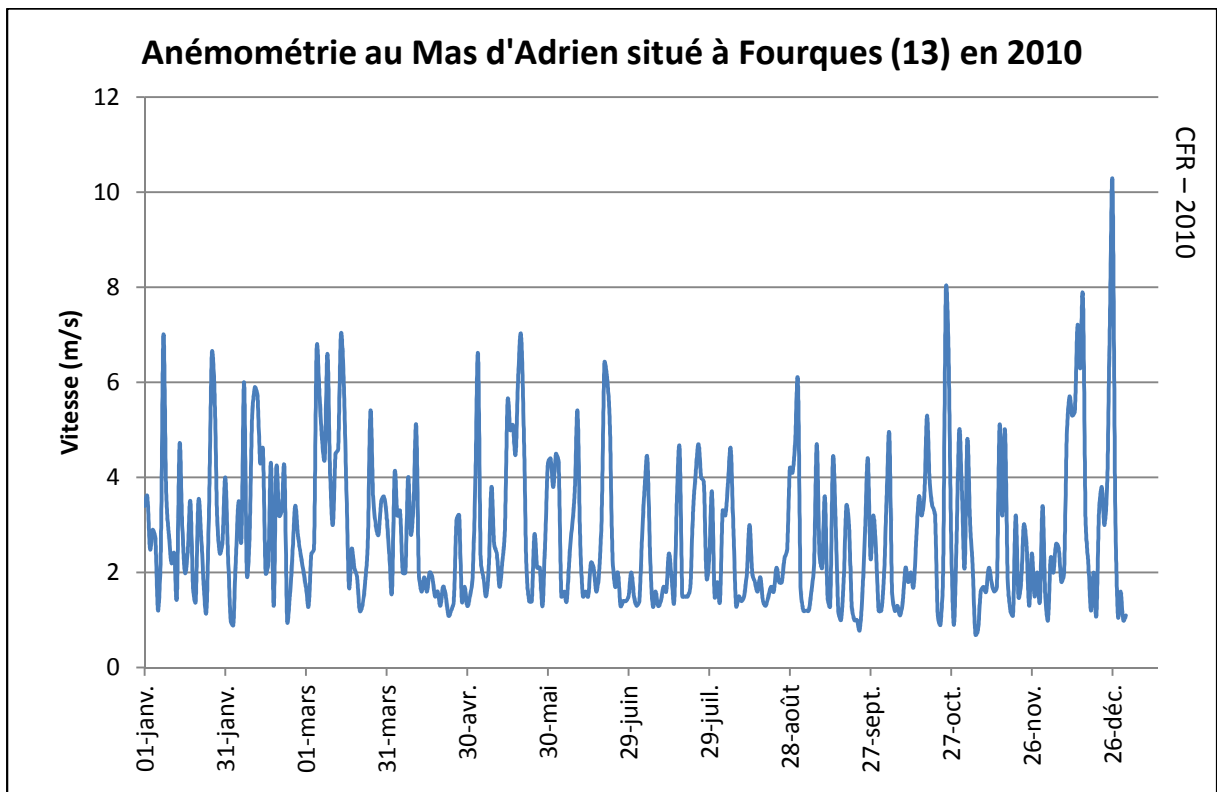


Figure 7 : Anémométrie (m/s) au Mas d'Adrien situé à Fourques (13) – 2010

Ces conditions climatiques conjuguées aux particularités des sols, ne sont pas toujours favorables à la culture du riz qui se trouve à son extrême Nord de répartition géographique. Les riziculteurs français rencontrent chaque année un nouveau problème : sel, faibles températures à l'épiaison, fortes pluies à la récolte ou printemps humide. Cela concourt à diminuer les rendements alors que les charges à l'hectare ne cessent d'augmenter (intrants).

iii. Atouts et contraintes du milieu

1. Les atouts

La Camargue possède d'importants facteurs de réussite pour la riziculture. En effet, les terres sont plates avec des sols profonds, riches en argiles et en limons. L'eau douce est disponible à volonté et jusqu'alors bon marché. De plus, le Mistral, vent desséchant, limite les maladies. Grâce aux progrès techniques, les rendements sont passés de 40q/ha dans les années 60 à 55q/ha aujourd'hui.

Le parc naturel régional, incluant en son sein une réserve nationale de faune et de flore, fait susciter à la riziculture un intérêt tout particulier. En effet, les écologistes perçoivent la nécessité d'un maintien de l'équilibre naturel qui ne se fait pas sans l'entretien des parcelles. L'agriculture façonne et participe donc à la stabilité du milieu.

2. Les contraintes

La culture du riz en Méditerranée est tout de même difficile car le calendrier est serré : le riz a un cycle végétatif de 140 à 160 jours. La température à la floraison et à la fécondation doit dépasser les 21-22°C. Il est donc difficile de semer avant le 20 avril et après le 10 mai pour ne pas affronter des températures trop faibles à la floraison en août, ou les fortes pluies d'automne (Barbier *et al.* 1995).

c. La production rizicole au fil des décennies (Barbier JM., Mouret JC., 1995)

C'est au début du Moyen Âge que les véritables travaux d'aménagement du Rhône commencèrent. Mais l'endiguement complet de la Camargue n'est intervenu que vers 1807 et les crues dessalinisantes ne purent plus jouer alors leur rôle. Il a donc fallu créer un réseau d'irrigation afin de ne pas rendre stériles les terres de Camargue et permettre l'approvisionnement en eau des villages.

L'introduction du riz en Camargue date de cette époque. Toutefois, cette culture constituait beaucoup plus une pratique de dessalement qu'une production proprement dite. Pendant la seconde guerre mondiale, le trafic maritime est interrompu, provoquant une pénurie alimentaire. Les producteurs, ainsi que les pouvoirs publics, sont amenés à reconsidérer leur point de vue sur la riziculture.

Mais la plupart des agriculteurs se montrent tout de même réticents du fait des lourds investissements qu'engendre la création des rizières, surtout qu'à cette époque, ni le prix du riz, ni les faibles rendements (environ 15q/ha) ne permettent d'assurer la couverture des coûts de production. Des mesures ont ainsi été prises pour encourager la riziculture :

- Participation de l'Etat aux dépenses d'investissements (silos coopératifs),
- Mesures de facilités accordées aux producteurs pour l'acquisition de matériels lourds et indispensables aux gros travaux (surfaçage, drainage),
- Développement du réseau d'irrigation,
- Fixation d'un prix d'encouragement.

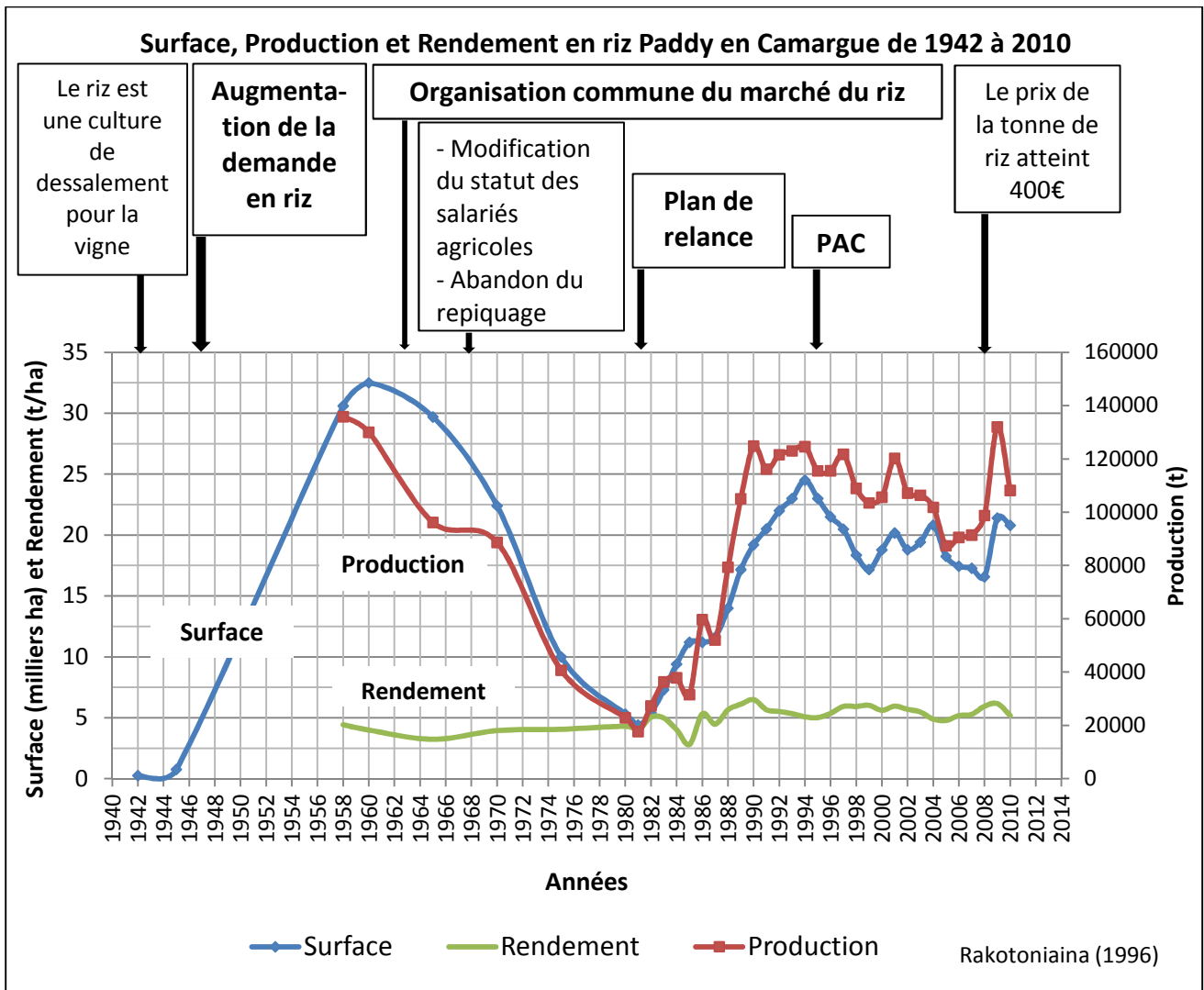


Figure 8 : Surface, production et rendement en riz Paddy en Camargue de 1942 à 2010

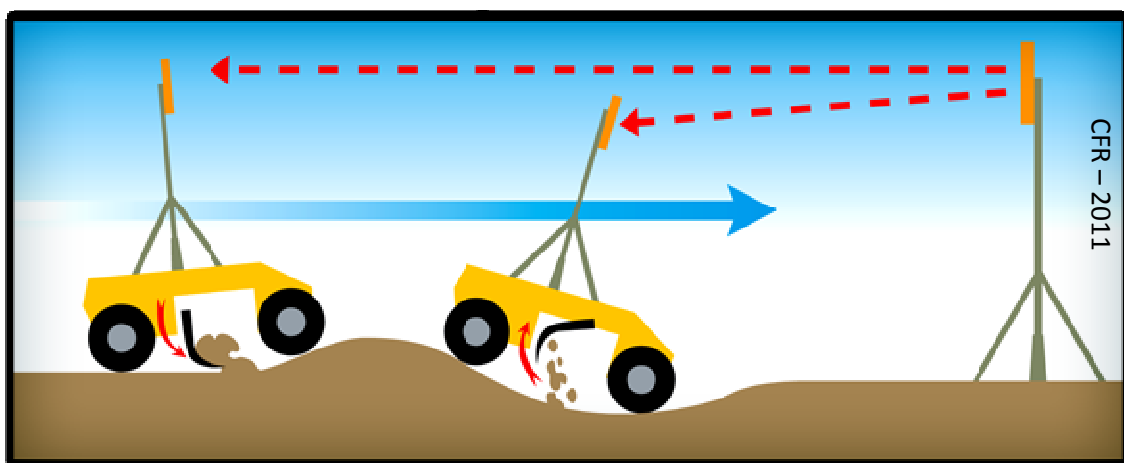


Figure 9 : Représentation schématique du nivellement d'une rizière

Ces mesures ont entraîné une progression spectaculaire des surfaces ensemencées en riz comme le montre le graphique de la figure n°8 ci contre. En effet, de 1946 à 1961, soit en 15 ans, les surfaces ont été multipliées par 30, passant ainsi de 1 100 à 32 900ha ! Sur le même graphique, on retrouve la production de riz Paddy, qui atteint 83 500 tonnes en 1961 pour une consommation de 74 000 tonnes. La France est donc autosuffisante.

Mais ce renouveau est de courte durée, puisqu'en 1963, la mise en place du marché commun agricole ouvre la concurrence avec le riz italien. La chute des surfaces rizicoles est vertigineuse, les charges d'exploitation devenant élevées et le prix d'achat stagnant. Le blé dur est préféré au riz du fait qu'il soit mieux primé. C'est ainsi qu'en 1982, la surface cultivée en riz n'est plus que de 5 000ha, couvrant 10% de la consommation française.

Pourtant, quelques années plus tôt, le syndicat des riziculteurs propose un plan de relance avec pour objectif d'atteindre 20 000ha de riz. Des aides sont versées, en 1981, pour remettre en état les canaux d'irrigation et de drainage. Ainsi, en 1994, les surfaces rizicoles atteignent de nouveau 24 500ha, favorisées par des aides au nivellement des rizières qui permettent d'augmenter significativement les rendements (Carlin A. *et al*, 2004).

Les aménagements fonciers et la maîtrise de l'eau qui en découle sont donc extrêmement importants pour la culture du riz. En effet, la mise en eau et le drainage des parcelles sont essentiels à la bonne croissance du riz. Il faut donc être en mesure d'amener ou d'enlever l'eau assez rapidement pour intervenir dans les bonnes conditions.

Par exemple, des assecs sont réalisés pour effectuer les herbicides. Cela consiste à retirer l'eau de la rizière pour obtenir une terre pâteuse. Ainsi, lors du passage du tracteur, il n'y a pas de projections d'eau qui pourraient diminuer l'efficacité des produits de contacts comme les désherbants.

Pour cela, le réseau d'irrigation doit être bien étudié pour être réactif. Il faut donc s'appliquer à le modifier chaque année si le besoin s'en fait ressentir. Le curage des fossés est aussi primordial et doit être réalisé régulièrement. Le planage des rizières doit être lui aussi réalisé annuellement si possible. Néanmoins, le débit de chantier n'est pas élevé et les fenêtres d'interventions sont courtes. Cette opération culturale est réalisée grâce à une lame tirée sur le sol et pilotée par un récepteur laser relié à un trépied émetteur mis au bord de la parcelle (Schéma figure n°9 ci contre).

Enfin, du côté de la plante même, de nombreuses recherches ont fait avancer la sélection variétale. Les critères de sélection sont nombreux¹ pour résister à la spécificité camarguaise :

- Vigueur à la levée / d'implantation,
- Tolérance aux faibles températures à la germination (semis tardif) ou à l'épiaison,
- Capacité de tallage,
- Tolérance au sel,
- Résistance à la verse,
- Tolérance à la pyrale,
- Tolérance à la piriculariose (maladie fongique),
- Facilité de récolte,
- Rendement à l'usinage.

¹ Entretien avec Clément G. – Sélectionneur CFR – Été 2011



Figure 10 : Semis à la volée dans la pépinière



Figure 11 : Mise en poquet à la pépinière (1966)



Figure 12 : Mise en place des poquets



Figure 13 : Repiquage (1966)



Figure 14 : Désherbage manuel



Figure 15 : Semis à la volée (1968)

d. Situation actuelle

En 2010, la surface rizicole camarguaise se maintient autour de 20 000ha pour une production de 108 000 tonnes de riz Paddy. Le prix de la tonne de riz s'est soldé à 300€ ce qui est, selon les riziculteurs rencontrés, correct. L'année 2011 a été marquée par un printemps pluvieux, puis très chaud et sec. Les préparations des terres ont été retardées, puis l'eau d'irrigation s'est retrouvée très salée du fait de la remontée de la mer dans le Rhône. Les températures lors de la montaison ont été assez fraîches, ce qui a retardé le cycle végétatif du riz.

Néanmoins, la récolte fut précoce. Dès le 15 septembre, les moissonneuses batteuses sont entrées en action, dans des riz très bien fournies. La récolte 2011 sera l'une des meilleures au niveau du rendement à l'hectare frôlant les 6 tonnes. La moisson fut aussi marquée par des conditions climatiques sans pluie, ce qui est idéal pour la reprise des terres par la suite et surtout, les implantations de blé sur riz.

De nos jours, les surfaces de riz dépendent plus du facteur climatique que financier, même si ce dernier n'est pas laissé de côté. En effet, si l'automne est pluvieux, les implantations de blé dur seront très difficiles et les exploitants choisiront de semer du riz au printemps de l'année suivante.

Les programmes de recherche mis en place s'inscrivent dans ce contexte difficile changeant d'une année à l'autre. Mais tous les riziculteurs tentent de diminuer leurs charges de structure pour retrouver un coût de production équivalent à 5t/ha de riz, c'est-à-dire inférieur aux rendements des 10 dernières années.

Des solutions sont proposées pour réduire les charges de mécanisation qui sont devenues très pesantes avec l'augmentation du prix des matières premières et des carburants. Le coût de la main d'œuvre associée est aussi élevé. Mais avant de présenter les solutions, un état des lieux des pratiques actuelles en matière de la mécanisation est nécessaire.

C. LA MECANISATION EN RIZICULTURE FRANÇAISE

Après un bref historique de l'évolution de la mécanisation rizicole, nous développerons les opérations en eau de l'itinéraire technique du riz qui sont actuellement réalisées, pour la majorité des riziculteurs, avec des tracteurs équipés de roues squelettes en fer. Mais ces dernières imposent des contraintes spécifiques, coûteuses en temps et en main d'œuvre.

a. Historique de la mécanisation (Collection « Guide de l'agent rizicole – FAO »)

Jusqu'en 1973, la riziculture s'effectuait avec la technique du repiquage. Cette technique encore pratiquée en Asie (là où l'agriculture n'est pas fortement mécanisée) consiste à semer le riz autour du corps de ferme dans une pépinière (figure n°10 ci contre). Le riz est ensuite mis en poquet, lorsqu'il atteint le stade 4 à 5 feuilles (figure n°11 ci contre), qui sont dispatchés à l'aide de la traction animale dans les rizières (figure n°12 ci contre), puis repiqués dans la boue (figure n°13 ci contre).

Les problèmes d'enherbement sont donc moindres du fait de la couverture du riz. Mais le désherbage est aussi réalisé à la main (figure n°14 ci contre) ce qui concourt à obtenir des rizières parfaites, en ajoutant le fait que les exploitations ont de petites surfaces.

Le seul inconvénient qui fera changer la méthode de culture est la demande en main d'œuvre qui est énorme. En France, les dernières années de repiquage ont vues des centaines de personnes venues d'Espagne participer aux opérations en eau. Le travail était très contraignant et éprouvant physiquement du fait de marcher dans 20cm de boue, dix heures par jour en étant penché en avant. En 1968, le changement de statut du salariat agricole entraîne une augmentation des salaires de 30% ! Le coût de production a donc explosé alors que le contexte économique de la fin des années 60 était de plus en plus dur. C'est ainsi que s'est développé le semis direct à la volée, faisant intervenir des épandeurs centrifuges (figure n°15 ci contre).

Cette méthode est pratiquée par tous aujourd'hui, du fait de la rapidité d'intervention (semis jusqu'à 24m de largeur) et de la simplicité de l'opération. C'est aussi au début de ces pratiques que les roues squelettes sont apparues sur les tracteurs.

Ceci a une explication simple : à l'époque, les pneumatiques agricoles possédaient une structure diagonale, très rigide nécessitant une pression de gonflage élevée. Même si les tracteurs n'étaient pas lourds, les enlacements étaient prévisibles. Les roues squelettes ont fait leur entrée en riziculture, avec une conséquence esthétique, puisqu'elles ont l'avantage de ne pas faire plus de 12 cm de large et donc, de ne pas écraser le riz.

Mais, les exploitations ont grandi au fil des décennies, passant de quelques hectares à plus de 150 aujourd'hui. Parfois, le parcellaire est très morcelé, avec des distances de plus de 20kms entre sites. Il a fallu que les riziculteurs s'équipent en machines de plus en plus performantes et rapides, entraînant l'apparition de nouveaux problèmes que ce soit dans et hors des rizières.

b. Itinéraire technique et facteurs extérieurs : des contraintes spécifiques

Avant de passer à l'étude du travail des tracteurs dans les rizières, il est nécessaire de connaître l'itinéraire technique pratiqué. Le tableau suivant présente ce dernier.

Dates	Stades du riz	Opérations culturales	
Novembre à Mars		Déchaumage Labour / Travail profond au cultivateur à dents Nivellement	
Avril		Fertilisation de fond (NPK = 50, 70, 80) Préparation du lit de semences – Herse rotative	
20 Avril au 10 Mai	Avant semis	Mise en eau	
		Traitements herbicides contre les panisses – algicide – vermicide (= faux semis chimique)	Semis à sec à l'épandeur centrifuge (meilleure régularité)
		Semis à l'épandeur centrifuge dans l'eau	Mise en eau
Fin Mai à début Juin	1 feuille	Herbicide post levée contre les <i>echinochloa</i>	
	2 à 3 feuilles	Herbicide post levée, anti cypéracées	
	3 à 4 feuilles	Premier apport d'azote en couverture (N = 50)	
Début Juillet	Plein tallage	Herbicide anti cypéracées	
	Début montaison	Second apport d'azote en couverture (N = 50)	
Début Août	Début épiaison	Traitement contre la pyrale (non systématique)	
Mi			
Septembre à Fin Octobre	Maturation	Récolte	

Tableau 6 : Calendrier cultural du riz (André F. – CFR – 1995)

Nous nous intéresserons donc principalement aux interventions en eau qui sont regroupées dans l'encadré rouge et qui sont réalisées avec un équipement spécifique : les roues squelettes.

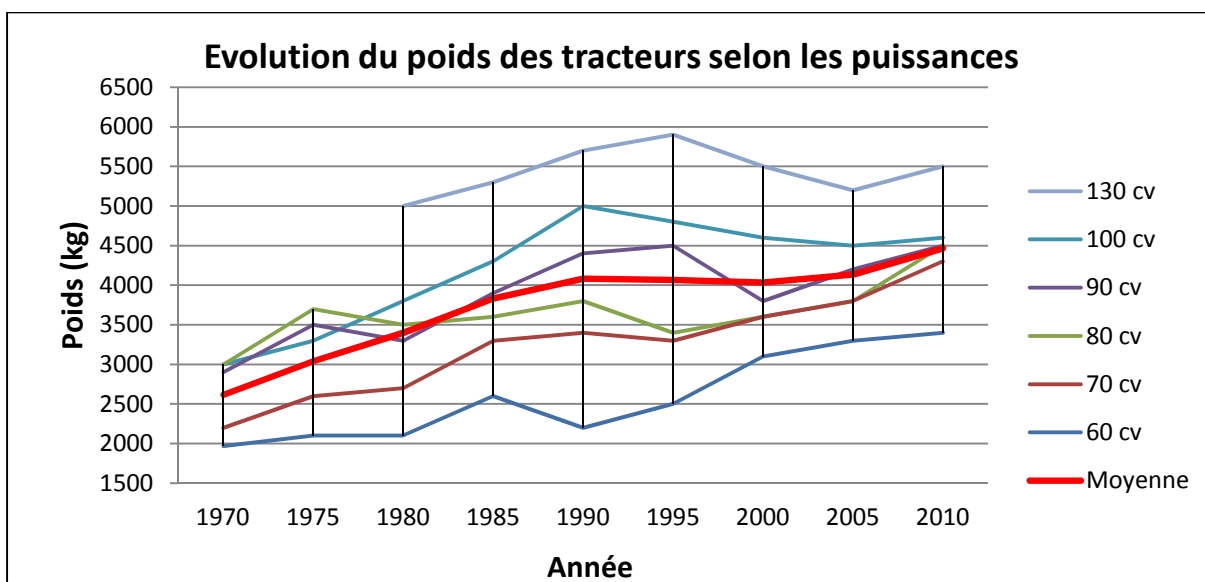


Figure 16 : Evolution du poids des tracteurs en fonction de la puissance de 1970 à 2010 (Konedata)



Figure 17 : Tracteur et porte-engin utilisé pour le déplacement des tracteurs en roues squelettes

i. Travail en roues squelettes

Les tracteurs équipés de roues squelettes effectuent entre 4 et 7 passages par hectare. Cela va du faux-semis chimique à l'épandage d'engrais en passant par le semis et les traitements phytosanitaires. Ces derniers peuvent être fait par hélicoptère (tout comme les autres opérations), moyen d'intervention très répandu en Camargue du fait de sa rapidité. Il permet aussi de palier aux problèmes de franchissement que rencontrent certains riziculteurs dans les terres difficiles, situées en dessous du niveau de la mer. En effet, la surface de contact entre les roues squelettes et le sol est très réduite et participe à l'enfoncement des roues dans le sol.

Pour qu'un équilibre s'installe entre la roue squelette et le sol, la profondeur de l'ornière doit être en moyenne de 25cm mais il arrive qu'elle descende à plus de 40cm. Ceci est dû au fait que la roue squelette découpe la semelle qui est formée par le labour et qui ne peut pas résister à la pression exercée par le passage des pointes des roues squelettes. Bien souvent, il est impossible de repasser dans les mêmes traces sous peine de finir enlisé.

Ces problèmes sont de plus en plus rencontrés du fait que les structures d'exploitations ont fortement augmenté lors de ces deux dernières décennies. Une forte mécanisation est devenue indispensable pour couvrir les surfaces en peu de temps. Les tracteurs puissants (>140ch) sont devenus monnaie courante en Camargue pour travailler dans les rizières.

Mais comme le montre le graphique de la figure n° 16 ci-contre, plus un tracteur est puissant, plus il est lourd. Les constructeurs ont aussi augmenté le poids des engins de traction au fil des décennies pour résoudre les problèmes d'adhérence rencontrés sur sol « dur ». Ce ne sont pas les terres fragiles qui ont dicté les choix techniques des concepteurs.

Les roues squelettes engendrent également des problèmes de déplacement sur route, nécessitant un porte-engin tracté par un tracteur de forte puissance (Figure n°17 ci contre). Il faut aussi tenir compte de la place pour garer ce deuxième ensemble afin d'effectuer le chargement et le déchargement. La dégradation des chaussés (Figure n°17 ci contre) est aussi observée en Camargue, lorsque les tracteurs ne font que traverser une route pour rejoindre un lot de rizières.

Même entre parcelles se jouxtant, le déplacement est chaotique, puisque le roulement se fait de pointe en pointe. C'est un problème de confort pour le chauffeur, mais aussi mécanique puisque les énormes vibrations se propagent dans tout le tracteur qui se dégrade ainsi plus vite. Le débit de chantier est donc affecté par cette lenteur lors des déplacements.

Enfin, les roues étant toujours 25cm plus bas que le niveau du sol, on peut penser que la consommation de carburant est élevée puisqu'il faut vaincre en permanence la « marche » que forme cette hauteur de terre.

ii. Législation sur les traitements aériens

Certaines interventions en riziculture sont effectuées par voies aériennes. C'est l'hélicoptère qui est utilisé en métropole, alors qu'outre-mer (Guyane), l'avion prédomine. Faux semis, semis, traitements phytosanitaires, apports d'engrais ou lutte contre la pyrale et les maladies fongiques, tout est réalisable par voie aérienne. Néanmoins, les riziculteurs tentent d'effectuer les travaux avec leurs moyens terrestres si le passage dans la rizière est possible et si les fenêtres d'interventions sont assez longues.

Pendant, la réglementation se durcit d'année en année. En 2004, la France a adopté une réglementation fixant les conditions d'interventions lors des traitements : zones, distances de sécurité, anémométrie ou encore démarches administratives. Mais, le cadre communautaire, européen visant à obtenir une utilisation des pesticides compatible avec le développement durable, présent dans la directive 2009/128/CE datant du 21 Octobre 2009, a interdit l'utilisation des moyens aériens pour les épandages sauf si aucune méthode terrestre n'est possible.

Signification du marquage des dimensions inscrites sur les pneumatiques

On retrouve deux types d'appellations :

- Millimétriques (Norme ETRTO) avec par exemple 270/95 R44 qui se lit de la manière suivante :
 - o 270 : Largeur nominale du pneumatique en millimètre.
 - o 95 : Rapport (%) entre la hauteur du flanc et la largeur du pneumatique. Ici, la hauteur du flanc est égale à $270 * 0,95 = 256,5$ mm.
 - o R : Structure Radiale.
 - o 44 : Diamètre nominal de la jante en pouces. Ici, la jante à une dimension de $44 * 2,54 = 112$ cm.

- En pouces avec par exemple 11.2 R44 qui se lit de la manière suivante :
 - o 11.2 : Largeur nominale du pneumatique en pouces. Ici, la largeur est de 280mm.
 - o R : Structure Radiale
 - o 44 : Diamètre nominal de la jante en pouces. Ici, la jante à une dimension de $44 * 2,54 = 112$ cm.
 - o Le rapport « Hauteur du flanc / Largeur du pneumatique » est de 0,85 pour ce genre de marquage.

D'autres indications sont présentes sur les pneumatiques, comme leur indice de charge associé au code de vitesse, la marque ou encore le type de pneumatiques.



Figure 18 : Les chenilles fers, équipement spécifique pour la récolte du riz

Un arrêté (présent en Annexe 1) a été pris le 31 mai 2011, en France, pour appliquer cette directive. Toutefois, des dérogations annuelles et/ou ponctuelles peuvent être accordées par les états membres de l'UE et les préfetures.

En ce qui concerne les cultures à dérogation annuelle pour 2011, le riz, le maïs, la vigne et la banane en font parties. Pour le riz, c'est le Syndicat des Riziculteurs en collaboration avec le Centre Français du Riz qui en fait la demande dès le début de l'année civile. Mais ce n'est pas tout, car une fois la dérogation obtenue, le donneur d'ordre (exploitant agricole) doit faire une déclaration d'opération de traitement aérien (disponible en Annexe 2) cinq jours avant le dit traitement à la préfeture. Une fois celui-ci effectué, il faut à nouveau envoyer la même déclaration dans les 3 jours, en indiquant si les travaux ont été les mêmes que ceux prévus.

Par ailleurs, en novembre 2011, il y aura obligation d'épandre des produits qui ont une homologation pour l'utilisation en voies aériennes. Or, à ce jour, aucun produit ne bénéficie de cette autorisation et il n'y a pas de cahier des charges qui définit les conditions d'obtention d'une telle certification. Le directeur de *General Air Service*, société qui effectue 80% des travaux aériens rizicoles en Camargue, M. Coupé¹, indique que si rien n'est fait, aucun traitement n'aura lieu par les airs lors de la campagne 2012.

Enfin, l'Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques (ONEMA) a mis en place un groupe de recherche courant Juillet 2011. Y participent le CFR, le CEMAGREF et l'Agence de Protection des Végétaux (APV) pour étudier les solutions alternatives aux traitements aériens.

iii. Le travail sur pneumatiques : une alternative intéressante

S'ajoutant aux difficultés rencontrées sur le terrain, la réglementation vient allonger la liste des fardeaux des riziculteurs. Le travail sur pneumatiques peut constituer une solution intéressante à tous ces problèmes que côtoient les exploitants. Mais lorsque l'on évoque cette alternative, sa popularité est limitée et ce choix est loin de faire l'unanimité.

Une étude technique présentée sous la forme d'une synthèse des travaux de Monsieur Lannes constituera la base des avantages que les pneumatiques offrent en riziculture. Comme aucune publication n'a été faite jusqu'ici, cette première sous partie traitera de tous les points étudiés depuis le début des travaux de recherche. Un complément sera apporté pour détailler ce qui a été fait pendant ces 6 derniers mois. L'argumentaire technico-économique sur lequel nous déboucherons en est l'illustration même.

III. ETUDE TECHNIQUE DE L'INTRODUCTION DES PNEUMATIQUES EN RIZICULTURE

Comme nous allons le voir, la technique n'est pas nouvelle. Gilbert Lannes, technicien du CIRAD s'intéresse à ces problèmes depuis déjà plus de 10 ans. Il a donc acquis un certain recul sur ce qui est possible de faire et dans quelles conditions.

Avant propos : Tous les calculs réalisés dans ce mémoire sont justes à 2% près. En effet, on assimilera dans les calculs le kilogramme comme équivalent à dix newtons, alors qu'en réalité, 1kg = 9,81N. Mais, dans 20cm de boue et pressé par le temps puisque le riziculteur doit travailler dès que le temps le permet, ces 2% ne seront pas le facteur le plus handicapant de l'étude. Au contraire, cela augmentera la marge de sécurité prise dans les choix techniques. Aussi, les données monétaires s'entendent hors taxes (HT). Enfin, ci contre, un encadré explique la signification des marquages inscrits sur les flans des pneumatiques.

¹ Entretien du 24 Août 2011



Figure 19 : Roues dites « maraisières » montées à l'arrière des moissonneuses batteuses



Figure 20 : Illustration de l'enfoncement des roues « maraisières »



Poids (Kg)	18 000	5 800
Surface de contact (cm ²)	36 000	A définir !
- Largeur (cm)	160 (80 X 2)	<i>Méthode</i> : Il faut trouver un pneumatique qui, gonflé à 0,5 bars, supporte minimum 2 900 kg
- Longueur (cm)	225	
Pression au sol (bars)	0,5	

Figure 21 : Répartition des masses d'une moissonneuse batteuse John Deere CTS

a. Des premiers essais terrain...

i. **Moissonneuse batteuse (1999)**

Tout le travail qui a été mené jusqu'ici est issu de constatations de terrain. En effet, travaillant sur les réglages des moissonneuses batteuses à la récolte du riz, M. Lannes a observé plusieurs difficultés quant aux déplacements des machines. Celles-ci, évoluant dans un terrain asséché mais encore boueux, sont équipées de chenilles en fers (Figure n°18 ci avant) en lieu et place des roues avants. Ceci améliore la traction et, de par leur grande surface de contact avec le sol, la machine « flotte » sur la rizière. Le poids qui règne sur l'essieu avant des machines est bien souvent supérieur à 15 tonnes.

Mais ce n'est pas ce point qui a attiré l'attention du technicien, même si le déplacement sur route des moissonneuses équipées de chenilles-fers nécessite un porte engin; c'est plutôt la monte de pneumatiques arrière. En effet depuis de nombreuses années, les riziculteurs montent ce qu'ils appellent des roues « maraîchères » d'une largeur généralement de 27cm et d'un grand diamètre (1,63m). Cela correspond à une dimension de 270/95 R44, visible sur la photo de la figure n°19 ci-contre. Gonflées à plus de 3 bars pour tenir la charge, les roues s'enfoncent dans le sol (photo de la figure n°20 ci-contre) car la portance de la rizière est très faible en surface. Le travail laissé est donc assez sale, chaotique et la reprise des terres (déchaumage) rendue difficile.

Des améliorations sont possibles pour, d'une part, respecter le sol, mais aussi diminuer la consommation et les efforts mécaniques, améliorer le confort et les performances de la machine.

ii. **Mise en place de la technique**

Pour trouver une solution technique en peu de temps (moment de la récolte), il suffisait de reproduire le phénomène observé à l'avant de la machine. En mesurant la surface de contact et en connaissant le poids sur la chenille, on en déduit une pression au sol qui correspond à la portance de la rizière grâce à la relation :

$$\textit{Pression (bar)} = \frac{\textit{Force (kg)}}{\textit{Surface (cm}^2\textit{)}}$$

Ci-contre, la figure n°21 montre la répartition des masses ainsi que la surface au sol des chenilles. Comme indiqué, la méthode est d'équiper la moissonneuse batteuse de pneumatiques supportant 2 900kg (5 800 divisé par 2) en étant gonflés à 0,5 bar maximum. Pour ceci, il suffit de se référer aux tableaux des fabricants de pneumatiques et de tracer le graphique de la figure n°22 située au verso. A noter que l'on travaille pour des vitesses de 10km/h car la charge admise par pneumatique diminue lorsque la vitesse augmente comme il est montré sur le même graphique pour le pneumatique 620/70 R26.

Pour comparaison, la courbe correspondant à une dimension de 270/95 R44 est tracée. On voit que pour supporter la charge, il est nécessaire de gonfler ces pneumatiques à 3 bars. En revanche, pour en revenir à l'adaptation d'une monte de pneumatiques supportant la charge à faible pression, on cherche l'intersection de la droite horizontale rouge qui représente le poids sur l'essieu avec une courbe de gonflage d'un pneumatique.

Ici, la dimension 750/65 R26 supporte une charge de 3350kg à 0,6 bar. Le constructeur ne donne pas d'indication pour une pression moindre. Mais, cette valeur donnée est d'une part supérieure à celle recherchée (3350kg > 2900kg) et, d'autre part, la vitesse d'évolution de la machine est inférieure à 10km/h. Donc cette monte convient, demandant néanmoins une surveillance de l'usure du pneumatique et une plus grande attention de la part du chauffeur lors des manœuvres. En effet, le flan du pneumatique peut éventuellement présenter des craquelures s'il est malmené.

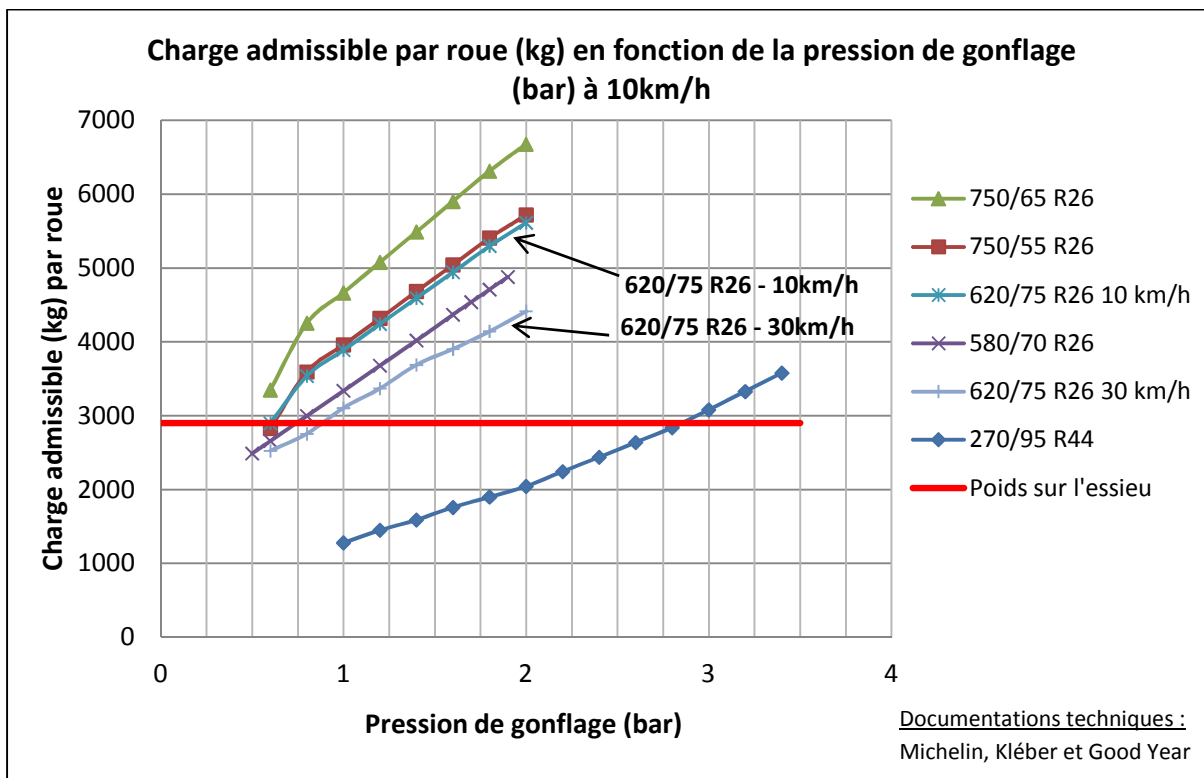


Figure 22 : Représentation graphique de la charge admissible par roue en fonction de la pression de gonflage pour différentes dimensions de pneumatiques

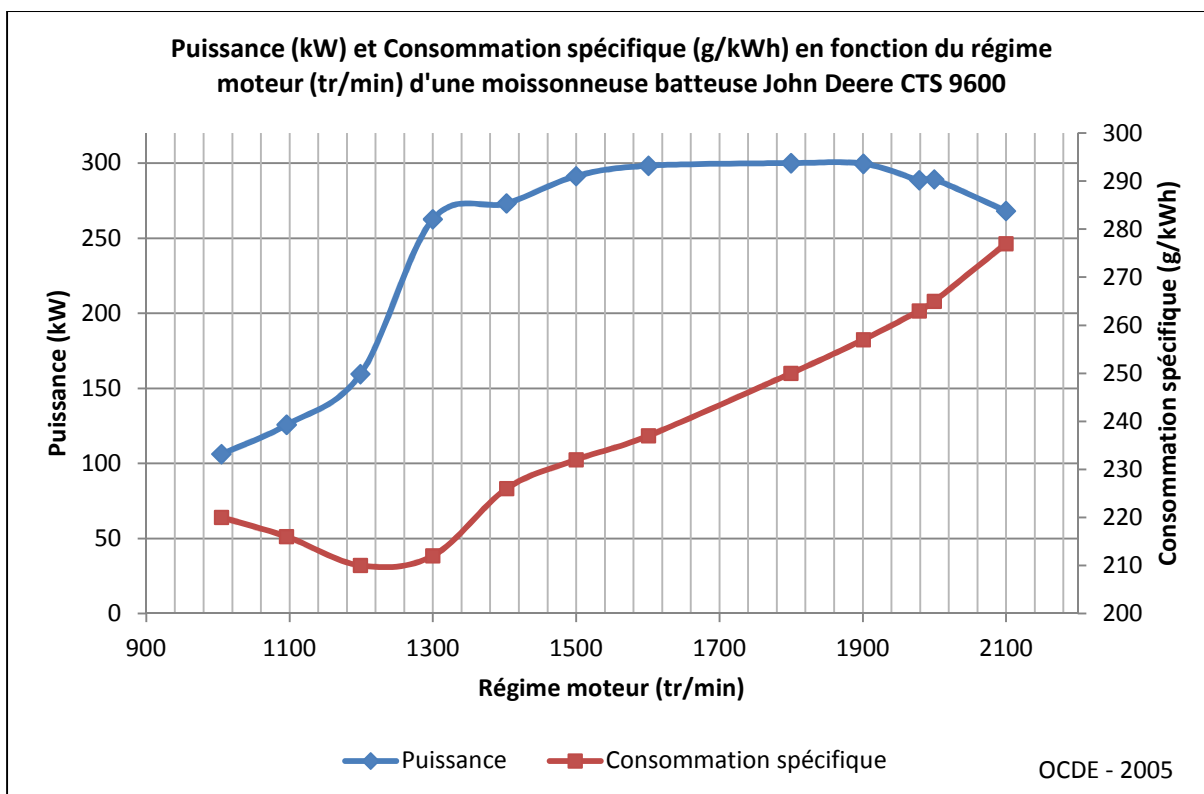


Figure 23 : Courbes moteur caractéristiques d'une moissonneuse batteuse John Deere CTS 9600

iii. Résultats

C'est donc ce pneumatique qui a été choisi pour être monté à l'arrière de la moissonneuse batteuse. Après quelques hectares d'essais concluant, puisque la machine ne s'est pas enlisée (peur du chauffeur), il a cependant été observé que les pneumatiques créaient une ornière un peu plus importante que la chenille. La pression au sol semblait plus importante que celle de gonflage. C'est ainsi qu'a été suspectée une pression résiduelle du pneumatique engendrée par la carcasse. Appelée « rigidité de carcasse », cette force prend son origine dans la structure qui compose le pneumatique. Pour illustrer ce phénomène, il faut simplement penser que le pneumatique non gonflé supporte son propre poids et a une certaine surface au sol. Par exemple, si le pneumatique pèse 100kg et a une surface de 1000cm² au sol, alors il engendre une pression au sol de 0,1 bar.

Sur ces observations, M. Lannes décide d'abaisser la pression du pneumatique à 0,4 bar. Le résultat ne se fait pas attendre ; la moissonneuse roule sur la rizière comme si elle flottait sur l'eau. D'autres avantages se font vite ressentir aussi. Le premier est le confort, le pneumatique jouant le rôle d'amortisseur, le chauffeur est beaucoup moins secoué dans la cabine. Aussi, les manœuvres sont plus aisées puisque le pneumatique n'a pas à se faire un chemin en dessous de la surface du sol. Enfin, même si cela peut être subjectif, lorsque le chauffeur fait le plein de gasoil à la fin de sa journée, il est étonné par la quantité requise. Elle paraît bien inférieure à ce qu'il a pour habitude de mettre.

Pour confirmer ces propos, l'idée de mesurer la puissance de traction nécessaire à l'avancement de la machine est mise en œuvre. Deux machines identiques sont trouvées, celle avec les pneus larges à basse pression, et une autre avec la monte étroite conventionnelle. Des prises de pressions au niveau du moteur hydraulique entraînant la boîte de vitesse sont réalisées grâce à un manomètre. Le débit est fixé en sélectionnant la plus petite gamme de vitesse et en poussant le levier de la machine au maximum afin d'obtenir la cylindrée totale (100 cm³/tr) de la pompe alimentant le moteur hydraulique. Le régime de fonctionnement de la pompe étant de 2000 tours par minute, le débit est donc de 200 litres par minute. Le tableau suivant montre les mesures faites ainsi que les résultats des calculs de puissance en utilisant la formule suivante :

$$\text{Puissance (kW)} = \frac{\text{pression (bar)} \times \text{débit (l/min)}}{600}$$

Equipements	Pression relevée (bar)	Débit (l/min) correspondant	Puissance (kW)	Puissance (ch)	Remarque
Roues étroites 270/95 R44	255	200	85	115,6	Au travail
	360	200	120	163,2	Demi-tour
	240	200	80	108,8	Terrain plus portant
Roues larges 750/65 R26	165	200	55	74,8	
	135	200	45	61,2	

Tableau 7 : Relevé de pression à l'entrée des réducteurs av. de moissonneuse John Deere CTS 9600

On retiendra que la puissance de traction pour la machine équipée en roues étroites est de 115ch et que son homologue en roues larges de 75ch. De ces valeurs, il est facile de déduire la consommation instantanée des deux machines grâce à la relation suivante :

$$\text{Consommation horaire (l/h)} = \frac{\text{Puissance (kW)} \times \text{Conso. Spécifique (g/kWh)}}{\text{Masse volumique du gasoil (g/l)}}$$

On utilisera les données suivantes :

- Consommation spécifique : 260g/kWh à 2000tr/min (voir Figure n°23 ci contre)
- Masse volumique du gasoil (g/l) : 830 à 15°C (Selon Norme AFNOR NF EN 590)



Figure 24 : Etat de surface des parcelles au printemps après le passage des roues « maraichères »



Figure 25 : Travaux de nivellement au printemps dans les rizières

Ainsi, on obtient une consommation horaire de 26,6l/h pour la machine en roues étroites, et 17,2l/h pour celle en roues larges. Il y a donc 9,4l/h de moins en faveur des pneumatiques larges à basse pression. A noter que cette consommation correspond au carburant consommé uniquement pour les besoins en avancement de la machine. Ce n'est pas sa consommation horaire totale.

Des avantages agronomiques, économiques et de confort sont donc évidents. La question à se poser est tout de même celle de l'investissement ; c'est ce que nous allons traiter dans la partie suivante.

iv. Rentabilité de l'investissement

Le prix d'achat¹ des roues complètes (jantes et pneumatiques) est le suivant :

Kléber 270/95 R44 : 1 170€ par roue

Michelin 750/65 R26 : 2 715€ par roue

Le surcoût à l'achat de la monte large est donc de 3 090€. On peut comparer ce montant aux économies réalisables par la baisse de consommation de la machine. Les moissons de riz durent en moyenne 4 semaines. A raison de 9 heures de battage par jour, la machine tourne donc pendant 252 heures. L'économie de carburant sur toute la saison est de 2369 litres.

En considérant le prix du gasoil à 0,7€ par litre, le riziculteur économisera 1 658€. Le retour sur investissement est donc de moins de 2 ans. Avec un débit de chantier de 1ha/h², cela revient à une économie de 6,6€/ha. A celle-ci, on pourrait ajouter :

- La diminution des efforts mécaniques sur les fusées de l'essieu arrière qui peuvent casser si elles sont soumises à des contraintes trop importantes,
- L'augmentation du confort du chauffeur, et donc la préservation de sa santé (vibrations),
- La facilité de reprise des sols, exempts d'ornières.

Cette dernière peut être estimée facilement en suivant des chantiers de reprise des sols au printemps, qui se présentent comme sur la photo de la figure n°24 ci-contre. C'est ce qui a été fait par Gilbert Lannes au printemps 2001. Finalement, le temps passé en plus à l'hectare pour reboucher les ornières est de 15min et le surfaçage à la lame (figure n°25 ci contre) de 15min/ha. Le tableau suivant présente le calcul du surcoût de ces deux interventions culturales :

	Rebouchage des ornières	Surfaçage
Temps en plus (h/ha)	0,25	0,25
Coût de la main d'œuvre (€/h)	17	17
Tracteur (ch)	130 ⁴	160 ⁴
Coût (€/h) à 0,20€/ch/h ³	26	32
Outil attelé	Cultivateur 3,5m / 14 000€ ⁴	Lame niveleuse 4m / 25 000€ ⁴
Coût (€/h)	21	24
Débit de chantier (ha/h)	2,4 ⁴	1 ⁴
Surcoût total (€/ha)	6,7	18,25
TOTAL (€/ha)	24,95	

Tableau 8 : Evaluation du surcoût de reprise des sols et de surfaçage dû aux roues étroites

Ces estimations ont été réalisées grâce à la méthode de calcul éditée par le BCMA (Bureau de Coordination du Machinisme Agricole) présente en annexe 3.

¹ D'après entretien avec M. Marando, commercial chez Euromaster – Arles (13)

² D'après entretien avec M. Taxil, entrepreneur de travaux agricoles à Valensole (04)

³ Barème des coûts prévisionnels indicatifs 2011 du BCMA

⁴ Données constructeurs : Köckerling France et Fontana Italie (entretiens téléphoniques)



Figure 26 : Pénétrromètre enregistreur

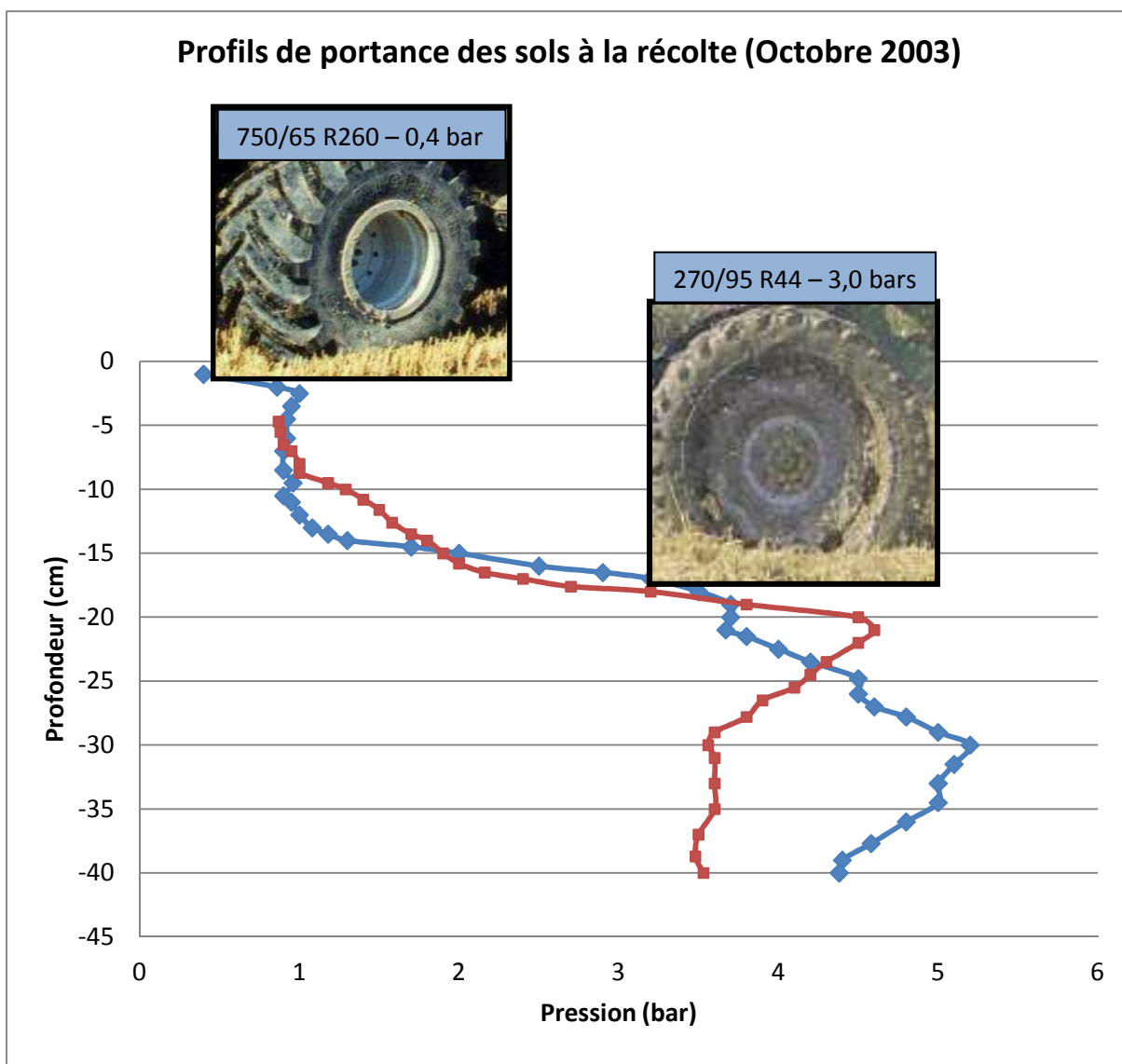


Figure 27 : Courbes de résistance du sol à la récolte (Octobre 2003)

Les paramètres utilisés pour effectuer les calculs sont les suivants :

Paramètres	Cultivateur 3,5m	Lame Niveleuse 4m
Taux d'amortissement	12 %	12 %
Durée d'amortissement	8 ans	15 ans
Taux d'intérêt financier	4 %	4 %
Nombre d'hectares par an	200	100

Tableau 9 : Paramètres utilisés pour les estimations des surcoûts de reprise des terres

Avec un surcoût de 24,95€/ha auxquels on ajoute 6,7€/ha d'économie de carburant, l'investissement en pneumatiques larges permet finalement de gagner plus de 2 545€ la première année (sur 252ha).

Tous ces chiffres montrent à quel point l'utilisation de roues larges à l'arrière des moissonneuses batteuses peut être bénéfique pour le riziculteur. Cependant, des améliorations peuvent être faites concernant les études de portance. Aussi, un équipement supplémentaire est envisageable pour encore diminuer les efforts de traction.

v. Améliorations

La première année d'essai a été décrite ci-dessus. Par la suite, des courbes de profil de sols ont été réalisées grâce à un pénétromètre enregistreur (figure n°26 ci-contre). Cela permet de tracer une courbe représentant la profondeur (cm) en fonction de la pression admissible par le sol (bar). Sur la figure n°27 ci-contre, on en voit un exemple avec la représentation de deux types de pneumatiques.

On voit ainsi la profondeur des ornières réalisées par chaque roue. On peut prévoir grâce à ce type de graphique, la pression de gonflage à respecter pour « flotter » sur la rizière sans créer d'ornière.

Enfin, en ce qui concerne l'équipement supplémentaire qui diminue les efforts de traction devant être fournis par les chenilles, il s'agit d'un pont moteur arrière. Ce système consiste à entraîner les roues arrière de la moissonneuse grâce à une transmission hydraulique. Les roues n'émettent plus aucune résistance à l'avancement. Néanmoins, le prix de cet appendice est de 16 000€¹.

Cela paraît énorme, surtout si l'on ajoute les 3 090€ de surcoût de pneumatiques. Mais en considérant les données présentées ci-avant, le retour sur investissement est d'un peu plus de 2 ans (19090/7975). Ce sont des données brutes, tout peut laisser à croire que ces options supplémentaires permettent de négocier le prix d'une moissonneuse batteuse neuve qui vaut plus de 200 000€¹. Aussi, on peut imaginer que la consommation serait encore diminuée par cet équipement.

Un premier bilan peut être dressé à ce stade du mémoire. En effet, cette première sous-partie nous a permis de voir que les équipements utilisés jusqu'ici en riziculture étaient perfectibles. Mais, nous avons aussi pu mettre en évidence que le choix des pneumatiques est un élément à ne pas négliger, et que la pression de gonflage est encore plus importante !

Enfin, il est prouvé que le travail en pneumatiques dans une rizière est possible, si tant est que les poids sur les essieux sont raisonnables. Passons donc maintenant à la réflexion menée quant à l'équipement des tracteurs rizières pour effectuer les interventions au champ et en végétation.

¹ Données tarif 2011 John Deere

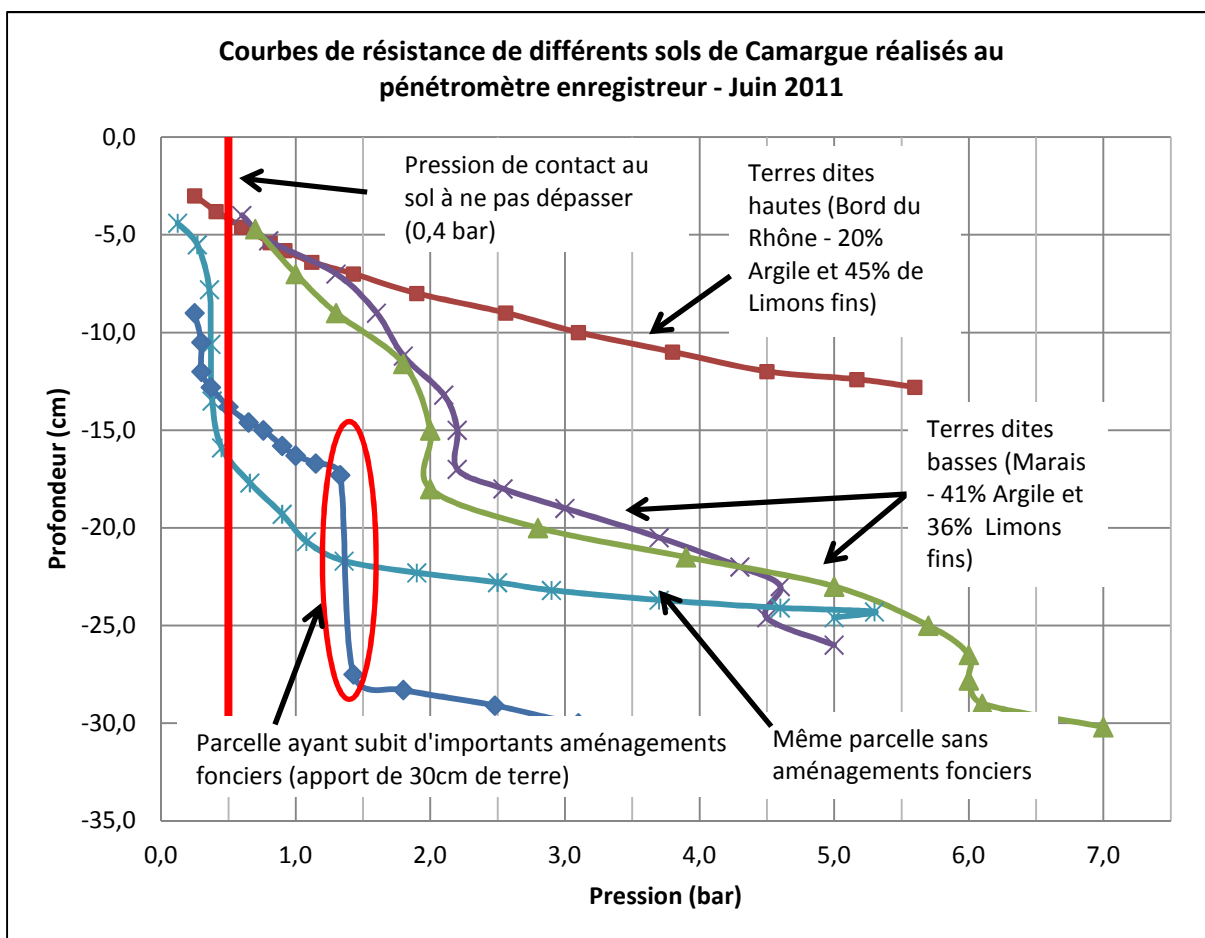


Figure 28 : Courbes de résistance de différents sols en Camargue commentées



Poids (Kg)	2 850	4 980	4 950
Pression de gonflage (bar)	0,4	0,4	0,35

Figure 29 : Traces laissées par les pneumatiques grandes largeurs lors des essais de portance

Figure 30 : Répartition des masses et pressions choisies lors des essais de portance en pulvérisation

b. ...Aux premières mesures, interprétations...

i. **2004 : Etude de portance des sols de Camargue**

A plusieurs reprises, des essais de portance ont été réalisés en différents lieux de Camargue. Grâce au pénétromètre enregistreur, il est facile de tracer les courbes de profondeur en fonction de la pression. Plusieurs exemples de profils sont représentés ci-contre (Figure n°28). La droite verticale rouge montre la pression de contact au sol à ne pas dépasser pour ne pas créer d'ornières trop profondes. Cette valeur est de 0,4 bar maximum et est trop élevée dans la parcelle qui est représentée par les deux courbes bleues.

Des tests sont mis en place en 2005 dans une parcelle non cultivée et mise en eau pour l'occasion. Un tracteur (160ch), équipé de sa monte de pneumatiques d'origine, est alors attelé à un pulvérisateur trainé doté de pneumatiques de grandes largeurs du fait du poids régnant sur l'essieu. Sur la figure n°30 ci-contre, la répartition des poids ainsi que les pressions choisies pour réaliser l'essai sont représentées. Après avoir évacué l'eau de la parcelle (3 semaines), le travail a pu être constaté (Figure n°29 ci-contre) : les ornières laissées sont peu profondes.

Cela choque aux premiers abords, mais le confort de conduite est incomparable et le débit de chantier sera très certainement supérieur au travail en roues squelettes. Des essais de semis à la volée sont alors programmés pour 2006.

Mais, durant ces essais de portance, le chauffeur constate que la puissance requise pour le déplacement de l'ensemble semble être très faible. En effet, comparé au travail qu'il a l'habitude de réaliser en roues squelettes, le tracteur ne peine pas à se déplacer dans la rizière. Pour confirmer ces dires, des mesures de puissance de traction et d'entraînement de la pompe du pulvérisateur sont mises en place.

ii. **2005 : Mesure des puissances nécessaires**

Grâce à un capteur d'effort enregistreur, des relevés d'efforts de traction sont effectués dans une rizière. La valeur moyenne relevée pour la traction est de 4 000N. La vitesse d'avancement étant de 8km/h, et grâce à la relation suivante, on trouve la puissance à fournir pour l'avancement du pulvérisateur.

$$\text{Puissance (W)} = \text{Force (N)} \times \text{Vitesse (m/s)}$$

La puissance de traction pour le pulvérisateur est de 8 888,9W soit 12ch (1ch = 736W). Les mêmes essais ont été menés pour tirer le tracteur, montrant qu'il faut 25ch pour effectuer cette opération.

Enfin, la pompe du pulvérisateur requiert 4ch pour assurer l'alimentation du circuit. En effet, fournissant un couple mesuré de 52 Newton-mètre (Nm), et tournant à un régime de 540tr/min, on peut aisément calculer la puissance requise grâce à la relation suivante :

$$\text{Puissance (W)} = \text{Couple (Nm)} \times \text{Vitesse de rotation (rad/s)}$$

On arrive à un total de 41ch « pur ». En appliquant un taux de charge moteur de 60%, pour avoir une réserve de puissance dans des parcelles plus difficiles, la puissance du moteur du tracteur doit faire 68ch.

Cette valeur est plus de deux fois inférieure à celle de la puissance du tracteur utilisé ci-avant pour réaliser les essais. Il est donc envisageable de diminuer considérablement la puissance des tracteurs utilisés pour travailler en milieu inondé.



Figure 31 : Illustration du bourrelet laissé par le passage des pneumatiques



Figure 32 : Efface-traces rudimentaire placé sous le relevage arrière du tracteur



Figure 33 : Elargisseurs de voie fabriqués pour permettre la fixation des pneumatiques

c. ...et applications

i. **Expérimentations sur tracteur lors du semis**

1. **Première phase (2006)**

Même si le constat de demande de puissance a été fait, l'exploitation où les tests se réalisent n'est pas équipée d'un tracteur plus léger sur lequel les pneumatiques de grandes largeurs sont adaptables.

Pour réaliser les premiers essais de semis, le tracteur de 160ch est conservé, équipé de pneumatiques Good Year 800/65 R32, gonflés à une pression de 0,35 bar. Cette dernière est fixée selon le poids mesuré sous l'essieu arrière lors de la pesée qui était de 5 000kg. Aussi, une faible pression est choisie pour tenter de ne pas faire d'ornièrre, de rouler sur la rizièrre sans s'enfoncer en se fiant aux courbes de profils de sols.

Les essais sont lancés et les premières conclusions sont les suivantes :

- Portance très correcte du tracteur,
- Confort de conduite incomparable,
- Débit de chantier plus élevé du fait des déplacements plus rapides entre parcelles,
- Les pneumatiques se débourent même si le niveau d'eau n'est pas élevé.

Du côté des inconvénients, le guidage du tracteur est peu précis. Il est sans cesse nécessaire de tourner le volant et quasiment impossible d'aller droit. De plus, les roues laissent tout de même un bourrelet (Figure n°31 ci-contre) qui peut gêner à la récolte si le riz est versé. Enfin, ce montage n'est possible que pour les faux semis et les semis car le passage en pneumatiques larges lorsque le riz est en végétation serait une aberration totale du fait de l'écrasement de la plante.

Le bilan est donc très positif pour ces premiers essais. Dans un premier temps, il faut corriger le problème du bourrelet. Aussi, un tracteur léger serait plus favorable à l'autonomie au champ, permettant de transporter plus de semences ou d'engrais en une seule fois dans la trémie de l'épandeur. La deuxième année de test se concentra sur ces deux points.

2. **Deuxième phase (2007)**

Durant l'hiver, un efface-traces rudimentaire (Figure n°32 ci-contre) est imaginé et adapté sur un tracteur de 85ch. Il a fallu aussi fabriquer des élargisseurs de voie (Figure n°33 ci-contre) afin de monter les pneumatiques larges. Les résultats attendus sont au rendez-vous puisque le bourrelet est supprimé et l'autonomie de l'ensemble de semis multipliée par deux du fait du poids moindre du tracteur.

Mais il subsiste toujours le problème de ne pas pouvoir effectuer les passages en végétation (engrais, herbicides) avec ce type de pneumatiques. Alors, en reprenant les courbes de portance de sols, M. Lannes constate que les pneumatiques peuvent être gonflés jusqu'à 1,5 bars sans descendre à plus de 10cm sous la surface du sol. Cette profondeur n'est pas excessive, et des réflexions sont menées pour équiper le tracteur de pneumatiques étroits faiblement gonflés.

3. **Troisième phase (2008 – 2009)**

Avant tout, des essais de portance doivent être réalisés pour savoir si avec un pneumatique étroit faiblement gonflé le travail peut être satisfaisant. Profitant des roues étroites de traitements utilisées dans les cultures sèches (blé dur), l'équipe de recherche met en eau une parcelle, pèse le tracteur et ajuste les pressions. Le but est de ne pas dépasser 1,5 bars de pression de gonflage.



Figure 34 : Essais de portance en pneumatiques étroits gonflés à faible pression



Figure 35 : Seconde génération d'efface-traces monté sous le relevage arrière du tracteur

Le tableau suivant présente la synthèse des mesures et choix qui ont été fait :

Tracteur John Deere 2850	Essieu avant du tracteur	Essieu arrière du tracteur
Pneumatiques	210/95 R32	230/95 R48
Poids sur l'essieu (kg) mesuré avec les plaques de pesée	2 000	2 320
Pression de gonflage (bar) suivant Kleber	0,8	1

Tableau 10 : Mesures et choix faits pour les essais de portance en pneumatiques étroits

Des passages successifs sont effectués à vide dans la rizière et sont très concluants. Pas d'enlèvement, les traces se rebouchent (Figure n°34 ci-contre) après le passage car le sol est boueux.

Il est décidé d'atteler le pulvérisateur trainé d'une capacité de 2600 litres. Mais, les pneumatiques sur cette machine sont petits (230/85 R48) pour la charge à supporter. Avec 1000 litres dans la cuve, le poids sur l'essieu est de 3 000kg après pesée. En se référant au tableau de gonflage, il est nécessaire de gonfler à 1,2 bars les pneumatiques.

Il faut aussi relever la pression dans les pneumatiques arrière du tracteur du fait du report de charge engendré par la machine. En effet, il y a presque aussi 3 000kg sur l'essieu arrière après attelage du pulvérisateur. La pression choisie est donc la même, 1,2 bar. A nouveau, des allers-retours sont réalisés dans la rizière, sans rencontrer aucun problème.

Néanmoins, lors des traitements herbicides, il est conseillé d'abaisser le niveau d'eau de la rizière (assecs) jusqu'à obtenir un terrain pâteux. Un bourrelet se formera sûrement dans ces conditions, obligeant de garder un efface-traces pour éradiquer le problème du bourrelet.

En 2009, après un passage dans l'atelier, le tracteur est équipé d'un efface-traces plus poussé, composé d'un patin qui lissera le fond de l'ornière et de deux versoirs qui, eux, lisseront le bourrelet formé par les pneumatiques. Le montage est représenté sur la photo de la figure n°35 ci-contre.

Les semis, apports d'engrais en couverture et d'herbicides sont réalisés durant l'année. Les résultats sont surprenants. Aucun enlèvement, portance correcte et le patin crée un rail lors du premier passage qui permet de repasser dans les mêmes traces plusieurs fois. On peut aussi noter une diminution des charges de carburant du fait de l'utilisation d'un tracteur moins puissant et, surtout, qui ne force pas pour se mouvoir dans la rizière.

Néanmoins, les traitements phytosanitaires ont été plus longs du fait que la cuve ne pouvait recevoir que 1 000 litres à cause des pneumatiques non adaptés à la charge. Aussi, le guidage n'est pas aisé lors du premier passage suivant le travail du sol pratiqué. En effet, les roues ont tendance à suivre le rainurage créé par les dents des outils de déchaumage, par exemple. Le traçage fonctionne mais demande une forte attention de la part du chauffeur qui ne voit pas évoluer le système qui est plongé dans l'eau et sous la machine attelée au relevage.

Enfin, la largeur de travail doit être fixe du semis au dernier apport d'engrais. Or, semer en 24m de large (longueur des rampes du pulvérisateur utilisé) est parfois pénalisant du point de vue de la régularité et de la densité.

Les résultats sont donc satisfaisants. Il apparaît des améliorations encore possibles, comme l'utilisation de la capacité maximum du pulvérisateur ou une amélioration du guidage lors du premier passage. Ce sont ces deux points qui vont être corrigés lors de la suite des recherches en 2010.



Figure 36 : Traceur utilisé pour le traçage à sec



Figure 37 : Rigoleuse utilisée pour créer les entrées et sorties d'eau



Figure 38 : Traçage + Roulage en simultané

4. Quatrième phase (2010 – 2011)

Après récolte, un bilan est dressé avec le chef de culture, le tractoriste et le directeur d'exploitation. Ce dernier est prêt à investir dans des pneumatiques adaptés pour équiper le pulvérisateur afin d'utiliser la totalité du volume de la cuve. D'autre part, l'idée de tracer les passages de roues avant la mise en eau des parcelles est étudiée. Cela pourrait avoir deux avantages :

- Obtenir des passages rectilignes permettant d'avoir des recouvrements uniformes,
- Avoir la possibilité de semer à sec (parcelle non inondée) sur une largeur de travail inférieure à celle du traçage.

La fabrication d'un traceur, composé de deux buttoirs utilisés dans les vignobles, est lancée entre les deux saisons (Figure n° 36 ci-contre). D'autre part, le pulvérisateur est chargé à son volume maximum après avoir été attelé au tracteur. L'ensemble est pesé afin de connaître les poids sur chaque essieu afin de trouver des pneumatiques admettant la charge. 1000kg sur l'essieu avant, 3350kg à l'arrière et 4550kg sur l'essieu du pulvérisateur.

Des recherches sont effectuées dans les tableaux des manufacturiers pour trouver un pneumatique qui, gonflé à 1 bar maximum, admet la charge voulue. Pour le tracteur, les roues en place conviennent parfaitement. C'est bien pour le pulvérisateur qu'un nouveau montage est nécessaire. Il se révèle que chez Michelin, le pneumatique 320/90 R50 supporte 2250kg gonflé à un 1 bar et à 10km/h¹. Cette monte est donc choisie.

La saison 2010 débute, et après les préparations des terres du mois d'Avril, le traçage à sec est réalisé. En s'aidant du GPS, le débit de chantier est de 10ha/h pour un tracé tous les 24 mètres. Un avantage est découvert à ce traçage, celui de ne pas avoir besoin d'effectuer le passage d'une rigoleuse (en photo sur la figure n°37 ci-contre) en croix dans le champ. Cette intervention, longue et usante pour la machine, consiste à créer une rigole qui permet d'amener et d'évacuer l'eau dans la parcelle. Mais toutes les traces faites par avant agissent comme un maillage, permettant aussi cette circulation de l'eau, et ce, plus rapidement que les passages de rigoleuse. Il est simplement nécessaire de relier les entrées et sorties d'eau au traçage réalisé.

Aussi, le traçage permet d'obtenir une sorte de « semelle » sur laquelle le pneumatique s'appuie. Le roulage dans la rizière est de ce fait plus stable.

Une partie des semis est faite en 16m avant la mise en eau des parcelles pour obtenir une bonne densité sur toute la largeur de travail. Dans d'autres rizières, l'eau est amenée pour pouvoir réaliser des faux semis à l'aide du pulvérisateur. Ce dernier, chargé à sa capacité maximale, soit 2600 litres, permet de diminuer la durée des traitements phytosanitaires.

Encore une fois, aucun enlèvement n'est enregistré. Cependant dans le cas de faux semis, la largeur de semis devra être de 24m. Mais en trempant les semences pendant 24 ou 48h avant leur utilisation, il est possible d'obtenir une bonne densité et régularité de semis.

En bilan de saison, les avantages des pneumatiques sont le confort et une consommation réduite, mais avec cette fois ci, l'augmentation du débit de chantier lors des travaux de pulvérisation. Le traçage à sec est satisfaisant, mais dans certaines terres (fort taux d'argile), un léger bourrelet se forme, pouvant gêner à la récolte si le riz est versé. Il est simplement décidé, pour l'année 2011, de rouler les passages de roues après traçage (cf. Figure n°38 ci-contre). Cela permet d'effacer les dômes réalisés par le traceur.

¹ Documentation Professionnelle 2011 MICHELIN Agricole et Compact Line



Figure 39 : Mise en place des plaques de pesée



Figure 40 : Mise en place du bac de sable entre la roue et la plaque de pesée



Figure 41 : Contrôle du poids via le cric pneumatique

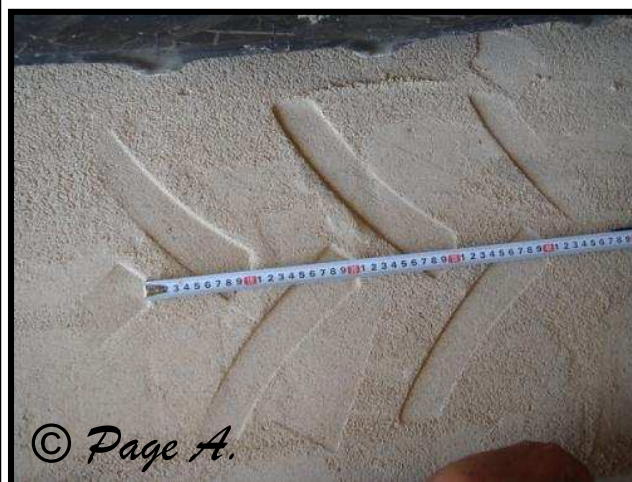


Figure 42 : Mesure de l'empreinte obtenue

L'itinéraire technique est donc au point à ce jour. En effectuant le traçage et en étant plus fin sur les niveaux d'eau des parcelles lors des travaux de pulvérisation, il est tout à fait possible de travailler sur pneumatiques, avec les nombreux avantages que l'on peut y trouver. Cependant, l'équipement du tracteur et des machines en pneumatiques est toujours fait en extrapolant les catalogues des manufacturiers. Généralement, les pressions choisies en dessous de 1 bar ne sont pas homologuées. C'est pour cette raison que les pneumatiques sont de grands diamètres, permettant d'avoir une marge de sécurité. Ce n'est pas sans conséquence, puisque des problèmes d'encombrement lors de l'adaptation de ces pneumatiques sont rencontrés.

Aussi, nous avons parlé de l'existence d'un coefficient de carcasse engendrant une pression supplémentaire au sol. Travaillant à faible pression, cette valeur représente un fort pourcentage pouvant conduire à l'échec du travail sur pneumatiques. En effet, si la pression de gonflage est de 1 bar et que le sol n'admet pas plus de 1,2 bars, il est possible que la pression au sol en soit proche. C'est donc en 2011, que des essais sont menés pour évaluer ce coefficient de carcasse.

ii. 2011 : Mesure d'empreinte de pneumatiques

En mesurant la taille des empreintes laissées par les pneumatiques dans le sol et en connaissant la charge sur la roue, on peut calculer la pression au sol. On en déduit la différence entre cette pression et celle de gonflage. Le protocole est le suivant :

- Mise en place de plaques de pesée (cf. Figure n°39 ci-contre),
- Mise en place d'un bac rempli de sable sur une plaque (cf. Figure n°40 ci-contre),
- Première mesure avec un pneumatique totalement dégonflé. On prête une attention particulière à ne pas dépasser l'écrasement maximum du pneumatique, calculé par différence entre le rayon nominal (mm) et le rayon statique sous charge (mm) donnés par le constructeur dans le tableau caractéristique du pneumatique ; le but étant d'avoir toujours le même écrasement. Le rayon sous charge correspond au rayon minimum que le pneumatique ne doit pas dépasser afin de ne pas se dégrader,
- Détermination d'une pression et variation de la charge sur la roue grâce à l'utilisation d'un cric (cf. Figure n°41 ci-contre),
- Mesure la taille de l'empreinte (cf. Figure n°42 ci-contre).

Des premiers essais sont réalisés avec un pneumatique Kléber d'une dimension de 300/95 R52 équipant un tracteur John Deere 2850. Voici le tableau de résultats des différentes mesures :

Pesée à vide		Avant	2000 kg	Rayon sous charge		Rayon nominal	
		Arrière	2320 kg	879 mm		950 mm	
Pression de gonflage (bar)	Charge sur la roue (kg)	Caractéristiques de l'empreinte			Ecrasement (cm)	Pression au sol (bar)	Différence de pression (bar)
		Longueur (cm)	Largeur (cm)	Surface (cm ²)			
0	120	47	26	1222	2,5	0,098	0,098
0,2	410	60	25	1500	6	0,273	0,073
0,5	940	66	28	1848	6	0,509	0,009
0,8	1100	44	28	1232	6	0,893	0,093
0,8	480	28	19	532	3	0,902	0,102
0,8	300	22	15	330	2	0,909	0,109
1,5	1100	29	24	696	6	1,58	0,080

Tableau 11 : Résultats des mesures d'empreintes pour le pneumatique Kléber 300/95 R52



Figure 43 : Empreinte obtenue à 0,8bar de pression et 1100kg de charge (Kléber 300/95 R52)

Avant tout, des précisions sont nécessaires quant au protocole de mesure. En effet, les trois premières (0, 0,2 et 0,5 bar) ont été faites avec un sable sec, non tassé. Ceci ne reflète donc pas les conditions rencontrées en rizière. Par la suite, le sable a été mouillé et tassé, et un test de résistance au pénétromètre a été fait en constatant que la portance était de 1 bar en surface. Ce « nouveau sol » représente mieux la réalité.

Les valeurs les plus intéressantes se situent bien sûr dans la dernière colonne du tableau. Le différentiel de pression entre celle de gonflage et celle calculée au sol est en moyenne de 0,09 bar. On peut arrondir cette valeur à 0,1 bar aux erreurs de mesure près. Cela veut dire que la pression au sol est supérieure de 0,1 bar à celle de gonflage. Cette dernière étant souvent de 1 bar, on a donc une « surpression » au sol de 10%, ce qui n'est pas négligeable.

Ces premiers tests, bousculés par la disponibilité assez courte du tracteur, sont tout de même riches en enseignements. L'existence d'un coefficient de carcasse a été mise en évidence et évaluée, même si sa mesure est difficile du fait de l'appréciation de la taille de l'empreinte. En effet, l'image de la figure n°43 ci-contre montre un exemple d'empreinte réalisée. Quel pourcentage du poids est supporté par les extrémités de l'empreinte ? Question qui reste sans réponse puisque cette mesure demande l'investissement dans du matériel plus performant issu du monde médical. Mais il faut en revenir à la réalité du terrain, car il y a beaucoup d'autres facteurs qui influent sur la mesure de l'empreinte, en commençant par la nature du sol.

C'est ainsi qu'un second essai a été mis en place, avec un tracteur et un pneumatique différent. Il s'agissait d'un John Deere 6320 équipé de pneumatiques Continental d'une dimension de 340/85 R48. De même, le riziculteur n'a pu mettre à disposition que quelques heures son tracteur, ce qui fait que toutes les mesures souhaitées n'ont pas pu être réalisées. Voici tout d'abord, le tableau de résultats des essais :

Pesée à vide		Avant	2000 kg	Rayon sous charge		Rayon nominal	
		Arrière	2310 kg	843 mm		912 mm	
Pression de gonflage (bar)	Charge sur la roue (kg)	Caractéristiques de l'empreinte			Ecrasement (cm)	Pression au sol (bar)	Différence de pression (bar)
		Longueur (cm)	Largeur (cm)	Surface (cm ²)			
0	180	54	32	1728	7	0,104	0,104
0,7	1320	66	34	2244	8	0,588	-0,112
0,7	1060	44	33	1452	7	0,730	0,030
1 (sol mou)	1500	71	34	2414	7	0,621	-0,379
1	1310	50	34	1700	5	0,771	-0,229
1 (sol dur)	1400	40	32	1280	6	1,094	0,094

Tableau 12 : Résultats des mesures d'empreintes pour le pneumatique Continental 340/85 R48

Là aussi, des précisions sont à apporter quant aux conditions des essais. Comme indiqué dans le tableau, la pression de gonflage a été fixée (1 bar) et c'est la consistance du sol qui a été modifiée. Sable foisonné, puis légèrement tassé, la dernière mesure s'est effectuée avec un sol dur.

Les résultats sont probants. Tout d'abord, la rigidité de carcasse a été mise en évidence avec l'essai à 0 bar. Puis, ce qui a été le plus surprenant, ce sont les différences de pression suivant la consistance de sol. En effet, plus le sol était mou, plus la pression au sol était faible et en dessous de la pression de gonflage. Ceci est dû au fait que le pneumatique, mais aussi le sol, se déforment énormément tous les deux.

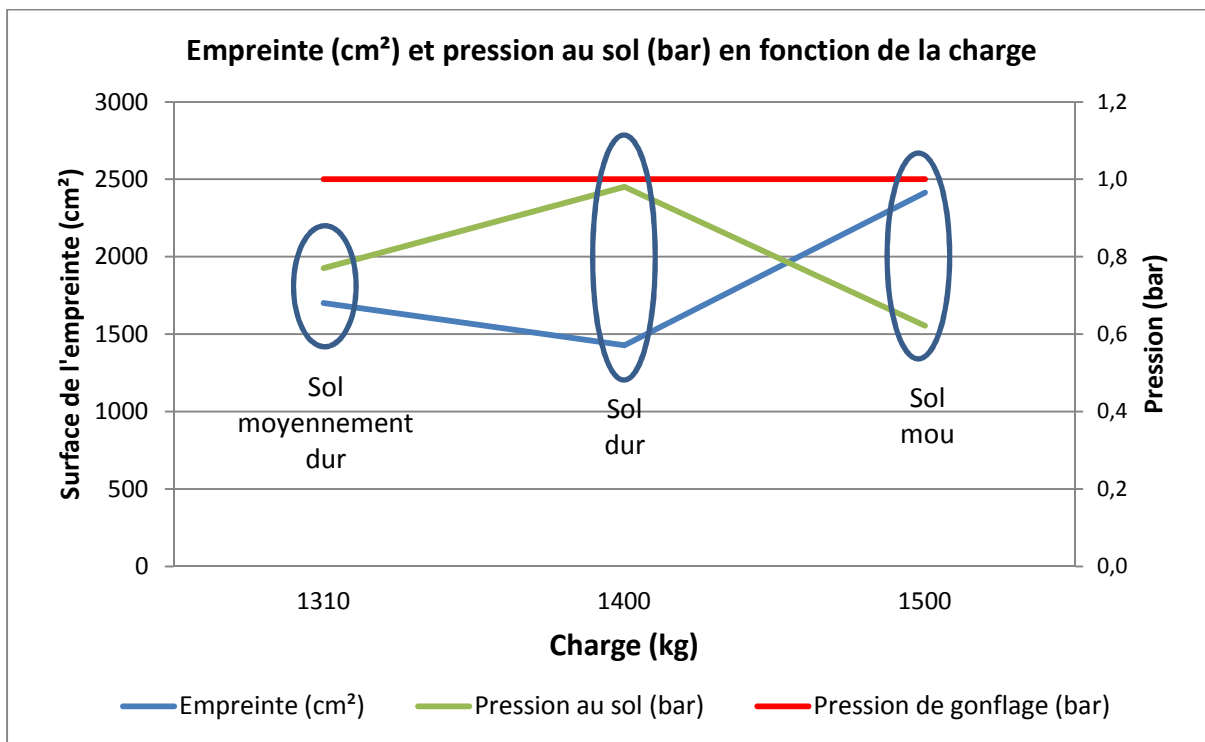


Figure 44 : Courbe de la surface de l’empreinte en fonction de la charge suivant le type de sol



Figure 45 : Same Explorer³ 110 équipé en roues squelettes

L'empreinte mesurée le démontre, les surfaces variant du simple au double lorsque le sol est foisonné. Ci-contre, la figure n°44 représente la surface de l'empreinte (cm²) et la pression au sol lors de ces essais à pression de gonflage constante (1 bar). On voit la corrélation entre la surface, la pression au sol et le degré de compaction du sol.

On retrouve par ailleurs sur sol dur le coefficient de carcasse équivalent ici aussi à 0,1 bar. Néanmoins, il nous est encore impossible de dire si le sol mou représente celui des rizières. Même si c'est certainement le cas dans certains endroits de parcelles, ces dernières sont tellement hétérogènes qu'il faut faire un choix de pneumatiques en fonction des conditions les plus difficiles. En effet, les terres ont souvent un fort taux d'argile et donc ne se déforment pas aussi bien qu'un sol en sable foisonné. On gardera donc à l'avenir ce coefficient de rigidité de carcasse qui est de 0,1 bar, correspondant à la « surpression » au sol.

Par ailleurs, en connaissant ce coefficient, le choix des pneumatiques peut s'effectuer différemment. Nous travaillerons par estimation de la surface maximum que le pneumatique peut avoir au sol grâce au rayon sous charge et au rayon nominal. Puis, en fixant une pression (0,8, 1 ou 1,2 bars) et en tenant compte du coefficient de carcasse, on pourra trouver une charge admissible par le pneumatique à faible vitesse. Nous verrons cette méthode dans le paragraphe suivant.

d. Synthèse technique

Après ces quelques pages d'informations, de calculs et de données sur les pneumatiques, une synthèse s'impose. Celle-ci reprendra tout simplement la méthode pour équiper un outil (tracteur, pulvérisateur trainé ou moissonneuse-batteuse) avec des pneumatiques afin de travailler dans les rizières. Cette partie s'appuiera sur un exemple à la suite de la méthode, présent à chaque fois dans un encadré facilitant ainsi la lecture. Enfin, une fiche de renseignements est disponible en annexe 4 et récapitule les données à connaître pour équiper un tracteur rizicole de pneumatiques.

Un riziculteur possède 230ha de riz. Il est équipé d'un tracteur SAME Explorer³ 110, d'une puissance de 110ch et d'un poids de 4950kg avec son jeu de masses avant (figure n°45 ci-contre). Il possède des terres basses, en dessous du niveau de la mer (-30cm), anciens marais, mis en culture il y a 25 ans. Ce sont des terres réputées difficiles en Camargue, à fort taux d'argile.

- 1) La première nécessité est de connaître le terrain dans lequel évoluera la machine. On utilise donc un pénétromètre pour caractériser le sol et tracer sa courbe de portance.
- 2) On repère la profondeur à laquelle on peut travailler. Celle-ci doit être assez faible pour éviter la résistance au roulement (augmentant la consommation de gasoil). Elle correspond généralement à la profondeur de travail du sol à laquelle on retrouve la formation d'une semelle. C'est sur celle-ci que le pneumatique viendra s'appuyer après traçage des passages de roues à cette même profondeur.

Au verso, sur la figure n°46 est représentée la courbe de résistance du sol du riziculteur. Clairement, il n'y a pas de palier sur lequel on peut venir espérer s'appuyer. Néanmoins, à 8cm, le sol tolère 1,5 bars. On choisira cette référence.

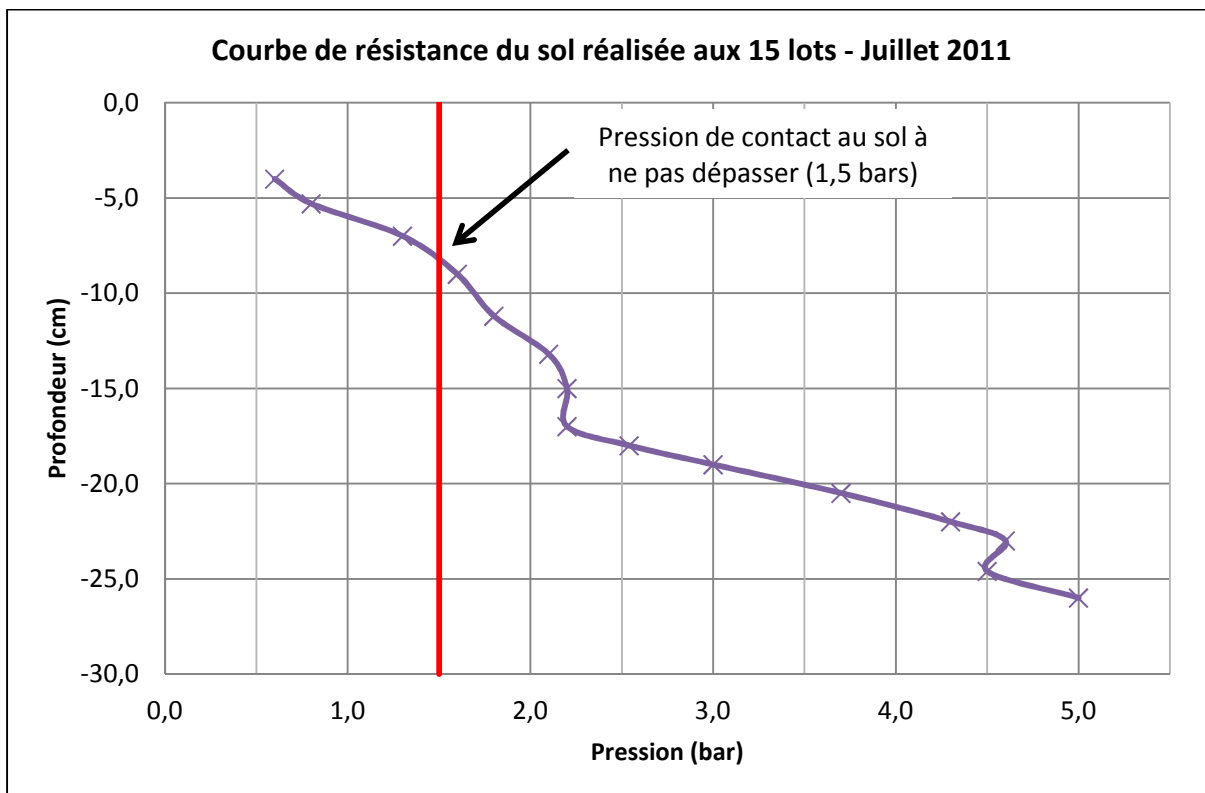


Figure 46 : Courbe de résistance du sol réalisée aux 15 lots

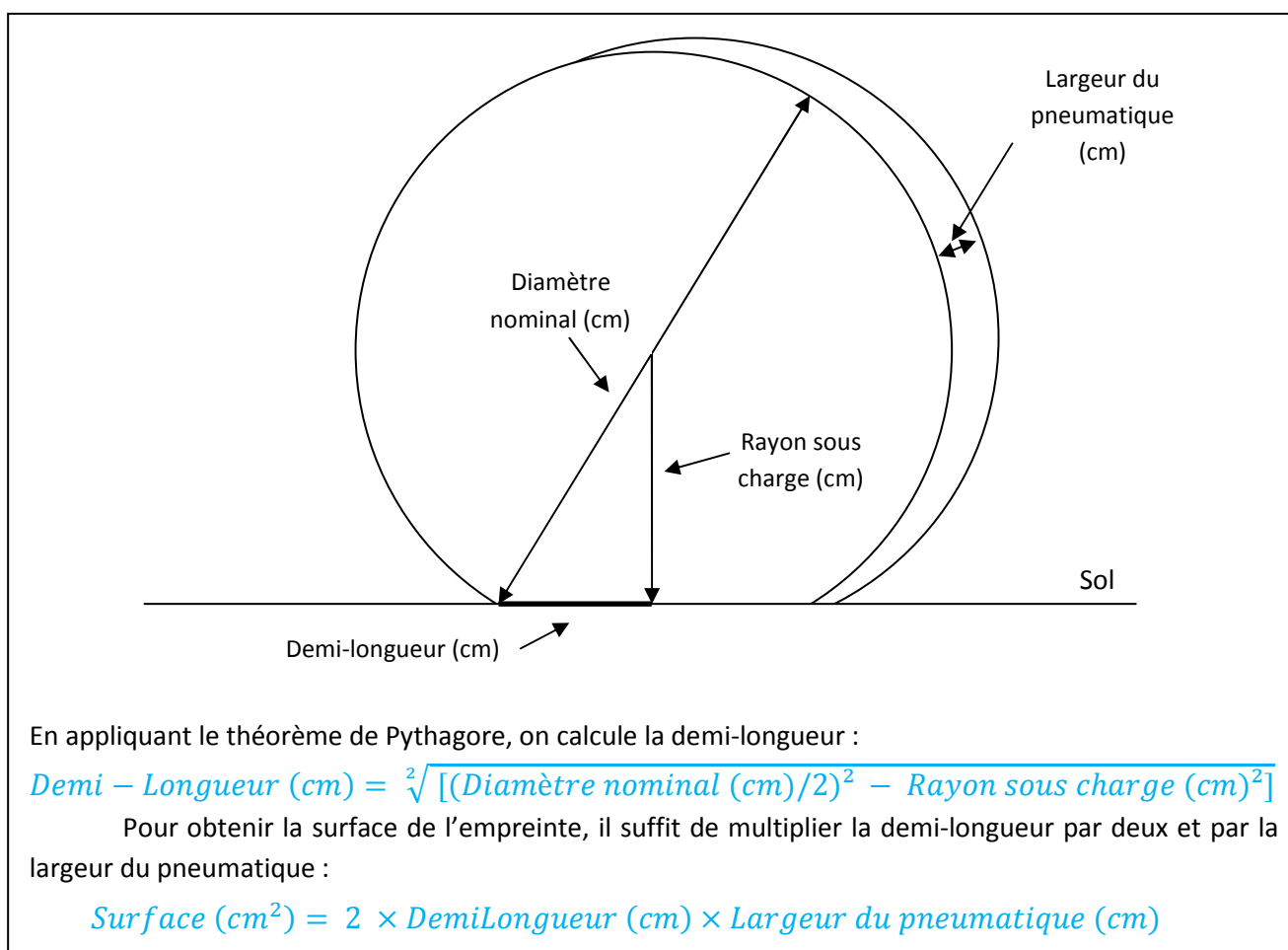


Figure 47 : Méthode de calcul de l'empreinte au sol d'un pneumatique

- 3) Cette profondeur de travail nous donne une pression à ne pas dépasser. On y retranche la pression qu'engendre la rigidité de carcasse du pneumatique, soit 0,1 bar. On obtient donc une valeur maximum à ne pas dépasser au niveau de la pression de gonflage.

On retranche donc la « surpression » engendrée par le pneumatique lui-même. On obtient une pression de gonflage de 1,4 bars maximum. Pour éviter tout défaut, ou zones difficiles dans les parcelles, nous minorerons cette valeur à 1,2 bars de pression de gonflage. Le but est de ne pas s'enliser ou descendre à plus de 10cm de profondeur.

- 4) On effectue la pesée de la machine avec sa plus grosse charge. Par exemple, cuve du pulvérisateur remplie au maximum, charge de semences ou d'engrais la plus élevée en ce qui concerne le tracteur. On en déduit une charge par roue qu'il faut supporter.

Après avoir attelé l'épandeur centrifuge et mis deux sacs d'engrais dans la trémie, le tracteur est à nouveau pesé. 1430kg à l'avant et 4820 à l'arrière. Cela nous fait donc 2410kg par roue arrière.

- 5) C'est ici que l'on peut utiliser la nouvelle méthode de recherche de pneumatiques. Cette méthode consiste à calculer (figure n°47 ci-contre) la surface théorique de contact du pneumatique avec le sol. Sachant que 1 bar équivaut à 1kg par cm², il est facile de calculer la charge admissible par le pneumatique si l'on souhaite travailler à 1 bar de pression au sol. Cela veut dire que la pression de gonflage devra être de 0,9 bar.

Le tableau suivant nous permet de faire une synthèse non exhaustive, de ce qui existe sur le marché en pneumatiques de grands diamètres, de faibles largeurs et ayant un dessin adapté à la rizière (forme et espacement des crampons) :

Marque / Dimensions	Diam. Nominal ¹ (cm)	Rayon sous charge ¹ (cm)	Empreinte au sol maxi (cm ²)	Poids admissible (kg) à pression de contact au sol (bar) de :		
				1	1,2	1,4
Continental 340/85 R48	182	84,3	2330,4	2330	2796	3262
Kléber 270/95 R48	173	81,0	1639,0	1639	1966	2294
Kléber 270/95 R54	191	89,4	1813,5	1813	2176	2538
Kléber 300/95 R52	189	87,9	2081,8	2082	2498	2914
Michelin 320/90 R50	185	86,2	2147,4	2147	2576	3006
Michelin 320/90 R54	195	91,4	2172,5	2172	2607	3041

Tableau 13 : Poids admissible par les pneumatiques du marché actuel

A 1,2 bars, c'est le pneumatique Kléber d'une dimension de 300/95 R52 qui concorde avec la charge à supporter.

¹ D'après les Documentations techniques Michelin – Kléber – Continental 2011

- 6) Après avoir choisi le pneumatique adapté, il faut absolument vérifier l'encombrement sur la machine. Généralement, ce sont les roues arrière des tracteurs qui posent problèmes. Garde boue, support de plaque numérolgique, marche pied, tout peut être un frein à une monte de grand diamètre. Parfois, la porte de la cabine pourra ne pas s'ouvrir.

Le problème de l'encombrement se fait sentir ici. D'une part, les anciennes roues squelettes arrière font 187cm de diamètre. Le pneu, lui, en fait 189 mais cela apparaît suffisant pour ne pas pouvoir ouvrir la porte. En effet, l'espace entre la porte et la roue squelette est de l'ordre du centimètre. De plus, le problème se retrouve au niveau du marchepied. Il faut donc changer de dimensions. Le pneumatique Michelin 320/90 R50 ressort en second choix. La charge admissible est plus élevée et le diamètre inférieur (185cm). Le choix s'arrête sur ce pneumatique.

- 7) Une fois la monte arrière validée, il ne reste plus qu'à trouver des pneumatiques pour l'essieu avant. Pas de problème de poids dans ce cas là. Il faut tenir compte (pour les tracteurs à 4 roues motrices) du rapport mécanique du constructeur. En effet, les roues avant ne tournent pas à la même vitesse que celles arrière du fait d'un diamètre différent. De plus, un pourcentage (coefficient) de prépondérance doit être inclus dans le calcul. Ce pourcentage fait que les roues avant tournent légèrement plus vite que la normale, pour éviter que dans les virages, les efforts mécaniques soient trop importants. En effet, les roues avant parcourent plus de distance dans les virages que les roues arrière.

Pour trouver la monte de pneumatiques avant, il faut utiliser la caractéristique « Circonférence de Roulement » (CdR) donnée par le constructeur dans le manuel technique. Avec la relation suivante, on trouve la circonférence de roulement du pneumatique avant, en appliquant un coefficient de prépondérance entre 0 et 5% :

$$CdR \text{ avant (mm)} = \frac{(\text{Prépondérance (\%)} + 1) \times CdR \text{ arrière (mm)}}{\text{Rapport mécanique}}$$

Le rapport mécanique du tracteur est de 1,315¹. D'après le cahier technique Michelin, la circonférence de roulement du pneumatique 320/90 R50 est de 5615mm. En utilisant la formule, on calcule la fourchette dans laquelle doit se trouver la circonférence de roulement de la roue avant.

Finalement, la valeur doit être comprise entre 4212 et 4423mm. Il faut parcourir les tableaux des manufacturiers pour trouver un pneumatique adapté. Dans ce cas, il apparaît que le pneumatique Kléber 230/95 R40, a une circonférence de roulement de 4395mm. Il n'est pas large et a le même diamètre que les roues squelettes qu'il va remplacer. C'est la monte idéale puisque l'on est sûr de ne pas rencontrer de problème de place.

Le choix du pneumatique avant étant fait, il faut vérifier l'encombrement à l'avant. En effet, les réservoirs à côté du marchepied à gauche du tracteur ou les batteries à droite peuvent constituer des freins à la monte de pneumatiques de grands diamètres. Enfin, il ne reste plus qu'à s'équiper d'un manomètre de précision pour ajuster correctement la pression à la valeur voulue lors des interventions.

¹ Données concession SAME située en Arles (13), confirmée par Euromaster.

En bilan de cette synthèse, on voit que l'équipement d'un tracteur en pneumatiques n'est pas sans contrainte. Sol, poids et place sont les trois principaux facteurs qui décident de la faisabilité de la démarche. Mais, une fois affranchie de ces quelques formalités, la technique a de nombreux avantages qui s'expriment déjà sur près de 1 400 ha de rizières.

e. 2011 : Réflexion sur un chariot porte-outil

Pour palier aux problèmes d'encombrement, c'est-à-dire en montant des pneumatiques de plus petits diamètres, il faut obligatoirement réduire les charges excessives sur les essieux. Deux pistes sont à l'étude :

- Réduire le poids des tracteurs en choisissant un modèle qui pèse moins de 4 tonnes à vide. Il en existe chez tous les constructeurs, comme répertorié en annexe 4,
- Réduire les reports de charge que les outils portés engendrent.

Cette dernière solution passe par la création d'un chariot porte-outil, sur lequel serait attelé un épandeur centrifuge ou un pulvérisateur porté. Doté d'un essieu suiveur et de pneus étroits, cet outil permettrait d'embarquer des charges plus importantes de semences ou d'engrais et donc d'augmenter l'autonomie au champ sans avoir à travailler à des pressions de gonflage limites. Ce chariot conviendra aux exploitations de taille importante et dotées d'outils lourds.

Cette idée est au début de sa concrétisation, un brevet ayant été déposé en Mai 2011. La fabrication est lancée dans les ateliers du CIRAD sous la direction de M. Lannes. Le but est de pouvoir, en 2012, travailler dans les rizières avec cet équipement.

f. Et sur le terrain ?

Pour cette dernière partie de l'étude technique, nous allons simplement nous pencher sur les équipements déjà en place sur les tracteurs et les remarques qui ont pu être faites par les utilisateurs lors de multiples rencontres. Un tableau sera plus clair pour présenter les ensembles et les commentaires.

Tracteur	Pneumatique arrière	Machines attelées	Hectares déployés cultivés	Commentaires
John Deere 6920 S	420/80 R46 gonflé à 1,1 bars	Epandeur Amazone d'une capacité de 2 tonnes	7 200ha en 3 ans (3*800 par an)	1 seul tracteur utilisé depuis le passage en pneumatiques au lieu de deux en roues squelettes.
John Deere 2850	300/95 R52 gonflé à 0,8 bar	Pulvérisateur traîné Tecnomat 2 400 litres – 24m	3 600ha en 5 ans (4*180 par an)	Débit de chantier plus élevé. Réactivité accrue. Demande plus de réflexion de la part du riziculteur.
New Holland TS 110	270/95 R48 gonflé à 1 bar	Pulvérisateur porté Khun 1 200 litres – 21m	1 200ha en 4 ans (5*60 par an)	Plus de facilité et de confort dans le travail.
John Deere 6320	340/85 R48 gonflé à 0,8 bar	Pulvérisateur traîné Amazon 2 400 litres	1 750ha en 1 an (5*350 par an)	Equipement polyvalent, pouvant servir au travail du sol.

Tableau 14 : Equipements pneumatiques sur tracteurs présents en Camargue

En ce qui concerne les moissonneuses batteuses, plusieurs équipements sont en place, mais la technique est plus engagée et mieux acceptée par les possesseurs de machine. En effet, ce sont bien souvent des entrepreneurs qui réfléchissent leur mécanisation pour qu'elle soit performante et peu coûteuse. Les calculs de rentabilité des investissements leurs sont plus familiers.

Ce n'est pas la même chose concernant les tracteurs. Mal vue, mal connue, souvent pointée du doigt pour certains problèmes d'enherbement, la technique ne fait pas l'unanimité. C'est pour cette raison que la dernière partie de ce mémoire s'efforcera de démontrer quel est l'impact économique de l'adoption d'une telle technique. Quels profits peuvent être espérés ? Elle fera aussi un état des lieux du refus des riziculteurs et argumentera en faveur de l'adoption des pneumatiques en riziculture.

IV. MISE AU POINT D'UN ARGUMENTAIRE TECHNICO-ECONOMIQUE

a. Matrice SWOT

Afin de construire l'argumentaire technico-économique en faveur de l'utilisation des pneumatiques en riziculture, une matrice présentant les atouts, lacunes, opportunités et menaces va permettre d'isoler les points à travailler et les idées reçues à chasser.

L'outil SWOT nous permet de synthétiser les informations représentant une force ou un frein à la démocratisation de la technique.

Forces / Atouts	Faiblesses / Lacunes
<ul style="list-style-type: none"> - Politiques environnementales qui se durcissent allant à l'encontre des moyens d'applications des produits phytosanitaires (hélicoptères), - Surfaces augmentent = demande une autre organisation de la MO et de la mécanisation, - Confort de conduite (de travail) amélioré, - Vitesse d'exécution plus élevée, - Moins d'efforts mécaniques sur les tracteurs, - 1400ha déjà cultivés de cette manière, - 7 ans d'expérimentation en plein champ, - Modifications apportées chaque année, - Initiateur de la démarche très engagé, - Article paru dans la France Agricole de début mai 2011 mentionne l'introduction des pneumatiques en riziculture, - Résultats concluants pour ceux qui utilisent les pneumatiques, - Riziculteurs qui pratiquent très ouverts ! 	<ul style="list-style-type: none"> - Individualisme de certains riziculteurs, - Mentalités difficilement modulables, - Glanage d'informations sans volonté de partager et de se faire conseiller, - Façons culturelles bien ancrées qui viennent d'un héritage générationnel, - Vieillesse de la population, - Milieu du riz assez fermé du fait de la taille du territoire, - Propriétaires de fermes souvent éloignés du terrain (investisseurs, financiers) et donc peu sensibles aux solutions techniques, - Rejet de certains clients d'entrepreneurs de la technique sans raison valable, - Mauvaise publicité de riziculteurs qui s'équipent seuls et connaissent un échec, - Idées préconçues qui sont tournées en arguments défavorables aux pneumatiques, - Craintes de la part des riziculteurs de s'enliser.

T.S.V.P =>

Opportunités	Risques / Menaces
<ul style="list-style-type: none"> - Coût de production actuel élevé, - Diminution de la MO disponible, - Mise au point d'une synthèse économique sur l'utilisation des pneumatiques, - Mémoire de fin d'études fait une synthèse des travaux de recherche et avance une économie réalisable, - Disponibilité des réparateurs de matériels agricoles pour obtenir des chiffres, - Démarche innovante et pionnière, - Volonté de certains autres riziculteurs de vouloir tester la technique en 2012. 	<ul style="list-style-type: none"> - Innovation de rupture, - Esthétique des parcelles (traces de pneumatiques + boue) en début de végétation, - Baisse de rendements due à la largeur des pneumatiques, - Fortes mentalités à faire changer, - Responsabilisation du riziculteur : demande plus de réflexions quant aux pratiques culturales, - Faible disponibilité des riziculteurs pour partager leur quotidien, - Les riziculteurs engagés dans la démarche ne réfléchissent pas assez leurs pratiques et donc mettent en défaut l'équipement pneumatique, - Rejet pur et simple, - L'économie réalisable est trouvée faible, - Le responsable trouve que l'équipement demande trop de compétences pour un chauffeur novice.

Le bilan de cette matrice fait ressortir des risques et faiblesses qui peuvent faire de l'ombre à la technique. Les échecs connus par les riziculteurs qui se sont lancés seuls et les fortes mentalités sont les deux freins majeurs à la démocratisation de l'utilisation des pneumatiques. Les solutions ne sont pas nombreuses : laisser agir le temps en suivant les riziculteurs engagés. Cela constituera une vitrine marketing aux yeux de tous et fera germer l'idée de pouvoir un jour, voir la plupart des riziculteurs s'équiper.

Il ne faut pas oublier que la technique peut être adoptée en France, mais aussi dans tous les pays voisins. En effet, il y a 20 000ha de rizières en Camargue, ce qui représente 200 exploitations, mais en Espagne (120 000ha) et en Italie (240 000ha), les marchés sont bien plus conséquents puisqu'il y a par exemple, 5 000 producteurs Italiens. Des chiffres qui ne déplaisent pas aux manufacturiers de pneumatiques.

b. Avantages et inconvénients

Après avoir fait une liste, certainement non exhaustive auprès de tous les riziculteurs, des avantages et inconvénients de chaque équipement (pneumatique et roue squelette en fer) utilisé dans les rizières, nous apporterons des justifications quant aux raisons du refus d'adopter la technique. Mais, il faudra aussi justifier d'où proviennent les atouts déjà suscités comme le confort, la baisse de consommation ou encore, l'économie réalisable par exemple.

Pour cela nous préférons une mise en page sous forme de tableau pour bien mettre en avant chaque point.

Inconvénients	
Roues squelettes	Pneumatiques
<ol style="list-style-type: none"> 1) Montage et démontage des roues pour la saison (fastidieux) 2) Immobilisation d'un tracteur spécifique au travail dans les rizières 3) Confort de conduite précaire 4) Temps de déplacement entre parcelles long (vitesse réduite < 2km/h) 5) Déplacement sur route compliqué : nécessite un porte-engin et l'immobilisation d'un tracteur tireur de forte puissance 6) Nécessité d'avoir une aire de chargement – déchargement en bout de parcelles 7) Efforts mécaniques sur les roulements avant et arrière des roues qui induisent des coûts d'entretien supplémentaires 8) Surconsommation du fait de la puissance requise 9) Enlisements « fréquents » 10) Impossible de repasser dans les mêmes traces à chaque passage sous peine de s'enliser du fait d'une semelle déjà endommagée par le passage précédent. 	<ol style="list-style-type: none"> 1) Demande une meilleure maîtrise de l'eau des parcelles lors des interventions (désherbages) pour éviter de salir le bord des passages de roue du fait de la vague d'eau qui diminue l'efficacité des produits 2) Traçage à sec et roulage nécessaires pour éviter les bourrelets de terre (gênant à la récolte), mais le débit de chantier est de 10ha/h 3) Demande d'opter pour une largeur de travail unique 4) Induit une perte de rendement de 0,4% par rapport au travail en roues squelettes.
Avantages	
Roues squelettes	Pneumatiques
<ol style="list-style-type: none"> 1) Pas d'opération de traçage à sec 2) « Traces » se rebouchent et ne se voient plus lors de la récolte. 	<ol style="list-style-type: none"> 1) Autonomie du tracteur lors des déplacements sur route 2) Déplacement rapide entre parcelles (9km/h) 3) Tracteur qui peut être utilisé pour une autre application (broyage des chemins) 4) Diminution de la consommation 5) Franchissements en zones difficiles plus sûrs 5) Grand confort de conduite. 6) Polyvalence de l'ensemble « Riz – Blé »

Tableau 15 : Avantages et inconvénients des pneumatiques et des roues squelettes

A première vue, aucun doute, les roues squelettes ont plus d'inconvénients que les pneumatiques. Néanmoins, utilisées depuis toujours, il est normal que de changer les pratiques du jour au lendemain se révèle difficile. Le monde agricole est réputé pour se cantonner aux règles enseignées de père en fils.

Aussi, avant d'étayer les idées du tableau précédent, il faut évoquer le facteur esthétique, qui au fil des rencontres réalisées, apparaît important aux yeux des riziculteurs.



Figure 48 : Traces de pneumatiques (gauche) et de roues squelettes (droite) en début de végétation (10 juin 2011)



Figure 49 : Traces de pneumatiques (gauche) et de roues squelettes (droite) en fin de végétation (Septembre 2011)

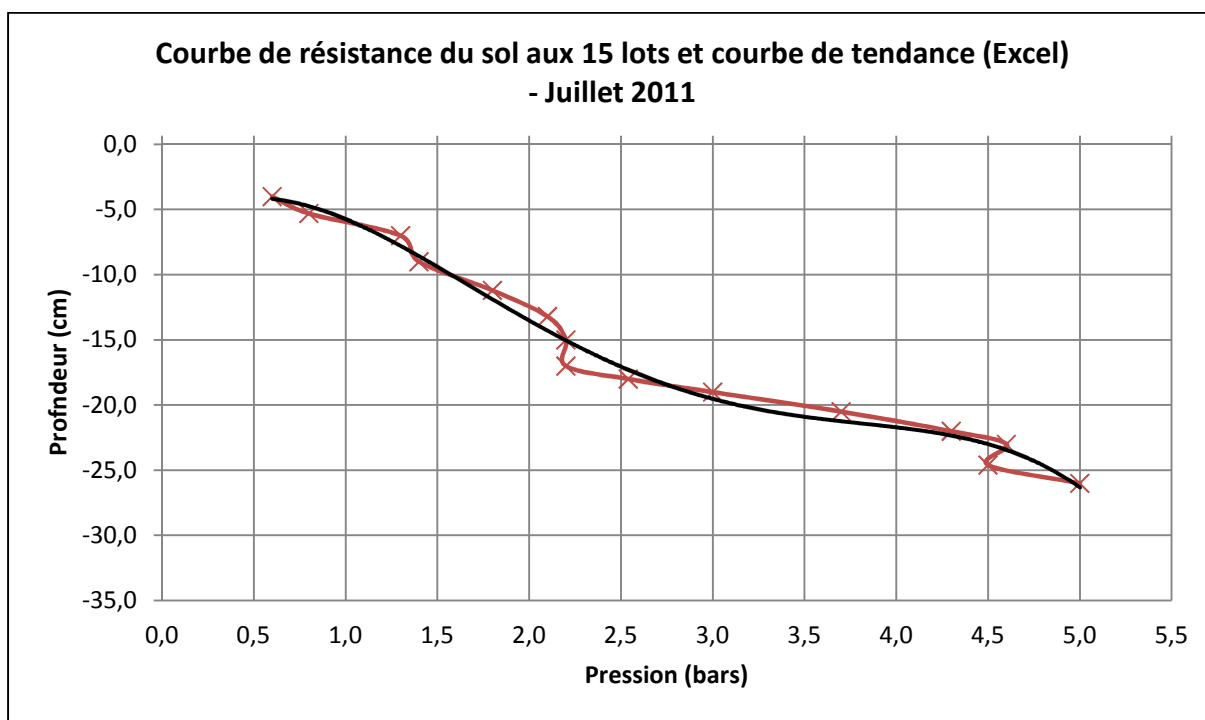


Figure 50 : Courbe de résistance et courbe de tendance (Excel) du sol des 15 lots

En effet, il est pour l'instant difficile de tolérer des passages de roues dans le riz. Pourtant, dans les cultures sèches comme le blé qui est pratiqué en succession du riz, cela ne pose pas de problème. Ci-contre, figures n°48 et 49, on peut voir la comparaison entre les traces laissées par les pneumatiques et celles des roues squelettes en début et en fin de végétation lors de la récolte. Il n'y a pas de différence en fin de végétation du fait que le riz est doté d'une forte capacité de tallage.

D'autre part, lors des premiers herbicides, l'état du riz bordant les traces de roues est impressionnant. Recouvert d'eau boueuse, le riz donne une impression de travail mal fait. Il ne faut tout simplement pas s'attarder sur ce point, puisqu'après quelques jours, le riz retrouve la même couleur que tout le reste du champ grâce à son immersion.

Ce problème peut être corrigé en tombant le niveau d'eau dans la rizière à son maximum. Ainsi, on évite d'avoir trop d'eau dans les passages de roues, concourant d'une part à diminuer cet effet visuel mais aussi, à une meilleure efficacité du produit, la vague créée lors de l'avancement du tracteur ne lavant pas les adventices visées sur lesquelles le produit ne pourrait pas se fixer.

Cependant, suite aux diverses conversations avec M. Testi, riziculteur à Saliers (13), il avoue que même en roues squelettes, si le niveau d'eau n'est pas assez bas, le bord des traces s'enherbe facilement. Tout compte fait, ce n'est pas l'équipement utilisé qui est responsable de ce salissement, mais bien la finesse du riziculteur dans la gestion des niveaux d'eau des parcelles.

Pour en revenir au tableau et aux avantages de l'utilisation des pneumatiques, il est certain que le confort est incomparable. Le fer n'est pas connu pour ses capacités de déformation à température ambiante ni pour son pouvoir d'absorption des vibrations. Chaque caillou sur les chemins est donc ressenti par le chauffeur et, dans la rizière, c'est le travail du sol qui dicte les vibrations perçues dans la cabine. Le pneumatique quant à lui joue l'effet d'un amortisseur, étant gonflé en plus à faible pression, il est d'autant plus élastique.

Du côté de la consommation, les riziculteurs l'ont perçue eux même, mais la demande en puissance étant moins élevée, il est certain qu'après une journée de travail, le réservoir des tracteurs n'est pas aussi vide qu'avec leur ancien équipement. Pour démontrer cette diminution de consommation, il suffit de calculer les forces de roulement que demandent les deux techniques. Multipliées par la vitesse d'avancement, on obtient les puissances nécessaires aux déplacements dans la rizière. Il est facile ensuite de calculer la consommation du tracteur.

Pour cela, il faut repartir de la courbe de résistance de sol (Figure n°50 ci-contre). Celui-ci a une certaine dureté, suivant la profondeur, que l'on peut caractériser par une équation liant la pression à la profondeur.

En reprenant l'exemple du riziculteur pour qui nous avons défini une monte de pneumatique dans la synthèse technique de ce mémoire, nous allons évaluer la force de roulement de l'essieu arrière. Le tableau de la page suivante répertorie la démarche suivie et ses résultats.

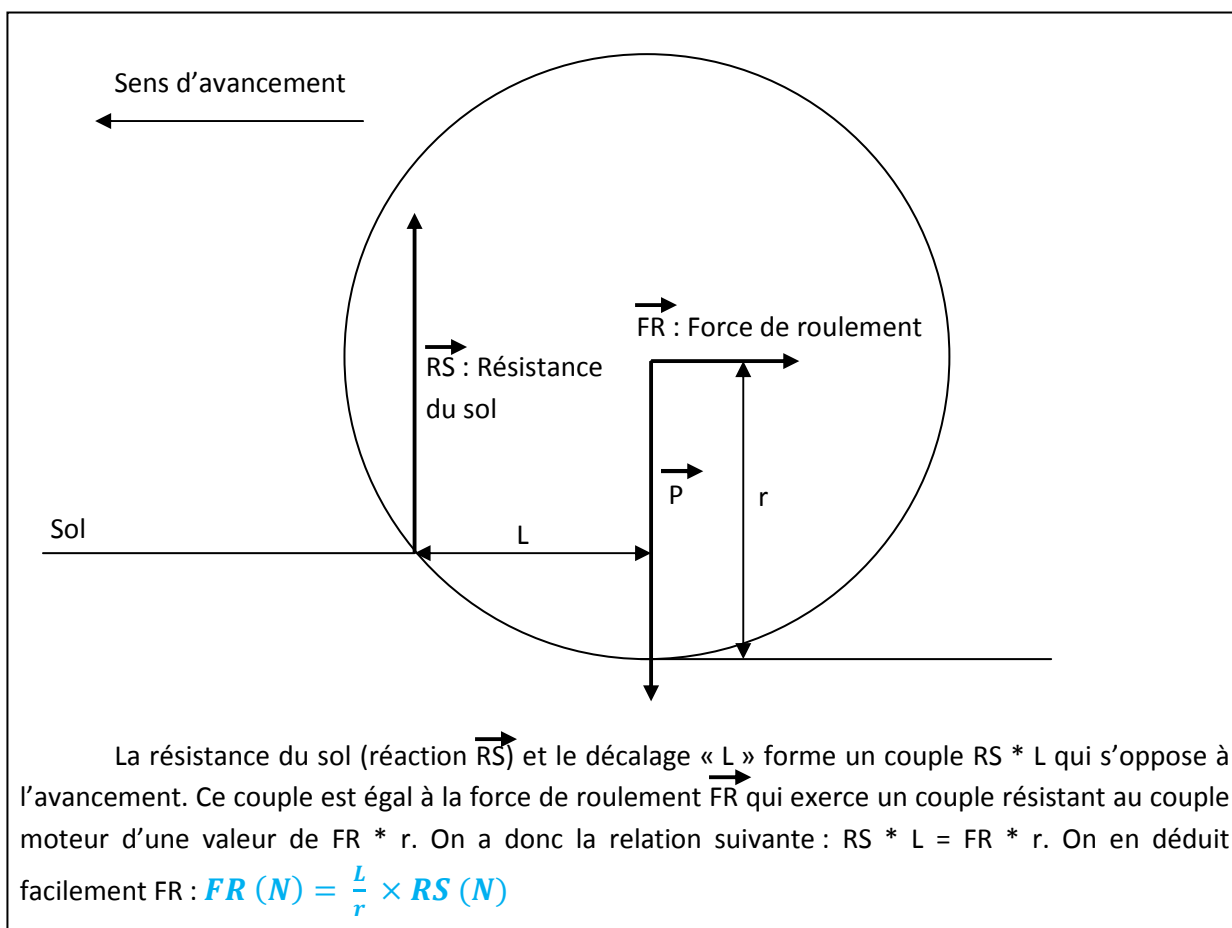


Figure 51 : Représentation schématique de la force de roulement s'exerçant sur une roue

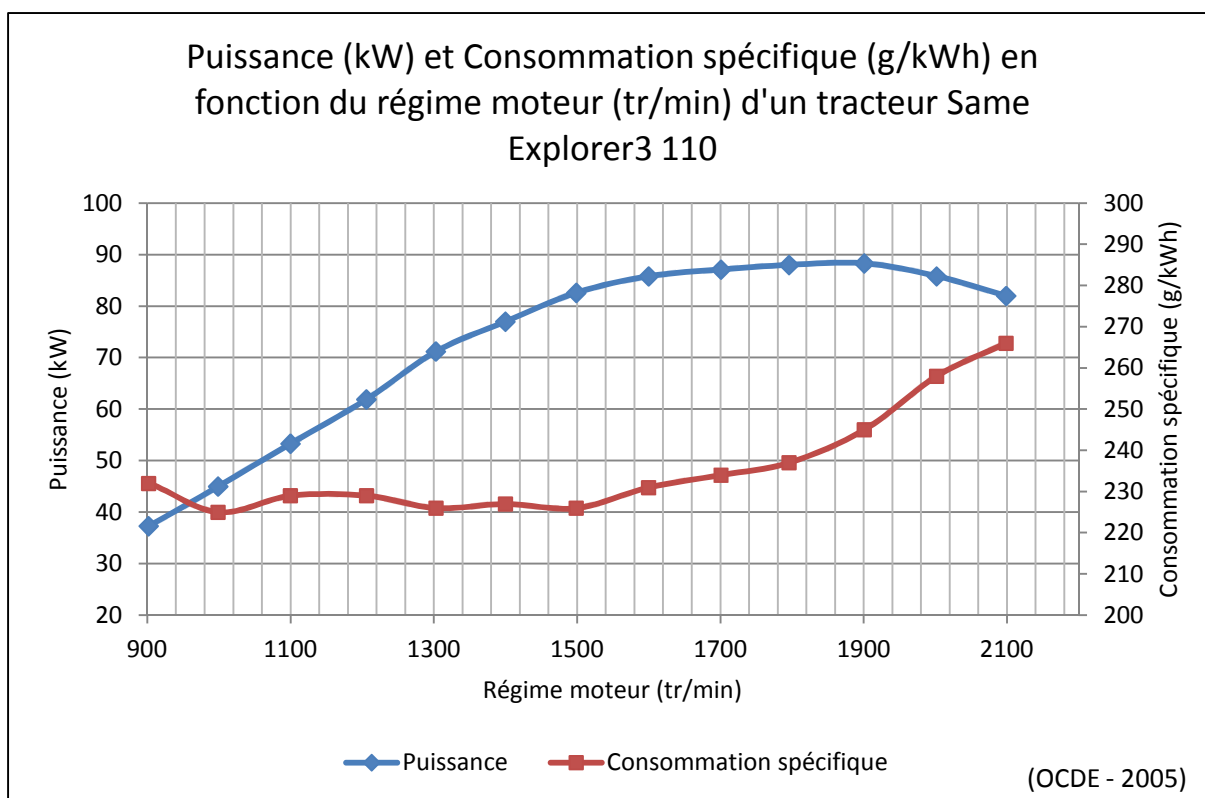


Figure 52 : Courbes moteur caractéristiques d'un tracteur Same Explorer³ 110

Equation de la courbe (d'après Excel)	$y = -0,4087x^4 + 4,5665x^3 - 16,442x^2 + 15,589x - 8,6701$	
Poids sous l'essieu arrière (kg)	4820	
Surface de contact		
	Roues squelettes	Pneumatiques (320/90 R50)
Largeur (cm)	9	32
Longueur (cm)	27 (mesurée)	67 (calculée)
Nombre de roues	4	2
Surface totale (cm ²)	972	4288
Pression au sol (bar) = $\frac{\text{Poids sur l'essieu arrière (kg)}}{\text{Surface (cm}^2\text{)}}$	4,96	1,12
Résistance du sol		
	Roues squelettes	Pneumatiques (320/90 R50)
Intégrale entre 0,6 et ... :	4,96 bars : 70,98	1,12 bars : 2,57
Hauteur de l'ornièrè (cm)	22	5
Résistance moyenne (kg/cm ²) = $\frac{\text{Valeur de l'intégrale}}{\text{Hauteur de l'ornièrè(cm)}}$	3,23	0,51
Force de roulement		
	Roues squelettes	Pneumatiques (320/90 R50)
Résistance totale (kg ou daN) = Rés. Moy. (kg/cm ²) × Surface (cm)	3136	2201
La force de roulement (FR) est obtenue avec la formule suivante ¹ :		
$FR (N) = \frac{L}{r} \times \text{Résistance Totale (N)}$		
Avec L et r, les valeurs représentées sur la figure n°51 ci-contre, dépendant du diamètre de la roue.		
r (cm)	85 (diamètre roue squelettes sans les pointes/2)	86,2 (Rayon statique sous charge)
L (cm)	57,06	40,42
L / r	0,67	0,47
Force de roulement (kg ou daN)	2105	1034
Puissance nécessaire au déplacement des roues arrière et consommation correspondante		
	Roues squelettes	Pneumatiques (320/90 R50)
Vitesse d'avancement (km/h) - Soit en « m/s »	7,00 1,94	7,00 1,94
Puissance (kW) = $\frac{FR (N) \times \text{Vitesse (m/s)}}{1000}$	41	20
Consommation spécifique <u>moyenne</u> (g/kWh) (Figure n°52 ci contre)	236	236
Consommation horaire (l/h) = $\frac{\text{Puissance (kW)} \times \text{Conso.Spéc. (g/kWh)}}{\text{Masse Volumique du gasoil (g/l)}^2}$	11,6	5,7

Tableau 16 : Démarche et résultats de l'évaluation de la consommation de gasoil
¹ Confirmée par Cours « Liaison Tracteur – Outil », Guarin C. – Vesoul (2011)

² Selon Norme AFNOR NF EN 590 : 830 g/l

Avant de conclure sur ses résultats, il faut bien tenir compte que ces puissances et consommations sont calculées uniquement pour le déplacement des roues arrière dans la rizière. Evaluer ces valeurs pour le tracteur entier (deux essieux), par calcul, se révèle difficile et ne collerait pas à la réalité du fait que les roues arrière repassent dans les traces créées par les roues avant. Aussi, pour les pneumatiques, il ne faut pas oublier que l'opération de traçage permet au final de ne pas avoir de terre dans la bande de roulement.

Mais les résultats obtenus sont flagrants. La consommation est ici divisée par 2. Si le débit de chantier est compris entre 5 et 10ha/h, on peut espérer une économie de carburant de 1l/ha en moyenne. Ceci ne paraît pas énorme, mais sur 150ha (pour rappel : surface moyenne de riz par exploitation) en effectuant 6 passages (faux semis, semis, 2 traitements herbicides et 2 apports d'engrais) avec du gasoil à 0,7€/l¹, on arrive à une économie de 630€ par an en moyenne, uniquement en carburant.

Ces premières estimations des coûts de mécanisation nous poussent à raisonner davantage sur la totalité des coûts de production liés aux agroéquipements. Ceci montrera l'envergure des économies réalisables en choisissant l'utilisation de pneumatiques. Aussi, cela constituera un argumentaire plus structuré en réponse aux critiques qui peuvent être apportées à cette nouvelle technique de culture.

Mais pour estimer les coûts de chantier en rizière en passant par la méthode de calcul du BCMA (Annexe 3), il faut au préalable recueillir des données économiques car, par exemple, l'achat d'un porte-engin pour transporter le tracteur équipé de roues squelettes est généralement fait d'occasion.

c. Collecte de données auprès des acteurs de la riziculture

Dans cette partie, nous détaillerons les prix des différents équipements spécifiques. Pour avoir des références quant à l'équipement utilisé, nous prendrons en référence toujours le même tracteur (SAME Explorer³ 110), pris en exemple dans ce mémoire. Le tableau suivant répertorie les données.

Equipements	Prix (€ HT)	Source
Roues squelettes	5 800€	Apim Métal – Saint Gilles (30)
Roues pneumatiques		
- 320/90 R50	6 300€	Euromaster – Arles (13)
- 230/95 R40		
Travaux spécifiques aux roues squelettes :		
- Montage	4 heures à 2 personnes	M. Gay / M. Santucci
- Roulements tracteurs	1000€ par an	Facture en annexe 5
- Démontage	4 heures à 2 personnes	M. Gay / M. Santucci
Achat d'un porte-engin	15 000€	M. Giraud / Agriaffaires.com
Traceur de passages de roues	3000€	M. Lannes / CIRAD

Tableau 17 : Données économiques des équipements spécifiques à la riziculture

Il a fallu aussi connaître les débits de chantier, temps de chargement, d'arrimage et de déchargement des tracteurs équipés de roues squelettes. C'est donc sur le terrain, dans et au bord des rizières que des relevés de temps ont été effectués lors des travaux et rapportés dans le tableau ci-après. Une précision quant à ces valeurs : le tracteur du Mas de la Furane est équipé de pneumatiques et celui de M. Testi de roues squelettes.

¹ D'après « Barème des coûts prévisionnels indicatifs 2011 » édité par le BCMA

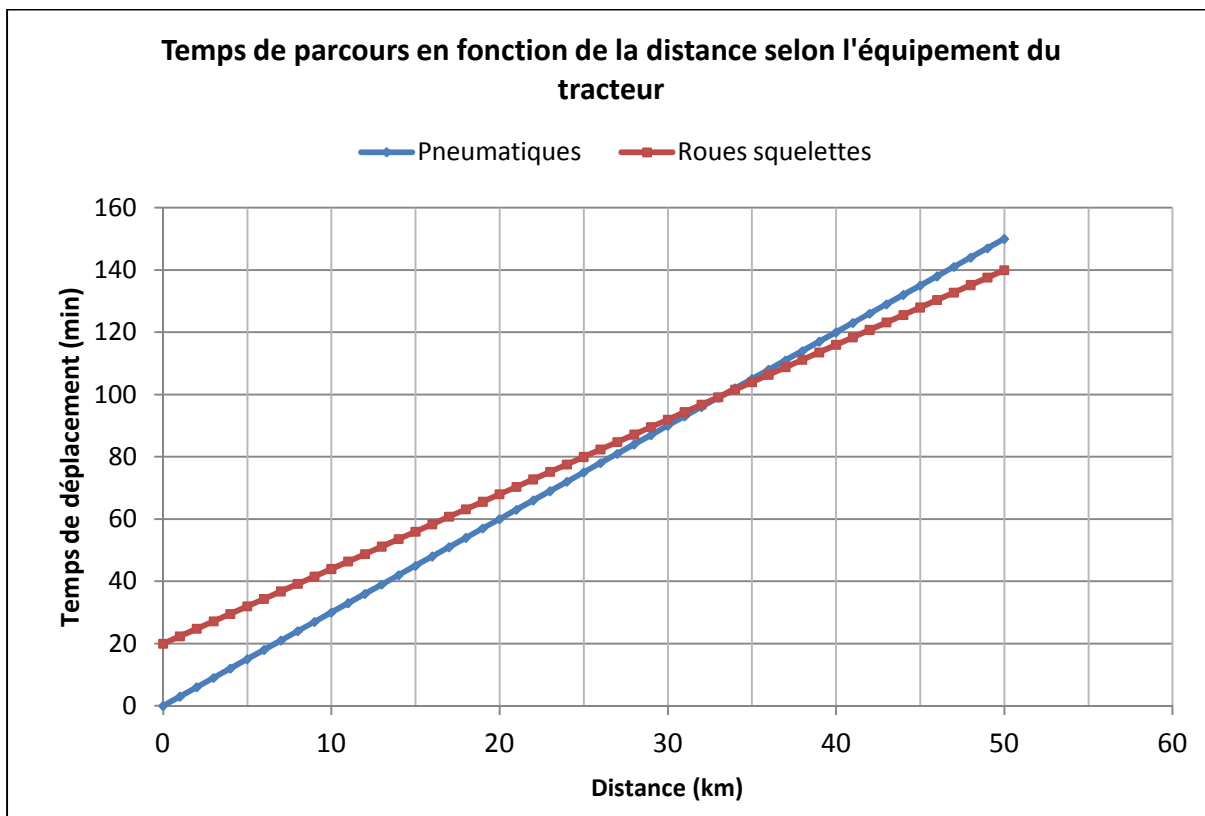


Figure 53 : Comparaison des temps de parcours selon l'équipement du tracteur utilisé en rizière

Interventions	Temps (min) / Surface (ha)	Débit de chantier (ha/h) / Pertes (%)
Apport d'engrais – Mas de la Furane 24m de large / 8km/h	- Parcelle : 13,05 / 3,78 - Total : 300 / 60	- Parcelle : 17,38 / 9,48 - Total : 12 / 37,5
Apport d'engrais – M. Testi 16m de large / 8km/h	- Parcelle : 13,05 / 2,5 - Total : 300 / 38	- Parcelle : 11,49 / 10,2 - Total : 7,6 / 40,6
Herbicides – Mas de la Furane 24m de large / 8km/h	- Parcelle : 17,56 / 5,06 - Total : 720 / 99	- Parcelle : 17,29 / 9,95 - Total : 8,25 / 57
Herbicides – M. Testi 16m de large / 8km/h	- Parcelle : 12,7 / 2,34 - Total : 500 / 38	- Parcelle : 11,06 / 13,63 - Total : 4,56 / 64,38
Chargement – Mas de Beaujeu	7min	
Arrimage – Mas de Beaujeu	6min	
Déchargement – Mas de Beaujeu	7min	
Transport – Mas Blanc	20min pour le chargement, déchargement et arrimage	

Tableau 18 : Relevés de temps lors des interventions au champ et du transport

Les valeurs qui nous intéressent pour la suite des calculs sont les pourcentages de pertes, soulignés, graissés et en rouge dans le tableau. Nous retiendrons donc les valeurs suivantes pour les pertes de temps :

- En pneumatiques
 - o Travail à l'épandeur centrifuge (engrais / semis) : 35%
 - o Travail de pulvérisation : 55%
- En roues squelettes
 - o Travail à l'épandeur centrifuge (engrais / semis) : 40%
 - o Travail de pulvérisation : 65%

Ces chiffres tiennent compte de toutes les tâches à effectuer lors des travaux : attelage de la machine, réglage, entretien, chargement (engrais et semences), déplacement entre parcelles et sur route. Au champ, nous prendrons 10% de pertes de temps, correspondant au temps de manœuvre et de demi-tour dans les rizières, quelque soit l'équipement du tracteur puisqu'il évolue à la même vitesse ayant ou non des pneumatiques. C'est uniquement le chauffeur qui souffre des vibrations rencontrées en roues squelettes. Le temps de travail passé en plus en roues squelettes sera affecté aux heures de main d'œuvre et de traction.

Au niveau du transport, en considérant qu'il faut 20min pour charger, arrimer et décharger¹ et que la vitesse de déplacement est de 25km/h sur route, on peut faire une comparaison avec un équipement pneumatique. Ce dernier, du fait des faibles pressions de gonflage ne se déplace pas au dessus de 20km/h. Ci-contre (figure n°53), sont représentées deux courbes qui montrent les temps de parcours des deux moyens de déplacement. On voit clairement, que même au delà de 30km de distance, le déplacement est plus rapide en pneumatiques.

¹ D'après entretien avec M. Gay le 22 juin 2011, Riziculteur à Fourques (30)

d. Comparaison économique des coûts de mécanisation lors des interventions en eau

Nous allons pouvoir estimer les différences qui existent entre les coûts des travaux fait en utilisant les roues squelettes et les pneumatiques. De la même façon, nous utiliserons la méthode de calcul du BCMA (décrite en annexe 3) en prenant les données suivantes pour les machines et autres facteurs intervenant dans la méthode :

Heure de main d'œuvre	17€		SAU de l'exploitation	200ha		
Surface rizicole	150ha		Autre culture	50ha		
Nombre de sites	3		Distance entre sites	5km		
Coût du carburant (€/l)	0,7					
	Valeur d'achat (€)	Taux d'amort.	Durée d'amort.	Taux d'intérêts	Puissance (ch)	Heures ou hectare par an
Tracteur en roues squelettes (140ch)	68 000	15%	15 ans	4%	140 Charge moteur : 70%	400h
Roues squelettes	5 800	Durée de vie : 10 ans		1,5 heure d'entretien par an		
Tracteur en pneumatiques (80ch)	40 000	10%	20 ans	4%	80 Charge moteur : 50%	400h
Pneumatiques	6 300	Durée de vie : 10 ans				
Epandeur centrifuge - 21m / 8 km/h	8 000	20%	7000ha soit 8,75 ans	4%	/	800ha (15,1ha/h) ¹
Pulvérisateur trainé - 21m / 7km/h	40 000	20%	5000ha soit 10 ans	4%	/	500ha (13,2ha/h) ¹
Porte-engin	15 000	5%	15 ans	4%	160	7,2h
Traceur 8 km/h	3 000	5%	15 ans	4%	/	14,9h

Tableau 19 : Données nécessaires aux estimations de coûts de mécanisation

Pour évaluer le temps d'utilisation du porte-engin, il faut utiliser la relation suivante :

$$\text{Temps d'utilisation}(h) = \frac{6 \times \text{Nombre de lots} \times 2 \times \text{Distance entre sites (km)}}{\text{Vitesse d'avancement}(km/h)}$$

Avec la vitesse d'avancement égale à 25km/h et le coefficient « 6 » correspondant au nombre d'interventions dans le riz (faux semis, semis, 2 traitements herbicides et 2 apports d'engrais).

La distance entre sites est multipliée par deux pour tenir compte du retour de l'ensemble. Enfin, c'est un tracteur de 160ch qui tractera le porte-engin. Son coût équivaldra à 0,20€/ch/h suivant le barème des coûts prévisionnels indicatifs du BCMA.

Enfin, les deux tracteurs évoluant dans l'eau n'ont pas la même puissance. Ce choix de tracteurs est fait pour tenir compte de la diminution du besoin en puissance qu'induit le travail en pneumatiques.

¹ D'après Tableau n°21

Le tableau suivant présente les résultats des calculs n'incluant pas le coût de la main d'œuvre :

	Tracteur en roues squelettes	Tracteur en pneumatiques	Epandeur centrifuge	Pulvérisateur trainé	Porte-engin	Traceur
Charges fixes (CF) en €/an						
Amortissement	4 137,3	1 756,8	784,5	3 570,5	536,7	107,3
Intérêts financiers	1 478,8	897,3	182,7	885,9	439	87,8
Assurance	680	400	80	400	150	30
Roues / Pneus	610	630	/	/	/	/
Entretien spécifique	1 000	/	/	/	/	/
TOTAL CF (€/an)	7 906,1	3 684,1	1 047,2	4 856,4	1 125,7	225,1
TOTAL CF (€/h)	19,8	9,2	19,8	128,5	156,3	1,5
Charges variables (CV) en €/h						
Carburant	15,1	6,2	/	/	Tracteur :	/
Lubrifiant	1,5	0,6	/	/	32	/
Entretien	6,8	4,0	0,8	4,0	2	0,3
TOTAL CV (€/h)	23,4	10,8	0,8	4,0	34	0,3
TOTAL CF + CV (€/h)	<u>43,2</u>	<u>20,0</u>	<u>20,6</u>	<u>132,5</u>	<u>190,3</u>	<u>1,8</u>

Tableau 20 : Coût d'utilisation des équipements utilisés en riziculture

Ce sont les chiffres de la dernière ligne qui sont à retenir et qui entreront dans le calcul final des coûts de chantier. Il ne manque plus qu'à définir les temps de travaux à l'hectare avant de dresser un tableau récapitulatif. Pour établir les débits de chantier, il faut utiliser la relation suivante :

$$\text{Débit de chantier (ha/h)} = \frac{\text{Vitesse d'avancement (km/h)} \times \text{Largeur de travail (m)}}{10} \times (1 - \text{Pertes (\%)})$$

Le tableau n°21 fait la synthèse des temps de chantier par machine suivant le type d'équipements du tracteur :

		Epandeur centrifuge	Pulvérisateur	Traceur
Largeur de travail (m)		21	21	21
Vitesse d'avancement (km/h)		8	7	8
Pertes de temps (%)				
Pneumatiques	Au champ	10	10	/
	Total	35	55	40
Roues squelettes	Au champ	10	10	/
	Total	40	65	/

T.S.V.P ==>

		Epandeur centrifuge	Pulvérisateur	Traceur
Débit de chantier réel (ha/h)				
Pneumatiques	Au champ	15,1	13,2	/
	Total	10,9	6,6	10,1
Roues squelettes	Au champ	15,1	13,2	/
	Total	10,1	5,1	/
Durée de chantier (h) totale				
Pneumatiques		41,2	56,7	14,9
Roues squelettes		44,6	72,9	/

Tableau 21 : Débit et temps de chantier des machines utilisées en riziculture suivant l'équipement du tracteur

Les durées de chantiers ne seront utilisées que pour calculer les coûts de main d'œuvre et de traction de chaque technique. Le coût des machines est, quant à lui, basé sur les heures d'utilisation réelles au champ. Lors du déplacement entre parcelles, par exemple, l'épandeur centrifuge n'a pas de coût de fonctionnement.

Nous disposons à présent de tous les éléments nécessaires pour dresser un tableau récapitulatif des coûts et évaluer le pourcentage d'économie réalisable en adoptant la technique de culture sur pneumatiques.

	Roues squelettes			Pneumatiques		
	Coût à l'heure (€/h)	Durée du chantier (h)	Coût à l'hectare (€/ha)	Coût à l'heure (€/h)	Durée du chantier (h)	Coût à l'hectare (€/ha)
Montage roues	17,0	8	0,91	/	/	/
Traçage + roulage	/	/	/	1,8	14,9	0,18
Faux semis	132,5	14,6	5,0	132,5	11,3	5,0
Semis	20,6	14,9	1,4	20,6	13,7	1,4
Trait. herbicide 1	132,5	29,2	10,0	132,5	22,7	10,0
Trait. herbicide 2	132,5	29,2	10,0	132,5	22,7	10,0
Engrais 1	20,6	14,9	1,4	20,6	13,7	1,4
Engrais 2	20,6	14,9	1,4	20,6	13,7	1,4
Démontage roues	17,0	8	0,91	/	/	/
Transport	190,3	7,2	9,1	/	/	/
MO transport	17,0	7,2	0,82	/	/	/
Tracteur	43,2	117,5	33,8	20,0	112,8	15,0
MO tracteur	17,0	117,5	13,3	17,0	112,8	12,8
TOTAL	Avec transport (€/ha)		88,0	TOTAL		57,1
	Sans transport (€/ha)		78,1			
Economie réalisable						
		%	€/ha	TOTAL (€/an)		
	Avec transport	35	30,9	4 638,1		
	Sans transport	27	21,0	3 145,2		

Tableau 22 : Tableau récapitulatif des coûts et économies de mécanisation en riziculture

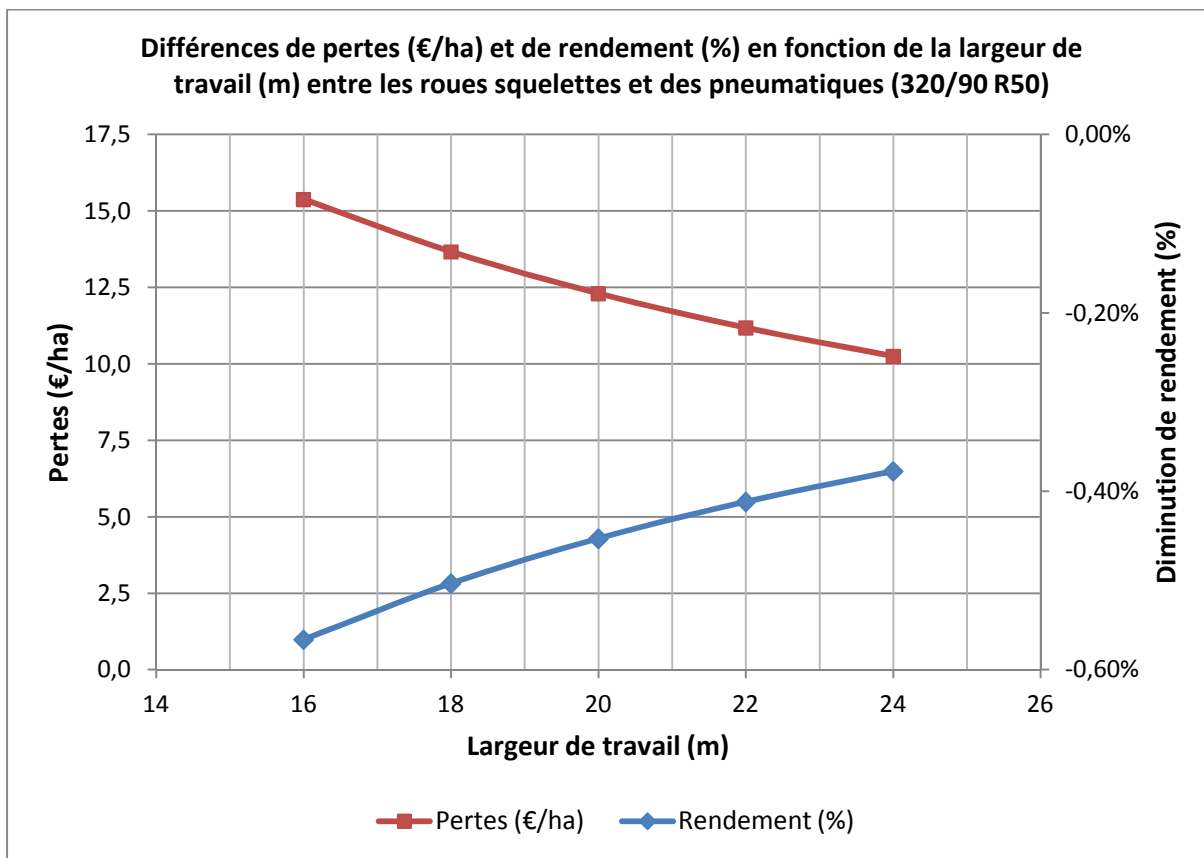


Figure 54 : Influence des pneumatiques sur le rendement et les pertes à l’hectare par rapport aux roues squelettes



Figure 55 : Illustration de la surdensité au niveau des passages des pneumatiques

Les pourcentages d'économie prennent en compte, s'il y a lieu, l'utilisation d'un porte-engin. En effet, on peut imaginer que le riziculteur possède toutes ses parcelles autour de son exploitation. Dans ce cas, il pourra réaliser une économie de 27% minimum, car sur 150ha, les déplacements entre parcelles vont être beaucoup plus long en roues squelettes qu'en pneumatiques.

De plus, on constate que la différence de coût entre les deux techniques est de presque 3 200€, ce qui permet un retour sur investissement dans les pneumatiques de 2 ans.

Enfin, si le riziculteur a la nécessité de se déplacer sur route en utilisant un porte-engin, l'économie atteint plus de 4 600€, ce qui est presque le prix d'un équipement pneumatique. En partant de ce constat, on peut dire que même si un riziculteur possède des roues squelettes, il peut les changer au profit des pneumatiques sans forcément attendre qu'elles soient usées.

En menant la même démarche pour des surfaces plus importantes, les économies seront d'autant plus grandes. Par exemple, pour 250ha de riz découpés en six îlots situés à six kilomètres autour de l'exploitation, l'économie atteint 6 700€ par an. Il n'est pas possible d'annoncer une économie réalisable en fonction de la surface car les équipements, tout comme le parcellaire, diffèrent énormément d'une exploitation à l'autre. Une étude au cas par cas est alors nécessaire.

Une question reste cependant en suspend, celle de la perte de rendement que peut induire l'utilisation des pneumatiques. En effet, remarque souvent faite par les riziculteurs, le riz ne pousse pas dans les traces de roues. Il n'y a donc pas de pied de riz sur cette bande de roulement, mais le riz la bordant, en tallant, recouvre cet espace. Deux années de mesures (2010 et 2011) ont permis d'évaluer la perte de rendement due à ces passages de roues. Ci-contre, on retrouve un graphique (figure n° 54) qui présente la différence de rendement (%) et la perte économique (€/ha) en fonction de la largeur de travail (m) entre les deux équipements. Le prix de la tonne de riz retenu pour les calculs est celui de l'année 2010, soit 300€/tonne.

On voit donc que l'équipement pneumatique engendre une perte de 10€/ha pour une largeur de travail de 24m. Mais, lors des mesures réalisées en 2011, des résultats inattendus ont été observés. En effet, dans certaines parcelles, le riz était plus dense au niveau des passages de roues qu'au milieu du champ. Un « effet bordure » s'est fortement exprimé, engendrant même des rendements supérieurs au niveau des passages de roues (figure n°55 ci-contre). Ces valeurs n'ont pas été retenues dans les calculs finaux, mais un suivi sur plusieurs années serait très instructif. Pour en revenir à ces 10€/ha en moins, il faut les comparer avec les 30€/ha d'économie réalisable. Au final, les pneumatiques sont plus rentables.

Aussi, un point majeur est à aborder. Il s'agit des enlacements de tracteurs équipés en roues squelettes. En effet, lorsque ceux-ci sont dans de mauvaises postures, les engins employés (pelles mécaniques) pour extraire les tracteurs endommagent fortement le riz. Aucun chiffre sur ces pertes n'est connu car personne ne se vante d'avoir détruit la culture.

Il ne faut pas oublier non plus les autres avantages de la technique, que nous allons résumer dans la prochaine partie sous forme d'un argumentaire en faveur de l'adoption des pneumatiques.

e. Argumentaire technico-économique

Problèmes de place, de confort, de casses mécaniques, de disponibilités, de temps ou même peur de s'enliser à chaque intervention en eau, une solution technique, alternative aux roues squelettes, bénéficiant de 10 ans de recherche, est disponible. Avec le montage de pneumatiques étroits gonflés à faible pression, toutes ces contraintes de travail disparaissent.

De plus, le sol est préservé et la consommation des tracteurs divisée par deux. Les traces de roues dans les champs ne doivent pas être rédhibitoires, preuve en est que dans les cultures sèchent (blé), elles sont acceptées. Induisant un gain économique d'environ 20€/ha, qui s'expliquent par la diminution des coûts de mécanisation et de main d'œuvre, les pneumatiques permettent d'être plus réactif lors des interventions, mettant de côté l'emploi d'un tracteur de forte puissance attelé à un porte-engin pour les déplacements sur route. Entre parcelles, le pneumatique joue le rôle d'amortisseur, permettant des vitesses de déplacement de 10km/h.

Plus rapide, plus confortable, moins fatiguant et bénéfique pour la santé, les pneumatiques requièrent cependant plus de finesse dans la gestion des niveaux d'eau pour effectuer les traitements herbicides. Mais ces derniers seront possibles par voie terrestre, faisant de la menace de la fin de l'utilisation des moyens aériens une pression en moins. Cette dernière sera par contre à surveiller minutieusement dans les pneumatiques avec l'achat d'un manomètre de précision.

f. Discussions

Ce retour sur les dix années d'essais et d'expériences constitue une solide base d'informations pour l'appui et la transmission des techniques à appliquer pour l'utilisation des pneumatiques en riziculture. Certains points méritent encore d'être améliorés, à commencer par la connaissance de la force exacte nécessaire au déplacement du tracteur dans une rizière. L'idée est venue trop tard d'utiliser un dynamomètre pour tirer celui-ci et ainsi avoir une valeur plus précise de cette force.

Aussi, et nous l'avons évoqué, la maîtrise de l'eau est essentielle à tous les stades du riz et aux interventions au champ. Du semis à la récolte, il faut être capable d'amener et de retirer l'eau le plus rapidement et efficacement possible. C'est donc sur le réseau d'irrigation qu'il faut travailler durant l'hiver afin de le rendre performant. D'autres facteurs interviennent dans les niveaux d'eau, en premier lieu, la climatologie. Si de fortes pluies s'abattent à la récolte, le terrain ne sera jamais ressuyé selon les souhaits du riziculteur. Des pneumatiques larges pourront, de ce fait, créer des ornières assez profondes et larges rendant aussi difficile la reprise des terres.

Tout ceci nous amène à dire que la riziculture est un vrai défi au quotidien. Il ne faut en aucun cas forcer les exploitants à vouloir s'équiper de pneumatiques, mais être à leur écoute et les informer qu'une technique alternative aux roues squelettes est au point. A eux de se faire une idée et aux instituts techniques d'être là pour les conseiller et les aider dans leur démarche. Il est aussi dommage que les manufacturiers ne jouent pas le jeu de travailler en binôme. Vendre des équipements non adaptés peut être un frein à la démocratisation de la technique. Celle-ci devrait être placée avant le côté financier, même si le marché européen est évalué à plus de 7000 riziculteurs.

Conclusion

Le riz est une culture existentielle. Cette plante fait vivre la moitié de l'humanité chaque jour, en nourrissant 3 milliards d'asiatiques. Bien que cette graine ait des exigences climatiques assez contraignantes, on peut la cultiver aux quatre coins du monde et, surtout, dans les pays africains qui sont dans des situations difficiles.

Bien que la majorité des pays produisent du riz pour leur autoconsommation, il existe un marché qui représente 5% de la production mondiale. L'Europe joue un rôle majeur dans ce marché avec l'Italie et l'Espagne en premier lieu. Mais la France n'est pas en reste avec les terres guyanaises et camarguaises. Dans cette région de la métropole, on cultive le riz depuis plus de 150 ans. La mécanisation a fait son apparition à la fin des années 60, apportant avec elle les roues squelettes en fer pour s'affranchir des problèmes d'adhérence et de portance rencontrés dans les rizières.

Mais, au fil des années, les exploitations ont grandi, faisant passer leur taille de quelques hectares à plus de 1000 parfois. Pour effectuer les interventions culturales, les riziculteurs se sont équipés de matériels plus performants. Puissants, guidés par GPS, les tracteurs sont aussi devenus plus lourds trouvant les limites des roues squelettes. Enlèvements multiples, déplacements sur route fastidieux et très inconfortables entre parcelles, elles sont devenues une charge de travail pour les exploitants agricoles.

Les travaux de M. Lannes sur l'utilisation des pneumatiques en riziculture dégagent une alternative intéressante aux roues squelettes. Pneumatiques étroits gonflés à faible pression, ce nouvel équipement trouve bien des intérêts : diminution de la puissance requise et donc de la consommation, rapidité d'intervention, autonomie dans les déplacements, confort incomparable... la liste est longue.

Mais, le changement des pratiques culturales ne se fait pas en quelques années. C'est ainsi que cet argumentaire va permettre la promotion de la technique. Cependant, la démocratisation de l'utilisation des pneumatiques en riziculture passe par l'accompagnement des riziculteurs pour leur éviter de rencontrer les problèmes actuels. C'est donc un point essentiel à ne pas laisser de côté.

A noter que des évolutions sont encore possibles, comme par exemple l'utilisation d'un télégonflage, permettant de faire varier la pression des pneumatiques en continu. L'intérêt majeur serait de pouvoir se déplacer plus vite entre parcelles et sur routes. L'utilisation du chariot porte-outil est aussi une voie possible pour augmenter le rendement horaire des ensembles en embarquant des charges plus importantes.

Tout ceci entre dans une démarche globale. Il faut intégrer une opération en plus : le traçage à sec des passages de roues. Il faut aussi choisir une largeur de travail unique. Ce sont ces deux points, qui ajoutés à une bonne maîtrise de l'eau (compétence principale du riziculteur), peuvent être un frein à certaines mentalités.

Il ne faut pas oublier que des économies sont possibles, 20€/ha, mais surtout que tout le carburant non brûlé, soit 15l/ha, engendrerait un rejet de CO₂ de 780 tonnes par an en moins sur les 20 000ha de rizières camarguaises. La technique étant adaptable aux pays européens (Italie et Espagne), soit plus de 350 000ha, la riziculture pourrait faire un geste environnemental considérable sans avoir besoin de mesures agro-environnementales subventionnées.

Bibliographie

- [1] AUBIN J.P., DAGALIER J.C., 1997. *Mécanisation de la riziculture. Etude de cas*. Ministère français de la coopération, Cirad. Cirad, Montpellier, France, 278p.
- [2] AUFRAY R., PERENNOU C., 2007. *Evolution de la Camargue : Agriculture, élevage, sagne*. [En Ligne]. 16p. Format PDF. Disponible sur : <<http://www.tourduvalat.org/documentation/tele-chargements>> (Consulté le 10/08/2011).
- [3] BARBIER J.M., MOURET J.C., 1995. *Une région de production avec des atouts mais aussi des contraintes*. In Riz : Du Débouché à la Culture, Paris : ITCF, 21-23.
- [4] CARLIN A., MOURET J.-C., DREYFUS F., MARNOTTE P., HAMMOND R., 2004. *Riziculture biologique. Maîtrise des mauvaises herbes en Camargue*. Brochure INRA-CIRAD-ONIC, 20 pp.
- [5] CIRAD – GRET – Ministère des Affaires Etrangères, 2009. *Mémento de l'agronome*. Quae. 1691p.
- [6] FEYT H., CHATAIGNIER J., 1995. *Le Riz dans le Monde*. In Riz : Du Débouché à la Culture, Paris : ITCF, 4-7.
- [7] GOUNY P., 1964. *Problèmes agronomiques en Camargue*. A.A. 2^{ème} série, XV, p.193-204
- [8] Konedata.net - traktoreiden ja leikkuuimureiden teknisiä tietoja (*Informations techniques sur les tracteurs et les moissonneuses batteuses*). [En Ligne]. Disponible sur : www.konedata.net (multiples consultations).
- [9] MICHELIN, 2011. *Documentation professionnelle 2011 Michelin Agricole et Compact Line*, 137p.
- [10] Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation, de la Pêche, de la Ruralité et de l'Aménagement du Territoire, *Outil DISAR*. [En Ligne]. Disponible sur : <<http://acces.agriculture.gouv.fr/disar/faces/index.jsp>> (consulté le 17/08/2011).
- [11] Organisation de Coopération et de Développement Economiques, *Résumés d'essais de performance de tracteurs*. [En Ligne]. Disponible sur : <http://www2.oecd.org/agr-coddb/index_fr.asp> (consulté le 20/08/2011).
- [12] Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture, *FAOSTAT*. [En Ligne]. Disponible sur : <<http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>> (multiples consultations Juin 2011).
- [13] PERES J.L. et al, 2011. *Barème des coûts prévisionnels indicatifs 2011*, Paris : TRAME BCMA, 40p.
- [14] RAKOTONIAINA S., 1998. *Evolutions récentes, nouveaux contextes économiques et stratégies d'équipement des exploitations rizicoles camarguaises*, Thèse du diplôme de hautes études du CIHEAM, Université de Montpellier, 155p.
- [15] ROUX S., 2000. *Amélioration des itinéraires techniques de la riziculture biologique en Camargue – Expérimentation visant à tester les effets du sarclage mécanique sur le contrôle des adventices*, Stage de recherche de l'ESITPA, 32p.
- [16] Syndicat des riziculteurs de France et Filière, 2011. *Riz de Camargue* [DVD], Arles, SRFF.
- [17] TractorData.com – information on all makes and models of tractors. [En Ligne]. Disponible sur : www.tractordata.com (multiples consultations).

Liste des Annexes

- 1 : Arrêté traitement aérien Arrêté du 31 mai 2011 relatif aux conditions d'épandage des produits mentionnés à l'article L. 253-1 du code rural et de la pêche maritime par voie aérienne
- 2 : Formulaire CERFA de déclaration d'une opération de traitement aérien
- 3 : Méthode de calcul des coûts indicatifs de mécanisation (BCMA)
- 4 : Fiche de renseignements : Passage au tout pneumatique
- 5 : Liste indicative des tracteurs recommandés pour le travail dans les rizières
- 6 : Facture d'entretien spécifique au tracteur équipé de roues squelettes

Annexe 1 :
Arrêté du 31 mai 2011 relatif aux
conditions d'épandage des
produits mentionnés à l'article L.
253-1 du code rural et de la pêche
maritime par voie aérienne

Décrets, arrêtés, circulaires

TEXTES GÉNÉRAUX

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE, DE L'ALIMENTATION, DE LA PÊCHE, DE LA RURALITÉ ET DE L'AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE

Arrêté du 31 mai 2011 relatif aux conditions d'épandage des produits mentionnés à l'article L. 253-1 du code rural et de la pêche maritime par voie aérienne

NOR : AGRG1108198A

La ministre de l'écologie, du développement durable, des transports et du logement, le ministre du travail, de l'emploi et de la santé et le ministre de l'agriculture, de l'alimentation, de la pêche, de la ruralité et de l'aménagement du territoire,

Vu la directive 2009/128/CE du Parlement européen et du Conseil du 21 octobre 2009 instaurant un cadre d'action communautaire pour parvenir à une utilisation des pesticides compatible avec le développement durable ;

Vu le code de l'environnement, notamment ses articles L. 331-1 à L. 331-25 et L. 332-1 à L. 332-27 ;

Vu le code rural et de la pêche maritime, notamment ses articles L. 253-1 et L. 253-3 dans sa rédaction issue de l'article 103 de la loi n° 2010-788 portant engagement national pour l'environnement ;

Vu le code de la santé publique ;

Vu le code du travail ;

Vu le code des transports ;

Vu l'arrêté du 12 septembre 2006 relatif à la mise sur le marché et à l'utilisation des produits visés à l'article L. 253-1 du code rural ;

Vu l'avis du conseil consultatif de la protection des végétaux du 1^{er} février 2011,

Arrêtent :

CHAPITRE I^{er}

Dispositions générales

Art. 1^{er}. – Au sens du présent arrêté, on entend par épandage aérien toute application de produits mentionnés à l'article L. 253-1 du code rural et de la pêche maritime à des fins de protection des végétaux au moyen d'aéronefs, tels que définis à l'article L. 6100-1 du code des transports.

Le donneur d'ordre est celui pour le compte duquel est effectué l'épandage aérien, l'opérateur celui qui est responsable de sa réalisation.

Le demandeur est la personne physique ou morale représentant au niveau du département les bénéficiaires d'un épandage aérien pour une culture donnée, qui dépose la demande de dérogation mentionnée aux articles 13, 14, 16 et 17 du présent arrêté.

Art. 2. – L'épandage de produits mentionnés à l'article L. 253-1 du code rural et de la pêche maritime par voie aérienne ne peut être autorisé que lorsque la hauteur des végétaux, la topographie (reliefs accidentés, fortes pentes), les enjeux pédologiques des zones à traiter (portance des sols), la réactivité ou la rapidité d'intervention sur des surfaces importantes ne permettent pas l'utilisation des matériels de pulvérisation terrestres. L'épandage de ces produits par voie aérienne peut également être autorisé s'il présente des avantages manifestes pour la santé ou pour l'environnement dûment justifiés par rapport à l'utilisation de matériels de pulvérisation terrestres.

Art. 3. – Les autorisations accordées pour l'épandage de produits phytopharmaceutiques par voie aérienne sont publiées sur le site internet de la préfecture du département qu'elles concernent. Les informations qu'elles contiennent sont les zones concernées, à l'échelle de la commune, les cultures, les types de produits phytopharmaceutiques utilisés (fongicides, insecticides, nématicides, dés herbants), les périodes envisagées de traitement.

Art. 4. – Tout épandage aérien avec des produits mentionnés à l'article L. 253-1 du code rural et de la pêche maritime fait l'objet d'une déclaration préalable au préfet de département par le donneur d'ordre. Une

copie est simultanément transmise à la direction régionale de l'alimentation, de l'agriculture et de la forêt, service régional de l'alimentation, ou à la direction de l'alimentation, de l'agriculture et de la forêt, service chargé de la protection des végétaux, pour les départements d'outre-mer. La déclaration préalable peut être transmise par voie électronique.

Les éléments constitutifs de cette déclaration préalable comprennent :

- le formulaire CERFA prévu à cet effet, dûment rempli ;
- un plan au 1/25 000 précisant la localisation précise des points de ravitaillement de l'aéronef.

Le donneur d'ordre tient également à la disposition des agents de ces services la liste des détenteurs des végétaux concernés par chaque chantier d'épandage aérien ainsi que les coordonnées cadastrales des parcelles faisant l'objet de cette déclaration.

Art. 5. – Dans les cinq jours qui suivent le traitement, le donneur d'ordre de l'épandage aérien doit faire parvenir au préfet de département, avec copie à la direction régionale de l'alimentation, de l'agriculture et de la forêt, service régional de l'alimentation, ou à la direction de l'alimentation, de l'agriculture et de la forêt, service chargé de la protection des végétaux, le formulaire CERFA prévu à cet effet, dûment rempli, ainsi que toutes informations jugées utiles par le préfet de département. Cette transmission peut être effectuée par voie électronique.

Art. 6. – A compter du 26 novembre 2011, les produits phytopharmaceutiques utilisés en épandage aérien doivent avoir fait l'objet d'une évaluation spécifique à cet usage conformément à la directive 2009/128/CE susvisée.

Art. 7. – Sans préjudice des obligations fixées par l'article 2 de l'arrêté du 12 septembre 2006 susvisé, lors des épandages aériens l'opérateur doit respecter une distance minimale de sécurité de 50 mètres vis-à-vis des lieux suivants :

- a) Habitations et jardins ;
- b) Bâtiments et parcs où des animaux sont présents ;
- c) Parcs d'élevage de gibier, parcs nationaux, ainsi que les réserves naturelles au titre respectivement des articles L. 331-1 à L. 331-25 et L. 332-1 à L. 332-27 du code de l'environnement.

Art. 8. – Sans préjudice des obligations fixées par l'article 2 de l'arrêté du 12 septembre 2006 susvisé et des décisions d'autorisation de mise sur le marché des produits spécifiant une zone non traitée de largeur supérieure, lors des épandages aériens, l'opérateur doit respecter une distance minimale de sécurité de 50 mètres vis-à-vis des lieux suivants :

- a) Points d'eau consommable par l'homme et les animaux, périmètres de protection immédiate des captages pris en application de l'article L. 1321-2 du code de la santé publique ;
- b) Bassins de pisciculture, conchyliculture, aquaculture et marais salants ;
- c) Littoral des communes visées à l'article L. 321-2 du code de l'environnement, cours d'eau, canaux de navigation, d'irrigation et de drainage, lacs et étangs d'eau douce ou saumâtre.

Les dérogations prévues à l'article 13 de l'arrêté du 12 septembre 2006 relatif à la mise sur le marché et à l'utilisation des produits visés à l'article L. 253-1 du code rural et de la pêche maritime s'appliquent dans le cadre de l'épandage aérien.

Art. 9. – L'opérateur ainsi que le pilote qui effectue la pulvérisation aérienne et les personnes au sol qui manipulent les produits phytopharmaceutiques sont titulaires du certificat visé à l'article L. 254-3 du code rural et de la pêche maritime ou, le cas échéant, répondent aux conditions fixées par les articles L. 204-1 et R. 204-1 du même code. L'opérateur dispose des fiches de données de sécurité des produits mentionnés à l'article L. 253-1 du code rural et de la pêche maritime à pulvériser.

Art. 10. – Le donneur d'ordre doit porter au préalable à la connaissance du public la réalisation d'un épandage aérien au plus tard 48 heures avant le traitement, et notamment :

- il informe les mairies des communes concernées par l'épandage aérien du contenu de la déclaration préalable et demande l'affichage en mairie de ces informations ;
- il réalise un balisage du chantier, notamment par voie d'affichage sur les voies d'accès à la zone traitée.

Il doit par ailleurs informer les syndicats apicoles concernés par la zone à traiter de manière à ce que ces derniers soient informés au plus tard 48 heures avant l'opération de traitement. Les conditions d'information des syndicats apicoles sont définies au niveau départemental.

CHAPITRE II

Modalités de dérogation

Art. 11. – Les articles 13, 14 et 16 ne s'appliquent pas lorsque le recours à l'épandage par voie aérienne est autorisé par un arrêté ministériel ou préfectoral pris au titre de l'article L. 251-8 du code rural et de la pêche maritime.

Section 1

Dispositions relatives aux dérogations annuelles

Art. 12. – Les dérogations à l'interdiction de l'épandage aérien sont accordées par le préfet de département pour les cultures et dans les conditions particulières listées en annexe, conformément aux articles 2 et 11 à 13 du présent arrêté.

Art. 13. – Lorsque la dérogation porte sur les cultures et les organismes visés à l'annexe, elle peut être accordée pour une durée maximale de douze mois.

Art. 14. – I. – Lorsque la demande de dérogation annuelle concerne les cultures et organismes nuisibles cités à l'annexe, elle est adressée par le demandeur au préfet de département avant le 31 mars de l'année en cours et comprend les pièces suivantes :

- a) La culture visée ;
- b) Le ou les organismes nuisibles visés ;
- c) Un bilan de la situation sanitaire de la culture vis-à-vis de ce ou de ces organismes nuisibles pour l'année culturale précédant la demande, la description de la situation prévisionnelle pour l'année de la demande et la description du dispositif mis en place pour raisonner la protection de la culture ;
- d) Le programme prévisionnel d'application comprenant notamment la ou les périodes où se réaliseraient les épandages par voie aérienne, le type de produits phytopharmaceutiques et les quantités envisagés ;
- e) La localisation précise, la topographie (relief, pente) et la description des éléments pédologiques des zones où sont envisagés les traitements par voie aérienne, en joignant toute cartographie ou document utile ;
- f) Le descriptif de l'état végétatif et de la hauteur attendus des végétaux au moment des traitements ;
- g) Le cas échéant, la description d'avantages manifestes de l'application par voie aérienne par rapport à la voie terrestre ;
- h) Le cas échéant, une demande dûment justifiée de réduction du délai d'envoi de la déclaration préalable prévu à l'article 15 du présent arrêté, qui ne pourra en aucun cas être inférieur au délai minimum d'information du public visé à l'article 10.

Le dossier de demande de dérogation annuelle peut être transmis par voie électronique.

II. – Dans les conditions prévues au III du présent article, le préfet de département organise, dans le délai de deux mois à compter de la réception de la demande, une information préalable du public et informe la commission départementale compétente en matière d'environnement, de risques sanitaires et technologiques. Il porte à la connaissance du demandeur et du public par voie d'arrêté préfectoral les dérogations qu'il accorde dans les conditions définies au III du présent article.

III. – En vue de l'information du public concerné, une copie des demandes de dérogation est déposée pour une consultation publique dans les préfetures et sous-préfetures concernées. Un registre est prévu pour recueillir toutes observations pendant une durée minimum d'un mois. Procès-verbal de l'accomplissement de ces formalités est dressé par le préfet.

Les arrêtés préfectoraux mentionnés au point II du présent article sont affichés dans les mairies des communes concernées et publiés au recueil des actes administratifs de l'Etat dans le département. Mentions des arrêtés sont insérées dans un journal diffusé dans le département.

Art. 15. – Lorsque la déclaration préalable visée à l'article 4 porte sur les cultures et les organismes visés à l'annexe, elle comporte, outre les éléments prévus à l'article 4 :

- la référence de l'arrêté préfectoral accordant la dérogation ;
- toute autre information jugée utile par le donneur d'ordre.

Cette déclaration doit parvenir aux services concernés au plus tard le cinquième jour ouvré précédant la date prévue du traitement aérien.

Section 2

Dispositions relatives aux dérogations ponctuelles

Art. 16. – Des demandes de dérogation ponctuelle peuvent porter sur des cultures ou organismes nuisibles non visés à l'annexe dans des circonstances particulières relevant de l'urgence ou de situations où le danger ne peut être maîtrisé par d'autres moyens que l'épandage par voie aérienne et conformément à l'article 2.

Dans ce cas, le donneur d'ordre dépose auprès du préfet de département une demande de dérogation comprenant la déclaration préalable de traitement visée à l'article 4 et les pièces listées à l'article 17 du présent arrêté. La dérogation ne peut alors être accordée que pour l'objet de la demande et la durée prévue des opérations d'épandage.

Art. 17. – Dans les cas non visés à l'annexe du présent arrêté, outre les éléments de la déclaration préalable mentionnée à l'article 4, la demande de dérogation comprend :

- la description du danger menaçant les végétaux, les animaux ou la santé publique ;
- la description de l'état végétatif et de la hauteur des végétaux à traiter ;
- la description de la topographie des zones à traiter (relief, pente) ;
- la description des éléments pédologiques, notamment ceux relatifs à la portance des sols ;
- tout autre élément susceptible de justifier que ce danger ne puisse pas être maîtrisé par d'autres moyens que le traitement aérien ;
- la description d'éventuels avantages manifestes pour la santé et l'environnement par rapport à une application terrestre.

Sauf urgence dûment justifiée par le demandeur, cette demande de dérogation doit parvenir aux services concernés au plus tard dix jours ouvrés avant la date prévue du traitement aérien. Le dossier de demande de dérogation ponctuelle peut être transmis par voie électronique.

CHAPITRE III

Dispositions diverses

Art. 18. – L'arrêté du 5 mars 2004 relatif à l'utilisation par voie aérienne des produits mentionnés à l'article L. 253-1 du code rural et de la pêche maritime est abrogé.

Art. 19. – La date mentionnée à l'article 14 ne s'applique pas pour l'année 2011.

En l'absence des données de l'évaluation spécifique prévue à l'article 6, l'utilisation pour l'épandage aérien de produits classés « toxique » et « très toxique » au sens de l'article R. 4411-6 du code du travail, ainsi que des produits comportant l'une des phrases de risque suivantes : « R 45 », « R 46 », « R 49 », « R 60 » et « R 61 », est interdite pour l'année 2011.

Art. 20. – La directrice générale de l'alimentation, le directeur général de la prévention des risques et le directeur général de la santé sont chargés, chacun en ce qui le concerne, de l'exécution du présent arrêté, qui sera publié au *Journal officiel* de la République française.

Fait le 31 mai 2011.

*Le ministre de l'agriculture, de l'alimentation,
de la pêche, de la ruralité
et de l'aménagement du territoire,
Pour le ministre et par délégation :
La directrice générale
de l'alimentation,
P. BRIAND*

*La ministre de l'écologie,
du développement durable,
des transports et du logement,
Pour la ministre et par délégation :
L'adjointe au directeur général
de la prévention des risques,
V. METRICH-HECQUET*

*Le ministre du travail,
de l'emploi et de la santé,
Pour le ministre et par délégation :
La directrice générale adjointe
de la santé,
S. DELAPORTE*

A N N E X E

CONDITIONS PARTICULIÈRES DE DÉROGATION À L'INTERDICTION DE L'ÉPANDAGE DES PRODUITS MENTIONNÉS À L'ARTICLE L. 253-1 DU CODE RURAL ET DE LA PÊCHE MARITIME PAR VOIE AÉRIENNE

Des dérogations annuelles peuvent être accordées pour les cultures et les organismes nuisibles suivants :

a) Vigne : lutte contre les maladies cryptogamiques (mildiou *Plasmopara viticola*, oïdium *Erysiphe necator*, black-rot *Guignardia bidwellii*), contre les tordeuses de la grappe (cochylis *Eupoecilia ambiguella*, eudémis *Lobesia botrana*, eulia *Argyrotaenia ljunghiana*) et contre la cicadelle vectrice de la flavescence dorée (*Scaphoïdeus titanus*) ;

b) Maïs :

1° Maïs doux (*Zea mays saccharata*) : lutte contre les foreurs de l'épi (pyrale *Ostrinia nubilalis*, sésamie *Sesamia nonagrioides*, héliothis *Helicoverpa armigera*), contre la chrysomèle (*Diabrotica virgifera*), contre l'helminthosporiose (*Helminthosporium turcicum*) ;

2° Maïs « pop corn » (*Zea mays everta*) : lutte contre les foreurs de l'épi (pyrale *Ostrinia nubilalis*, sésamie *Sesamia nonagrioides*, héliothis *Helicoverpa armigera*), contre la chrysomèle (*Diabrotica virgifera*) ;

3° Maïs grain (*Zea mays* à des fins d'utilisation du grain) : lutte contre les foreurs de l'épi (pyrale *Ostrinia nubilalis*, sésamie *Sesamia nonagrioides*, héliothis *Helicoverpa armigera*), contre la chrysomèle (*Diabrotica virgifera*) ;

4° Maïs semence (*Zea mays* à des fins de production de semence, y compris semence de maïs doux et « pop corn ») : lutte contre les foreurs de l'épi (pyrale *Ostrinia nubilalis*, sésamie *Sesamia nonagrioides*, héliothis *Helicoverpa armigera*), contre la chrysomèle (*Diabrotica virgifera*), contre les maladies cryptogamiques (helminthosporiose *Helminthosporium turcicum*) ;

c) Riz :

1° Guyane : lutte contre la pyrale (*Chilo suppressalis*), les noctuelles défoliatrices du riz (*Spodoptera frugiperda*, *Mocis latipes*), les insectes foreurs des tiges (*Diatraea saccharalis*, *Rupella albinela*), la pyriculariose (*Pyricularia grisea*), désherbage ;

2° Métropole : lutte contre la pyrale (*Chilo suppressalis*), désherbage ;

d) Banane : lutte contre les cercosporioses jaune et noire (*Mycosphaerella musicola* et *Mycosphaerella fijiensis*).

Annexe 2 :
Formulaire CERFA de déclaration
d'une opération de traitement
aérien



N°12392*01

Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation,
de la Pêche et des Affaires Rurales
DRAF – SRPV

DÉCLARATION d'une OPÉRATION de TRAITEMENT AÉRIEN

Arrêté du 5 mars 2004

Pour remplir cette déclaration,
se référer à la notice explicative
Cerfa N°

1. NUMÉRO de déclaration :

(à remplir par l'opérateur)

N° agrément opérateur :

année :

N° d'ordre :

2. IDENTIFICATION du DONNEUR D'ORDRE :

21 - Coordonnées :

22 - Responsable :

3. IDENTIFICATION de l'OPÉRATEUR :

31 - Coordonnées :

32 - Responsable :

4. DÉCLARATION PRÉALABLE :

41 - Nombre d'annexes jointes :

42 - Type d'aéronef :

43 - Identité du pilote :

44 - Identité du mécanicien au sol et numéro de téléphone portable :

45 - Tableau de déclaration préalable des chantiers :

N° localisation du point de ravitaillement

1

N°	date	culture	produit	N° AMM	quantité	parasite(s)	surface
1							

5. DATE et SIGNATURE du DONNEUR d'ORDRE :

Les signataires déclarent également avoir pris connaissance des dispositions de l'arrêté du 5 mars 2004

6. DATE et SIGNATURE de l'OPÉRATEUR :

7. DÉCLARATION DE RÉALISATION :

cadre réservé à l'administration

Date de réception :

71 - Tableau de déclaration de réalisation (cocher la case) :

Conforme	
Modifié	
Annulé	

nature des modifications :

8. DATE et SIGNATURE de l'OPÉRATEUR :

Annexe 3 : Méthode de calcul des coûts indicatifs de mécanisation (BCMA)

Pour calculer un coût prévisionnel de mécanisation, il faut les donner suivantes :

- VA : Valeur d'achat du matériel (€).
- Taux d'amortissement du matériel (%) : C'est la décote annuelle du matériel.
- Nombre d'années d'amortissement : Durée sur laquelle on veut amortir l'investissement.
- Taux d'intérêts financiers (%) : Il peut être assimilé à deux aspects. Dans un premier cas, on peut associer ce taux à celui du montant du prêt effectué pour financer l'achat. Dans ce cas, c'est la totalité du matériel qui est financé par le prêt. Dans un second cas, le taux sert à calculer les intérêts que l'on pourrait éventuellement gagner si l'argent était placé ailleurs (bourse, immobilier).

Ensuite, il s'agit de calculer les coûts de mécanisation fixes, puis variables. Les premiers seront donnés en euro par an (€/an), quand aux seconds, en euro par heure (€/h). Au préalable, il faut estimer la valeur résiduelle (VR) de la machine, c'est-à-dire, la valeur finale du matériel au bout des X années d'amortissements. C'est aussi en quelque sorte, le montant que l'on souhaitera revendre le matériel. Pour cela, on utilise la relation suivante :

$$VR (\text{€}) = VA (\text{€}) \times (100 - \text{Taux d'amortissement} (\%))^n$$

(avec « n » correspondant au nombre d'années d'amortissement)

Pour les charges fixes (€/an) :

- Amortissement : $\frac{VA (\text{€}) - VR (\text{€})}{n}$
- Intérêts du capital : $\left(\frac{VA (\text{€}) + VR (\text{€})}{2}\right) \times \frac{\text{Taux d'intérêts}(\%)}{100}$
- Assurance : $1\% * VA (\text{€})$

Pour les charges variables (€/h) :

- Carburant : $0,22 \text{ (l/ch)} \times 0,60 \text{ (Charge du moteur)} \times \text{Puissance (ch)} \times \text{Prix du litre (€/l)}$
- Lubrifiant : $10\% \times \text{Carburant}$
- Pneumatiques (si présence sur la machine) : $(10\% \times VA (\text{€})) / 3000 \text{ (heures d'utilisation)}$
- Entretien courant : $VA(\text{€})/10\,000$

Enfin, il suffit d'estimer le nombre d'heures faites par la machine et son rendement horaire (ha/h) pour simplement calculer le montant des charges fixes à l'heure pour l'additionner aux charges variables. Le rendement horaire permettra de donner un coût à l'hectare de l'utilisation de la machine.

Exemple : Tracteur de 80ch / Boîte mécanique + Inverseur électro-hydraulique.

Caractéristiques générales		Valeur résiduelle (VR) 16 347 €	
Valeur d'achat	40 000€	Charges Fixes (€/an)	
Taux d'intérêts	4%	Amortissement	3 379
Taux d'amort.	12%	Intérêts fin.	1 126
Année d'amort.	7 ans	Assurance	400
Prix du litre	0,7 €/l	TOTAL	4905 €/an
Heures par an	600	Soit	8,18 €/h
		Charges Variables (€/h)	
		Carburant	7,39
		Lubrifiant	0,74
		Pneumatiques	1,33
		Entretien	4,00
		TOTAL	13,46 €/h
TOTAL		21,64 €/h soit 0,27 €/ch/h	

Annexe 4 : Fiche de renseignements : Passage au tout pneumatique

Nom :

Téléphone :

SAU :

Surface rizicole :

Déplacement sur route : Oui Non

Si non, utilisation d'un porte-engin : Oui Non

Type de travail du sol et profondeur moyenne

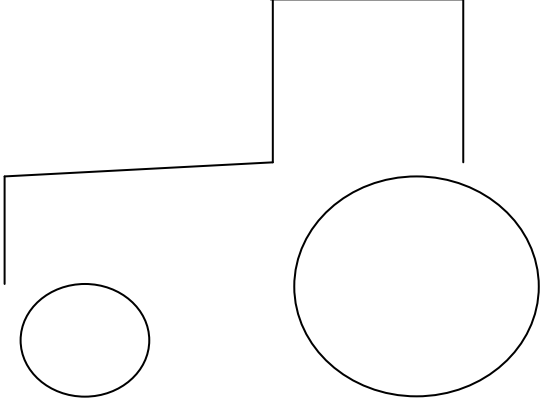
Labour / Profondeur :

Travail simplifié / Profondeur :

Autre :

Type de sol :

Pesées des matériels

Tracteur à vide		
Marque :	Modèle :	
		
Poids sur les essieux	AV :	AR :

Monte de pneumatiques d'origine

AV :

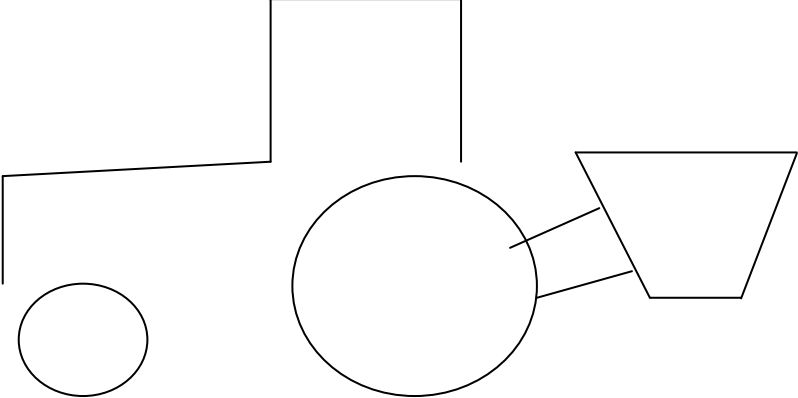
AR :

Rapport mécanique :

Dégagement sous ailes :

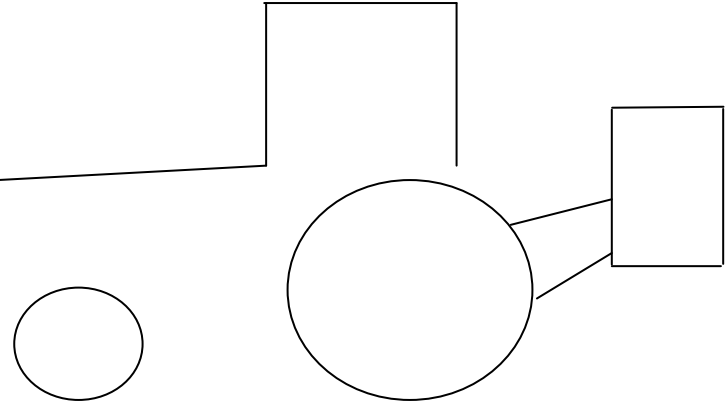
Remarques (gêne à l'encombrement, voie à respecter...)

.....

Tracteur + Outil n° 1 :			
Modèle de l'outil :		Poids à vide :	
			
Poids sur les essieux	AV :	AR :	Charge :

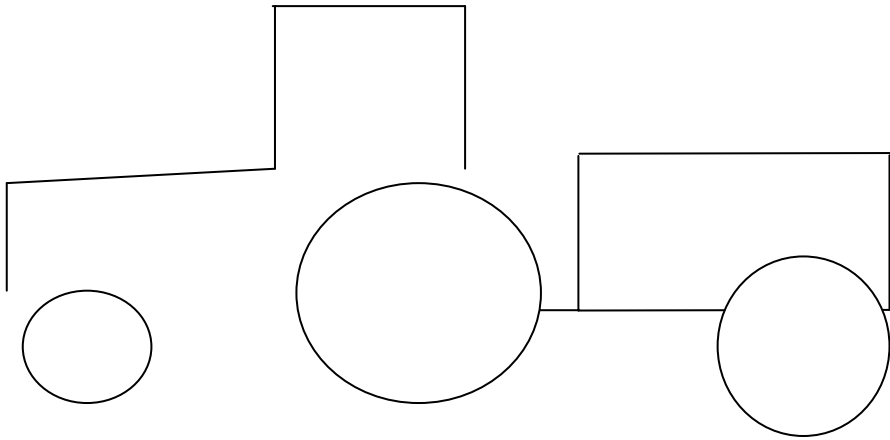
Remarques

.....

Tracteur + Outil n° 2 :			
Modèle de l'outil :		Poids à vide :	
			
Poids sur les essieux	AV :	AR :	Charge :

Remarques

.....

Tracteur + Outil n° 3 :			
Modèle de l'outil :		Poids à vide :	
			
Poids sur les essieux	AV :	AR :	Rem. :


Remarques


.....


Monte de pneumatiques à envisager et pression de travail

- o Tracteur
 - AV :
 -
 - AR :
 -
- o Outil trainé :
-

Annexe 5 : Liste indicative des tracteurs recommandés pour le travail dans les rizières

John Deere 5080 R	
Puissance (ch)	80
Poids (kg)	3700
Empattement (m)	2,25
Pneumatiques AV	11,2 R20
Pneumatiques AR	12,4 R36
Prix (€)	45 000
	

John Deere 5080 M	
Puissance (ch)	80
Poids (kg)	3700
Empattement (m)	2,25
Pneumatiques AV	13,6 R24
Pneumatiques AR	12,4 R34
Prix (€)	38 000
	

John Deere 5 GH	
Puissance (ch)	90
Poids (kg)	3600
Empattement (m)	2,18
Pneumatiques AV	R 38
Pneumatiques AR	R 38
Prix (€)	35 000 ?
	

Claas AXOS 320

Puissance (ch)	87
Poids (kg)	3730
Empattement (m)	2,49
Pneumatiques AV	13,6 R24
Pneumatiques AR	16,9 R34
Prix (€)	40 000



New Holland TD 5030 – Case IH JX 80

Puissance (ch)	82
Poids (kg)	3620
Empattement (m)	2,22
Pneumatiques AV	11,2 R24
Pneumatiques AR	16,9 R30
Prix (€)	35 000



New Holland T5040 – Case IH JXU 80

Puissance (ch)	86
Poids (kg)	4050
Empattement (m)	2,35
Pneumatiques AV	13,6 R24
Pneumatiques AR	16,9 R34
Prix (€)	37 000



Kubota M8540

Puissance (ch)	85
Poids (kg)	3300
Empattement (m)	2,25
Pneumatiques AV	360/70 R24
Pneumatiques AR	480/70 R34
Prix (€)	40 000



Fendt 309 Vario

Puissance (ch)	90
Poids (kg)	4130
Empattement (m)	2,35
Pneumatiques AV	
Pneumatiques AR	
Prix (€)	55 000



Same Explorer³ 85 – Deutz Agrofarm Profiline

Puissance (ch)	85
Poids (kg)	3700
Empattement (m)	2,31
Pneumatiques AV	/
Pneumatiques AR	16,9 R30
Prix (€)	35 000



Massey Ferguson 4445

Puissance (ch)	88
Poids (kg)	3680
Empattement (m)	2,39
Pneumatiques AV	13,6 R24
Pneumatiques AR	16,9 R34
Prix (€)	38 000



(Source : Site internet des tractoristes / Aggriaffaires)

Annexe 6 :
Facture d'entretien spécifique au
tracteur équipé de roues squelettes

Société 002 - MOTOCULTURE MERIDIONALE

Ordre de réparation numéro 3019120015	du 02/12/2009	Facture n° 3010100309 du 31/01/2010
--	---------------	-------------------------------------

Cession : Facturable	Responsable : Non défini
Atelier : 1 ATELIER ARLES	Position : Terminé
Avancement : Terminé	Fin des travaux :
Début travaux : 02/12/2009	Mécanicien : Non défini
N° Affaire :	

Client _____

Numéro :

Matériel n° 1643

Numéro de série : LO6320E391069	Numéro interne : 001643	Type : 6320SE
Désignation : TRACTEUR JOHN DEERE 6320SE		
Date de mise en circulation :	Fin de garantie :	
Heures : 0	Kilométrage : 0	Immatriculation :
Description des travaux : DEPOSE - REPOSE REDUCTIONS FINALES (LES 2 COTES) REPLACER ROULEMENTS ET JOINTS REPLACER TENDEURS DE STABILISATEURS DE BRAS D'ATTELAGE REPARER COMMANDE DU DISTRIBUTEUR HYDRAULIQUE N° 2 PASSAGE AU BANC DE PUISSANCE PUISSANCE MOTEUR OK		

Détail saisie

Cession : Facturable							
Référence / MO	Date	Description	Qté	Temps	Forfaits	Montant	
AL156503	22/12/2009	CONE DE ROULEMENT	2,00				94,48
AL156506	22/12/2009	CONE DE ROULEMENT	2,00				117,32
AL158922	22/12/2009	JOINT A LEVRE	2,00				107,96
AL69712	22/12/2009	JOINT A LEVRE	2,00				47,94
AL82334	22/12/2009	BANDE	1,00				32,65
AL82337	22/12/2009	BANDE	1,00				19,74
BGPRONET	22/12/2009	PRODUIT NETTOYANT	1,00				1,43
DE18854	10/12/2009	CORPS DE LIAISON	2,00				103,14
EPY6051821	05/01/2010	PRODUIT D'ETANCHEITE	1,00				27,17
L101142	22/12/2009	FREIN EN TOLE	2,00				24,06
L154620	23/12/2009	CUVETTE DE ROULEMENT	2,00				68,52
L154621	22/12/2009	CUVETTE DE ROULEMENT	2,00				50,02
L175355	22/12/2009	CHAPE	2,00				32,88
L57311	22/12/2009	VIS	2,00				48,76
L76058	22/12/2009	BAGUE D'USURE	2,00				21,60
R241161	22/12/2009	JOINT TORIQUE	2,00				2,76
Total Pièces							800,43
MOA	05/02/2010	MAIN D'OEUVRE		19,75			967,75
TE	05/02/2010	PASSAGE AU BANC DE PUI			1,00		80,00
Total Main d'oeuvre							1 047,75