



**HAL**  
open science

**Perspectives de valorisation d'un milieu par des  
assolements de grandes cultures : essais d'optimisation  
technico-economiques; II- Exemples d'assolements :  
Resultats techniques et agronomiques**

J.R. Marty, M. Cabelguenne, Jean-Louis Puech

► **To cite this version:**

J.R. Marty, M. Cabelguenne, Jean-Louis Puech. Perspectives de valorisation d'un milieu par des assolements de grandes cultures : essais d'optimisation technico-economiques; II- Exemples d'assolements : Resultats techniques et agronomiques. *Agronomie*, 1984, 4 (10), pp.915-925. hal-02721858

**HAL Id: hal-02721858**

**<https://hal.inrae.fr/hal-02721858>**

Submitted on 1 Jun 2020

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

---

# Perspectives de valorisation d'un milieu par des assolements de grandes cultures : essais d'optimisation technico-économique. II. — Exemples d'assolements : résultats techniques et agronomiques

---

Jean-Robert MARTY, Maurice CABELGUENNE & Jackie PUECH

avec la participation d'Alain HILAIRE (\*) et la collaboration des Techniciens de la Station d'Agronomie

I.N.R.A., Station d'Agronomie, Centre de Recherches de Toulouse, B.P. 12, F 31320 Castanet-Tolosan  
(\*) Chambre d'Agriculture de la Haute-Garonne, 61, allées de Brienne, F 31000 Toulouse

---

## RÉSUMÉ

Les auteurs présentent une série d'assolements optimisés selon diverses contraintes de sol, de climat, de rapports de prix, de disponibilités en matériel et en main-d'œuvre. Ces résultats s'appuient sur des références expérimentales provenant de dispositifs de longue durée qui constituent les bases biologiques et agronomiques et ont ensuite été calculés à partir d'hypothèses technico-économiques.

Les auteurs montrent et discutent les possibilités de modification des proportions des cultures, d'évolution des rotations et des assolements selon les différentes contraintes. Les possibilités de substitution entre cultures, entre rotations, entre l'eau d'irrigation et celle du sol et de la pluie, entre le capital matériel et le travail, apparaissent complexes, ceci de par la nécessité de crédibilité économique et de faisabilité technique et agronomique des assolements. Les calendriers de travaux, le chevauchement de ceux-ci et les jours disponibles pour les réaliser ont un rôle déterminant dans les choix d'assolements, compte tenu des disponibilités en matériel et en main-d'œuvre. De ce fait, il apparaît que la valorisation des conditions du milieu ne peut être assurée dans tous les cas et que l'accroissement de la productivité et l'intensification ne peuvent être préconisés dans toutes les situations et de la même manière.

**Mots clés additionnels :** *Modélisation, rotation, jours disponibles, systèmes de culture, irrigation.*

---

## SUMMARY

*Prospects for increasing economic value of land using field crops : examples of economic optimization under various technical constraints. II. - Examples of land use : agronomical and technical results*

The authors present a selection of optimized land uses according to varying constraints of soil, climate, price ratio, availability of equipment and labour. These results are based on experimental data coming from long-term experiments, which provide the biological and agronomic basis for calculations according to technical and economic hypotheses. The authors show and discuss the possibilities of crop rotation and land use according to the different constraints. Complex possibilities arise for replacement of one crop by another, of one rotation by another, of irrigation water by soil and rain water, and of investment in capital equipment by expenditure on labour, all in relation to the economic credibility and the technical and agronomic feasibility of the land use. In making a choice, a critical factor is the calendar of work, in relation to the days on which machinery or labour is available. This means that the environmental conditions cannot always be fully exploited, and that approaches involving intensification and increased yield should not be recommended in all situations or in the same way.

**Additional key words :** *Modeling, rotation, available days, cropping systems, irrigation.*

---

## I. INTRODUCTION

Dans un premier mémoire, nous avons proposé une démarche de recherche d'assolements qui optimisent

l'utilisation du milieu et des ressources en vue de maximiser la marge brute (MARTY *et al.*, 1984). Nous avons justifié alors les raisons d'une telle étude. Rappelons brièvement que ces raisons s'appuient, d'une

part, sur les problèmes actuels de régions sub-humides qui permettent un large éventail de choix de cultures sans qu'aucune d'entre-elles y soit bien adaptée, d'autre part, sur une analyse bibliographique montrant la carence en ce domaine. Il n'existe pas, en effet, de démarche de ce type s'appuyant à la fois sur des références biologiques et agronomiques sûres, issues de dispositifs expérimentaux de comparaison de rotations culturales et sur des résultats d'enquêtes en exploitations agricoles. Cet ensemble de données permet de proposer des assolements dont la gestion soit logique et cohérente et d'étudier leurs possibilités d'adaptation face aux fluctuations économiques.

Notre but essentiel est d'approcher cette optimisation de l'assolement en limitant les effets indésirables (dégradation des terres, prolifération d'adventices ou de maladies...), en nous basant sur des rotations vérifiées expérimentalement depuis 1969.

A partir de ces données, élargies et « calées » grâce aux résultats d'enquêtes, ont été émises un certain nombre d'hypothèses permettant de repérer des points caractéristiques du très large éventail de systèmes de culture possibles. En effet, dans le Sud-Ouest de la France, le déficit climatique estival moyen peut varier selon les petites régions naturelles de 150 à 350 mm, avec d'ailleurs une variabilité interannuelle importante, ce qui permet, grâce aux conditions héliothermiques, 4 grandes cultures d'été irriguées ou non (maïs, sorgho, tournesol, soja) auxquelles peuvent s'ajouter 4 ou 5 cultures d'hiver (blé, orge, colza, féverole, pois). Ces éléments sont une des causes essentielles de la diversité et de la complexité des assolements possibles ou pratiqués.

Cette démarche va dans le sens de la maîtrise d'une situation donnée par la prise en compte de différents paramètres d'ordre agronomique, technique, économique, ce qui confère aux perspectives d'assolements une meilleure garantie de « faisabilité ».

Nous exposerons ici les résultats concernant les choix agronomiques pour le niveau d'intrant de référence précisé dans le précédent mémoire (espèces, cultures, rotations, assolements) et qui est, rappelons-le, le niveau moyen d'intensification permettant un rendement satisfaisant tout en assurant la conservation du sol et sans facteur limitant essentiel autre que la disponibilité en eau pour les cultures d'été. Dans un autre article, nous traiterons des aspects économiques qui en découlent.

Les résultats présentés ci-dessous ont été obtenus à partir des conditions économiques de la campagne 1981-82.

## II. MÉTHODE D'ÉTUDE ET DONNÉES INTRODUITES

La méthodologie a été présentée dans le premier mémoire (MARTY *et al.*, 1984).

Rappelons brièvement que les données de base que nous utilisons proviennent d'un dispositif expérimental de longue durée d'étude des systèmes de culture implanté à l'I.N.R.A.-Auzeville par la Station d'Agronomie (MARTY & HUTTER, 1975). Ces données ont été enrichies et confortées en d'autres localités par

des apports extérieurs : résultats d'expérimentation et d'enquêtes provenant de la Chambre Régionale d'Agriculture de Midi-Pyrénées (CRAMP), de la Compagnie d'Aménagement des Côteaux de Gascogne (CACG) et des Instituts techniques : Centre Etude Technique Interprofessionnel des Oléagineux Métropolitains (CETIOM), Institut Technique des Céréales et des Fourrages (ITCF).

Rappelons enfin que, parmi les 2 principales techniques de calcul prévisionnel du meilleur assolement (par programmation linéaire ou par tâtonnement-simulation), nous avons choisi d'utiliser la programmation linéaire qui, à partir de la définition des différentes activités possibles, détermine directement l'assolement optimum. La matrice de programmation linéaire a été conçue et mise en œuvre par la Station d'Economie et de Sociologie Rurales de Paris (BOUSARD *et al.*, 1980 ; FOULHOUZE, 1981).

Nous précisons ici certains aspects agronomiques et techniques particulièrement discriminants à l'égard des choix d'assolements.

### A. Rotations culturales et successions de cultures

Dans le tableau 1 sont décrites les rotations céréalières et avec oléoprotéagineux passées au banc d'essai expérimental du dispositif de l'INRA-Auzeville (MARTY & HUTTER, 1975) et les binômes plus spécialement étudiés à partir desquels se réalisent les différenciations les plus marquantes, notamment les précédents blé (MARTY & HILAIRE, 1979). A partir de ces données, et en y intégrant d'autres références multi-spatiales (CACG, CRAMP, 1980, 1981 ; MARTY & FIORAMONTI, 1970 ; RELIER, 1981), nous avons reconstitué un ensemble de rotations techniquement faisables et agronomiquement crédibles (arrière-effets, temps de travaux, intervalles entre 2 cultures). Cet ensemble représente les principales combinaisons possibles d'une durée de 3 ou 4 ans (quoique certaines rotations s'étalent sur 6 ans), ces rotations constituent la base de pérennisation des assolements à déterminer par optimisation. Les itinéraires techniques ont été conçus par rotation à partir de ceux utilisés sur le dispositif expérimental et dont certaines pratiques ont été actualisées.

On constate que les cultures d'été ont sensiblement les mêmes fréquences de présence dans les rotations que les cultures d'hiver, la fréquence du blé étant la plus élevée de toutes. Ceci résulte en partie d'une contrainte agronomique régionale imposant dans de nombreux cas une alternance des cultures d'été et d'hiver ; le blé apparaît alors comme un « pivot » des systèmes assolés.

La spécificité de la méthode de recherche d'assolements optimisés réside dans cet ensemble de rotations qui permet de préciser les itinéraires techniques utilisés au niveau des rotations tout en conservant la même proportion de culture chaque année dans l'assolement.

En fait, on peut considérer que cette liste de rotations non exhaustive permet de recouvrir la diversité des successions de cultures réellement pratiquées dans les exploitations agricoles de cette région où la contrainte de rotation n'est pas toujours rigoureusement respectée.

TABLEAU I

*Rotations expérimentées et reconstituées constituant les assolements.*  
*Rotations tested and reconstituted for the choice of land use.*

Rotations en essais (1969-81)	Binômes étudiés (cultures d'été irriguées ou non)						
maïs continu	maïs-blé	colza-soja					
maïs-blé	sorgho-blé	sorgho-soja					
maïs-blé-orge	colza-blé	maïs-soja					
sorgho continu	féverole (pois)-blé	tournesol-soja					
sorgho-blé	tournesol-blé						
pois-blé-colza-blé	soja-blé	maïs-tournesol					
pois-blé-féverole (pois)-blé		sorgho-tournesol					
soja-blé-colza-blé	féverole-colza	tournesol-orge					
luzerne (3)-blé-maïs-blé-orge	colza-sorgho						
→ ray-grass-sorgho-tournesol-orge	sorgho-pois						
• Ensemble de rotations pour le choix d'assolements							
(total de 44 rotations)							
tournesol-blé-soja-blé	maïs continu (irrigué)	pois (ou féverole)-blé-soja-blé					
tournesol-orge-sorgho-blé	maïs-blé	pois-blé-colza-blé					
tournesol-blé-pois-blé	maïs-blé-orge	pois-blé-maïs-blé					
tournesol-blé-colza-blé	maïs-blé-soja-blé	pois-colza-blé-tournesol					
tournesol-blé	maïs-maïs-soja	pois-blé					
tournesol-pois-blé	maïs-blé-colza-blé	soja-soja-maïs					
tournesol-maïs-soja-blé	sorgho continu (non irrigué)	soja-soja-sorgho					
tournesol-blé-pois-colza	sorgho-blé	soja-blé-sorgho					
tournesol-maïs-maïs	sorgho-blé-orge	soja-blé					
tournesol-sorgho-sorgho	sorgho-blé-soja-blé	soja-blé-colza-blé					
tournesol-blé-maïs-blé	sorgho-blé-pois-blé	soja-blé-colza-maïs					
tournesol-blé-sorgho-blé	sorgho-sorgho-soja	soja-maïs-tournesol-maïs					
tournesol-blé-maïs-blé-colza-blé		colza-blé					
tournesol-blé-maïs-maïs	sorgho-blé-colza-blé	colza-blé-orge					
tournesol-blé-sorgho-sorgho	sorgho-tournesol-maïs-soja-maïs	colza-pois-blé					
• Fréquence des différentes cultures dans la liste des rotations(%)							
maïs	sorgho	tournesol	soja	blé	orge	colza	pois (féverole)
34	32	41	34	77	10	27	23

## B. Date et nature des interventions techniques

Les débuts et fins d'interventions encadrent des périodes qui ont été respectées 8 années sur 10 (fig. 1) ; la moyenne des rendements obtenus n'est utilisable que dans ces conditions de calendriers techniques (et du niveau d'intrant utilisé).

Ces limites constituent la 1<sup>re</sup> contrainte de faisabilité.

On peut par exemple, pour l'ensemble des cultures, retenir dans cette étude 3 périodes : a, b, c, correspondant à des pointes de travaux :

a : du 1/4 au 15/5, implantation des cultures d'été et différents traitements des cultures d'hiver ;

b : du 1/7 au 15/8, récolte des cultures d'hiver, irrigation des cultures d'été et déchaumage ;

c : du 1/9 au 15/11, implantation des cultures d'hiver, labour des terres argilo-limoneuses pour les cultures d'été.

## C. Type de matériel et temps de travaux

Sur le dispositif expérimental, nous avons le plus souvent utilisé le matériel correspondant à l'équipement d'une exploitation moyenne de l'ordre de 40 ha (tabl. 2). Dans tous les cas, nous avons supposé que, quel que soit le type de matériel et d'intervention, la

qualité du travail réalisé était comparable. Les temps de travaux proviennent du Fichier Régional de Références des Cultures et des Animaux (1980). Ils correspondent à des temps moyens par ha pour des parcelles de l'ordre de 3 à 5 ha.

Rappelons que nos hypothèses de calcul d'assolement utilisent 2 options de matériel : peu limitant, correspondant à un capital d'investissement-amortissement d'environ 4 000 F/ha/an (abréviation F), et limitant, correspondant à environ 1 000 F (abréviation f). Pour la disponibilité en main-d'œuvre, 2 options ont été émises : une option forte (F), soit 40 h/ha/an, et faible (f) 21 h/ha/an.

## D. Jours disponibles

Les jours disponibles utilisables pour réaliser les différentes interventions techniques sont précisés sur le tableau 3. Ils ont été déterminés soit à partir des expérimentations de l'INRA-Auzeville (COCHARD, 1971) soit à partir des expérimentations et/ou des enquêtes réalisées par différents organismes (CACC, CRAMP). Dans l'ensemble, ils correspondent à une fréquence de fiabilité ajustée à 8 années sur 10. Ils ont été affectés à 4 grandes séries d'interventions :

- labours et préparations profondes,
- façons superficielles et semis,



TABLEAU 2  
Types de matériel et temps de travaux.  
Equipment and work time.

Temps de travail en h et par ha à couvrir				
Façons culturales	Performant (ensemble correspondant à 4 000 F/ha/an d'amortissement)		Peu performant (ensemble correspondant à 1 000 F/ha/an d'amortissement)	
		h/ha		h/ha
labour	tracteur 75-80 cv		tracteur 45-50 cv	
labour-déchaumage	charrue trisoc	3	charrue monosoc	9 (1)
labour-déchaumage	chiel 5 dents	2	cultivateur	3
façon superficielle	covercrop 20 disq.	1,5	covercrop 14 disq.	2
façon superficielle	vibroculteur (3,4)	1	vibroculteur 2,6 m	1,3
désherbage	herse alternative 4 m	2	herse simple	2
épandage PK	pulvérisateur 600 l	0,6	pulvérisateur 400 l	1
épandage N	épandeur 12 m	1	épandeur 9 m	1,5
semis céréales	épandeur 12 m	0,8	épandeur 9 m	
semis prévision	semoir - 3 m	0,8	semoir 2,4 m	
irrigation	semoir - 4 R	1,3	semoir 2 R	2,5
	enrouleur	1	enrouleur	2
	couverture totale (18/18)	1,5	couverture totale (12/12)	2
	pose-dépose c.t.	3,5	pose-dépose c.t.	4,5
récolte céréales	moiss. batteuse (entrepr.)		moiss. batteuse (entrepr.)	
récolte maïs irr.	moiss. batteuse (entrepr.)	1	moiss. batteuse (entrepr.)	1,2
récolte maïs sec	moiss. batteuse (entrepr.)	1,6	moiss. batteuse (entrepr.)	1,8
récolte colza, soja	moiss. batteuse (entrepr.)	1,3	moiss. batteuse (entrepr.)	1,6
broyage	gyrobroyeur	1,2	gyrobroyeur	1,9

(1) 8 h en terres limoneuses (boulbènes).

TABLEAU 3  
Jours disponibles pour réaliser les principales interventions culturales.  
Days available for main cultural operations.

Période d'interven- tions	Nombre de jours	en sols limoneux (type boulbène)				en sols argileux (type terrefort)			
		labour	fac. sup. semis	trait. divers (roulage)	récolte	labour	fac. sup. semis	trait. divers roulage	récolte
1/1 -28/2	59	4	4	4	—	9	9	9	—
28/2 -30/3	31	4	5	5	—	10	10	10	—
1/4 -30/4	30	10	8	8	—	14	11	11	—
1/5 -30/5	31	14	11	11	—	14	11	11	—
1/6 -30/6	30	10	14	14	12	20	13	13	12
1/7 -15/7	15	5	—	8	8	11	—	8	8
16/7 -31/7	16	2	—	11	11	9	—	11	11
1/8 -15/8	15	2	2	9	9	5	2	10	10
16/8 -31/8	16	4	4	4	4	5	5	5	5
1/9 -30/9	30	12	14	12	9	12	9	12	9
1/10-31/10	31	17	17	17	17	17	17	17	17
1/11-30/11	30	16	16	16	16	13	13	13	13
1/12-31/12	31	13	10	10	10	13	10	10	10

— traitements divers et interventions nécessitant le roulage (application des pesticides, herbicides, réducteurs de croissance, fumure en couverture, etc...),  
— récolte.

Ils se différencient selon le type de sol, essentiellement en fonction des relations existant entre le taux d'humidité de la terre et ses propriétés mécaniques (cohésion, portance). C'est ainsi qu'en sols limoneux (boulbènes), mal structurés, à portance faible lorsque le taux d'humidité atteint la capacité au champ, la quantité des jours disponibles pour l'implantation des cultures d'été et certains traitements est beaucoup plus réduite qu'en sols argileux, mieux structurés et de plus grande cohésion à l'état humide.

### III. RÉSULTATS

Parmi les résultats obtenus nous choisirons de présenter ceux qui illustrent le mieux la démarche générale décrite dans le précédent mémoire.

Rappelons que les choix d'assolements optimisés sont réalisés par la maximisation de la fonction économique (marge brute) en établissant les meilleurs compromis, dépendants des différentes contraintes discriminantes.

Dans ces calculs, n'intervient pas le coût direct de l'irrigation afin de pouvoir comparer la marge brute de l'assolement non irrigué, optimisé techniquement, agronomiquement et selon les rapports de prix de

commercialisation et de produits industriels nécessaires à l'exploitation agricole, à la marge brute de son homologue en condition irriguée. Ainsi, il sera possible de calculer le coût maximum acceptable pour que l'irrigation soit rentable.

Nous montrerons d'abord l'effet des disponibilités hydriques naturelles, de l'irrigation, des forces de travail et de main-d'œuvre sur la répartition des cultures d'été et d'hiver dans les assolements optimisés. Ensuite, nous examinerons l'évolution de ces assolements selon les ressources en eau disponibles pour l'irrigation et en présence de modifications de rapports de prix (énergie, céréales et oléoprotéagineux). Enfin, nous concrétiserons ces assolements par les rotations nécessaires à leur réalisation en utilisant des exemples choisis en sols limoneux (boulbènes), alors que les résultats précédents ne concernaient que les sols argileux (terreforts). Ce dernier exemple nous permet de comparer l'évolution des assolements selon les diverses contraintes précédentes appliquées à 2 types de sol. Pour terminer, nous présenterons l'effet sur les assolements et rotations d'une contrainte imposée de sécurité de revenu telle qu'elle a été précisée dans le précédent mémoire (sécurité de revenu signifie une marge brute  $\geq 3\ 000$  F/an et par ha assolé, 4 années sur 5).

### A. Proportion des différentes cultures dans les assolements selon diverses caractéristiques de ressources en eau, de matériel et de main-d'œuvre

On remarque, sur la figure 2, l'effet massif des disponibilités en matériel et en main-d'œuvre, où, pour les 2 plus faibles niveaux de disponibilités hydriques naturelles, lorsque le matériel et la main-d'œuvre sont peu limitants, on a la possibilité de réaliser des assolements radicalement différents, essentiellement constitués de cultures d'hiver si l'on ne dispose pas de l'irrigation, et constitués de cultures d'été en présence d'irrigation. Pour le plus haut niveau de disponibilité hydrique naturelle, les assolements en hypothèse 2, font appel essentiellement à des cultures d'été. Dans tous les cas, les cultures dites « payantes » seront largement représentées : soja, maïs, colza.

Par contre, en présence de matériel et de main-d'œuvre limitants (hypothèse 1), les assolements sont moins différenciés selon les disponibilités en eau pour les cultures d'été, que cette eau provienne des réserves du sol, de la pluie ou de l'irrigation. De plus, en hypothèse 1, on constate une tendance à un plus grand nombre de cultures dans l'assolement.

On peut donc déjà noter que les possibilités d'investissement en matériel et les disponibilités en main-d'œuvre constituent une des premières conditions de possibilité d'adaptation des assolements aux contraintes climatiques et à l'irrigation.

### B. Evolution des assolements selon diverses possibilités d'irrigation ou non, en présence de disponibilités différentes en matériel et en main-d'œuvre

Comparativement à certains résultats de la figure 2, on remarque dans la partie 1 de la figure 3, que la quasi-totalité des ressources en eau d'irrigation ne

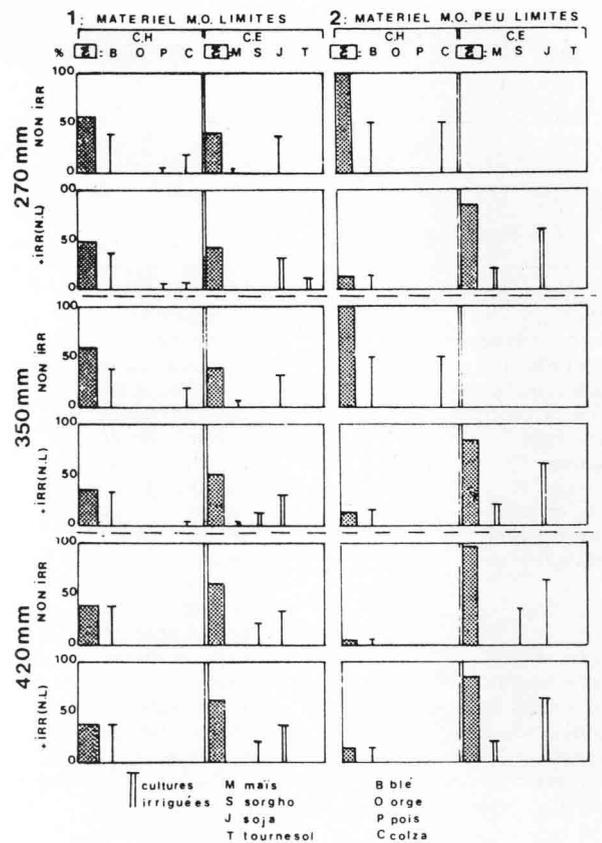


Figure 2

Proportion des différentes cultures d'été (C.E.) et d'hiver (C.H.) en assolements optimisés d'après diverses hypothèses de disponibilités en eau, en non irrigué et avec irrigation non limitante (N.L.), de disponibilités en matériel et en main-d'œuvre (M.O.). Cas de sols argilo-limoneux (même légende que la fig. 1).

Share of different summer crops (C.E.) and winter crops (C.H.) in optimized land use according to availability of water (non-irrigated or irrigated with non-limiting water N.L.) and of equipment and labour (M.O.) (same legend as fig. 1). Clay soils.

peut être utilisée qu'en présence de disponibilités en matériel et en main-d'œuvre élevées, avec un fort pourcentage de cultures d'été les plus « payantes ». Dans le cas contraire, que l'on dispose de 1 500 m<sup>3</sup>/ha ou de 2 500 m<sup>3</sup>/ha, les assolements restent les mêmes, ainsi que la quantité d'eau utilisée pour l'irrigation (780 m<sup>3</sup>) sans que puisse être augmentée la proportion de cultures d'été irriguées dans l'assolement.

La partie 2 reprend seulement les 2 cas extrêmes de la partie 1 (non irrigué et irrigué avec 2 500 m<sup>3</sup>/ha/an de ressources en eau d'irrigation). Nous constatons alors qu'en présence de matériel limité, si la main-d'œuvre augmente, sans irrigation, nous avons une possibilité d'assolement essentiellement constitué de cultures d'hiver (comme dans le cas de matériel et main-d'œuvre peu limités mais avec 3 cultures d'hiver au lieu de 2) et, avec irrigation, la proportion de cultures d'été irriguées augmente ainsi que la quantité d'eau d'irrigation utilisée (1 350 m<sup>3</sup> au lieu de 780 m<sup>3</sup> avec matériel et main-d'œuvre limités). Dans l'hypothèse contraire, main-d'œuvre limitée et matériel peu limité, la répartition des cultures en l'absence d'irrigation est sensiblement identique à celle de la partie 1 (fig. 3) en présence de matériel et de main-d'œuvre limités. En présence

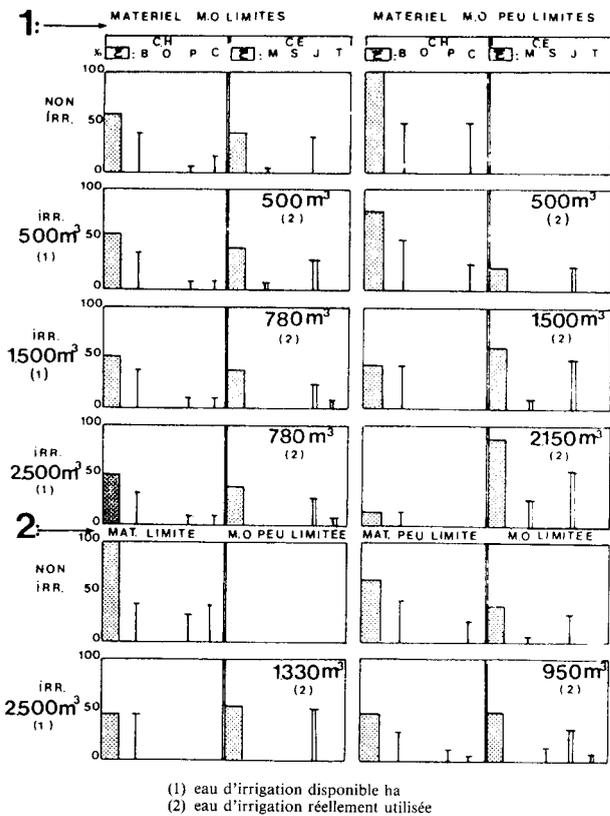


Figure 3  
Proportion des différentes cultures d'hiver (C.H.) et d'été (C.E.) en assolements optimisés selon différentes ressources en eau d'irrigation (500, 1 500 et 2 500 m<sup>3</sup>/ha) et différentes disponibilités en matériel et en main-d'œuvre (M.O.) (1,2). Cas de sol argilo-limoneux à 270 mm de disponibilités hydriques naturelles.

Share of different summer crops (C.E.) and winter crops (C.H.) in optimized land use according to availability of irrigation water (500, 1 500, 2 500 m<sup>3</sup>/ha) and of equipment and labour (M.O.) (1,2). Clay soil with 270 mm of natural water reserve for summer crops.

d'irrigation, la proportion de cultures d'été irriguées est inférieure à celle de l'hypothèse précédente et la quantité d'eau utilisée n'atteint que 950 m<sup>3</sup>.

Ces résultats nous amènent à faire quelques remarques dans nos conditions et hypothèses de travail :

- on ne constate guère de possibilités de substitution entre le matériel et la main-d'œuvre ;
- la disponibilité en main-d'œuvre est plus nécessaire que l'équipement en matériel pour utiliser les ressources du milieu, qu'elles soient naturelles (disponibilités hydriques) ou artificielles (irrigation) ;
- les progrès techniques et les innovations en matière de système de culture n'ont de chance de se développer qu'en présence à la fois de bonnes possibilités d'investissement en matériel et de disponibilités satisfaisantes en main-d'œuvre. Ceci est notamment vrai dans nos conditions où l'automatisation de certaines interventions apparaît difficile à court ou moyen terme (par exemple pose et dépose de la couverture totale pour l'irrigation, déplacement des enrrouleurs), permettant une nette économie de main-d'œuvre.

**C. Evolution de quelques assolements précédents selon diverses hypothèses de rapports de prix**

Sur la figure 4, selon les mêmes modalités de présentation que précédemment, nous montrons les

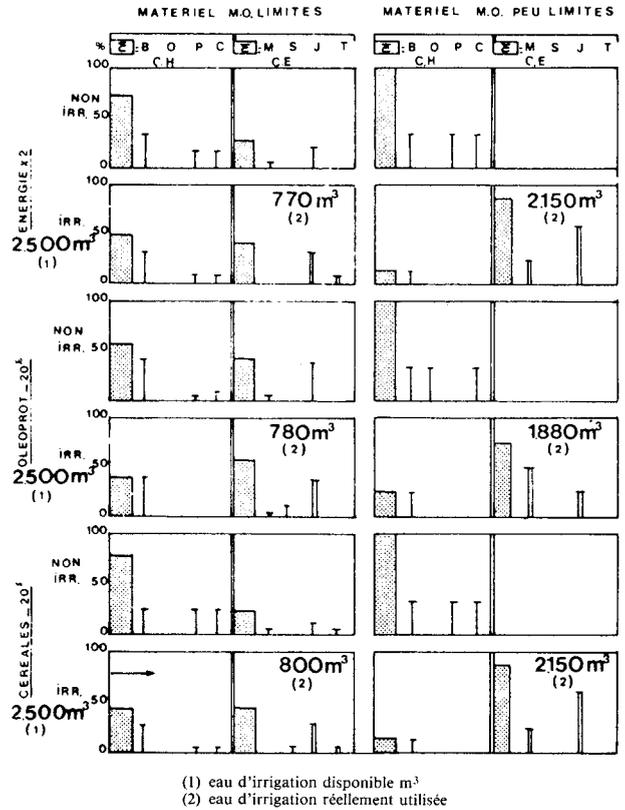


Figure 4  
Proportion de différentes cultures en assolements optimisés selon diverses hypothèses de rapports de prix de commercialisation et du coût de l'énergie (sol argilo-limoneux à 270 mm de disponibilités hydriques naturelles) (même légende que la fig. 2).

Share of different crops in optimized land use according to sale price ratio and energy costs (clay soil with 270 mm of natural water reserve availability for summer crops) (same legend as fig. 1).

modifications des proportions des cultures en assolements optimisés, dans différentes conditions de prix de commercialisation des récoltes et de coût de l'énergie (engrais azoté, fuel essentiellement).

Ainsi, lorsque le coût de l'énergie est double (fuel + engrais azoté, le prix de ce dernier ayant doublé entre 1978 et 1982) on n'observe pas une modification radicale des systèmes de culture quand on compare avec les résultats homologues de la figure 3 comme il avait été déjà montré par ailleurs (BONNY, 1981). Si les disponibilités en matériel et en main-d'œuvre sont peu limitantes, on peut noter l'apparition des protéagineux d'hiver (pois ou féverole) qui arrivent à parts égales avec blé ou colza en conditions non irriguées. Par contre, nous verrons que la fonction économique (marge brute) est beaucoup moins satisfaisante, notamment lorsque matériel et main-d'œuvre sont limités, et qu'il est alors plus difficile de remplacer les céréales d'hiver ou d'été, grosses consommatrices de fumures azotées, par des légumineuses (pois, féverole, soja).

Lorsque les rapports de prix entre céréales et oléoprotéagineux changent, la répartition des cultures dans les assolements se trouve plus nettement modifiée que dans le cas où le coût de l'énergie augmente.

En comparant toujours à la figure 3, si le prix des oléoprotéagineux diminue de 20 p. 100 par rapport au prix des céréales, la proportion de céréales aug-

mente si l'on dispose de suffisamment de matériel et de main-d'œuvre (orge en conditions non irriguées, maïs en présence d'irrigation). Inversement, si ce sont les prix des céréales qui décroissent dans les mêmes proportions, on note une augmentation des oléoprotéagineux d'hiver (pois, féverole, colza), en l'absence d'irrigation et quelles que soient les disponibilités en matériel et main-d'œuvre. Par contre, en présence d'irrigation, on retrouve sensiblement les mêmes assolements, ce qui montre que 60 p. 100 d'oléoprotéagineux dans un système irrigué assolé constituent déjà la maximum avec le rapport de prix de 1981-1982. On peut enfin noter que l'évolution des assolements est plus tranchée lorsque le matériel et la main-d'œuvre sont peu limités.

Ainsi, la souplesse d'adaptation des systèmes de culture aux fluctuations économiques, pour une même situation pédoclimatique, dépend largement des disponibilités en matériel et en main-d'œuvre. Si celles-ci sont bonnes, l'adaptation sera meilleure et la pénalisation de la marge brute plus faible (comme nous le montrerons ultérieurement). La limitation en matériel et en main-d'œuvre provoque au contraire une rigidité certaine des systèmes de culture en aggravant le manque à gagner si les coûts de production augmentent, en freinant les possibilités de profiter des prix plus avantageux de certaines productions (tournesol, soja). De plus, des contraintes d'ordre agronomique (précédent cultural, rotation, monoculture) limitent les possibilités d'extension de certaines cultures, notamment des oléoprotéagineux.

#### D. Evolution des rotations constituant les assolements précédents selon diverses hypothèses technico-économiques

La figure 5 a pour but de préciser et de synthétiser les tendances observées sur la figure précédente, mais en utilisant des exemples issus de types de sol limoneux (boulbènes) dans le but de montrer les différences créées par des caractères de sol plus contraignants. Nous avons aussi modifié le mode de présentation pour matérialiser les rotations dans la figuration de l'assolement.

Dans le cas de sols de type limoneux avec 270 mm de disponibilités hydriques naturelles pour les cultures d'été, nous retrouvons les grandes tendances observées précédemment en sols argileux, mais à cause du moins grand nombre de jours disponibles, on note l'apparition de jachère si les disponibilités en matériel et en main-d'œuvre sont insuffisantes, notamment lorsqu'on dispose de l'irrigation.

Ainsi, lorsque le coût de l'énergie augmente, la proportion de protéagineux dans l'assolement croît, de même croît la proportion d'oléoprotéagineux si les prix sont plus favorables à ces derniers qu'aux céréales.

Mais ce qui est remarquable, c'est la simplification des assolements et des rotations qui les constituent lorsque le matériel et la main-d'œuvre sont peu limités. Il y a donc possibilité de spécialisation du système de culture dans ces conditions, ce qui, en pratique, pourrait aller de pair avec un perfectionnement de la technicité au niveau de l'exploitation en rendant le système encore plus performant.

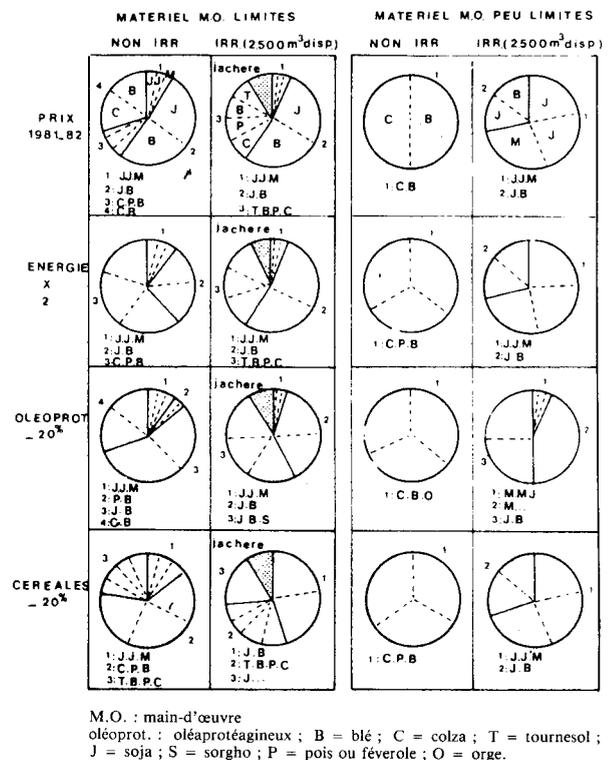


Figure 5

Evolution des rotations et assolements selon diverses hypothèses technico-économiques. Cas d'un sol limoneux à 270 mm de disponibilités naturelles en eau (voir légende fig. 1).

Rotations and land use according to different technical and economic hypotheses (silty soils with 270 mm of available natural water) (same legend as fig. 1).

Par contre, en présence de disponibilités limitées en main-d'œuvre et en matériel, les assolements se compliquent, le nombre de cultures et de rotations nécessaires à l'assolement augmente de manière à étaler le plus possible les pointes de travaux, d'où, en pratique, les difficultés de bien maîtriser chacun des facteurs de production de ces diverses cultures, prises isolément.

Ainsi, la simplification des assolements et des systèmes de culture et la maîtrise de la production sont freinées par les conditions de disponibilités en matériel et en main-d'œuvre.

#### E. Evolution des proportions de chacune des cultures selon les disponibilités hydriques naturelles, l'irrigation et la force de travail (matériel et main-d'œuvre)

Nous montrons ci-dessous l'évolution des proportions de chaque culture à partir des 3 hypothèses de disponibilités hydriques naturelles (270, 350, 420 mm) complétées plus ou moins par l'irrigation (500, 1 500, 2 500 m<sup>3</sup>/ha), selon 2 hypothèses socio-économiques de main-d'œuvre et de matériel : faible (f) ou forte (F).

Nous prendrons comme exemple le cas de sols argileux (fig. 6). Remarquons que les besoins en eau d'irrigation pour satisfaire la consommation totale en eau des cultures d'été varient de 2 500 m<sup>3</sup> (DHN de 270 mm) à 1 000 m<sup>3</sup> (DHN de 420 mm) (CABELGUENNE, 1981).

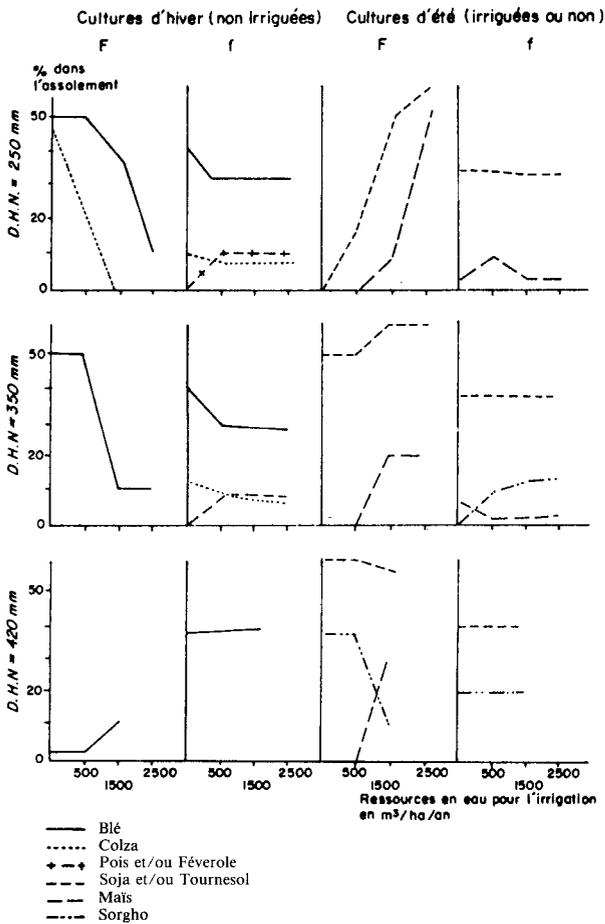


Figure 6 Evolution des proportions de chacune des cultures selon l'accroissement des disponibilités hydriques naturelles et des ressources théoriques en eau pour l'irrigation des cultures d'été (cas de sols argileux) — f: matériel et main-d'œuvre limités — F: matériel et main-d'œuvre peu limités. D.H.N.: disponibilité hydrique naturelle.

Change in the share of each crop, according to increased availability of natural water and to theoretical resources of irrigation water for summer crops (clay soils). f: equipment and labour limited; F: equipment and labour not very limited; D.H.N.: available natural water resource.

Dans l'exemple choisi ne figure pas l'orge d'hiver ; rappelons que le pois et la féverole sont pratiquement substituables et que le tournesol, qui ne figure pas non plus sur cet exemple, peut être considéré comme très proche du soja et, en partie du moins, substituable à ce dernier.

Ces résultats confirment la diminution des proportions des cultures d'hiver et, réciproquement, l'augmentation des cultures d'été lorsque les possibilités d'alimentation hydrique des cultures d'été augmentent, que cette eau provienne de la pluie, des réserves du sol ou de l'irrigation. Cette évolution des écarts entre les proportions des cultures d'hiver et d'été est d'autant plus nette que les disponibilités hydriques naturelles sont, faibles et que les possibilités d'utilisation de matériel et de main-d'œuvre sont, importantes.

Nous remarquons aussi que, selon la provenance de l'eau (pluie ou réserves du sol, et/ou l'irrigation), les assolements sont nettement différenciés. Pour le choix de système de culture, il n'y a donc pas équivalence, pour une même disponibilité totale en eau pour les

cultures d'été, entre l'eau provenant de la pluie ou des réserves du sol et les ressources en eau par l'irrigation, ceci bien que le coût de l'irrigation ne soit pas pris en compte, c'est-à-dire que l'eau d'irrigation ait, dans nos calculs, la même gratuité que celle de la pluie ou des réserves du sol pour les raisons précisées précédemment.

C'est donc essentiellement par les temps de travaux nécessités par des apports d'eau plus ou moins importants selon les disponibilités hydriques naturelles que se différencient les assolements optimisés, mis à part le cas où la main-d'œuvre et le matériel ne sont pas limitants. On peut ainsi constater combien peuvent être erronés les choix ou prévisions de systèmes de culture, notamment des systèmes irrigués, si l'on n'a pas conscience de l'importance de la faisabilité de ces systèmes, compte tenu des possibilités de l'exploitation agricole.

F. Brefs éléments comparatifs entre sols argileux (terreforts) et limoneux (boulbènes)

Sur la figure 7, nous avons comparé l'évolution des assolements dans les 2 types de sol caractéristiques du Sud-Ouest de la France, sous diverses contraintes de disponibilités hydriques naturelles, avec ou sans irrigation, et différentes disponibilités en matériel et en main-d'œuvre. La présentation est simplifiée par rapport à celle utilisée dans la figure 5, car nous avons seulement représenté la proportion globale de chacune des cultures, toutes rotations confondues.

On peut alors constater, globalement, une simili-

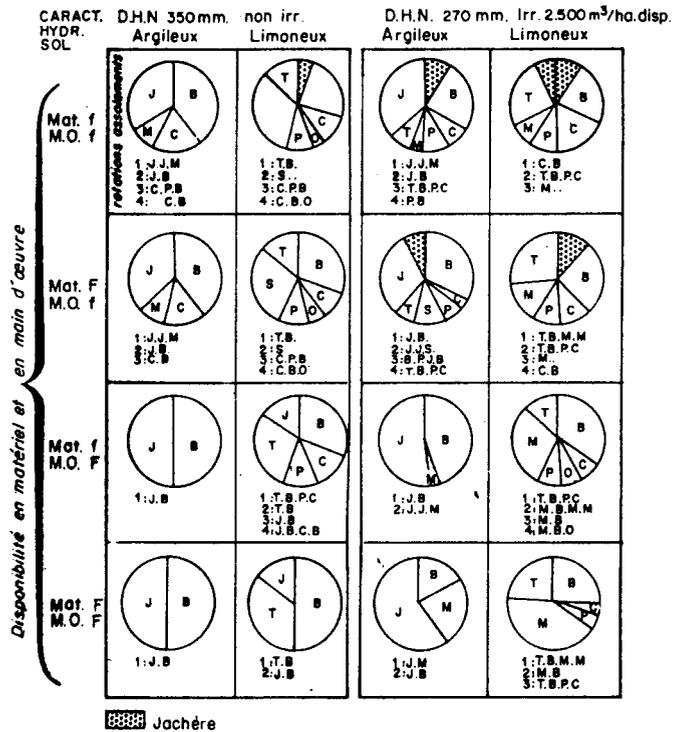


Figure 7 Evolution comparée des assolements optimisés en conditions de sols argileux et de sols limoneux (différents cas de disponibilités hydriques naturelles); prix 1981 (voir légende fig. 1). Comparison of optimized land use between clay soils and silty soils (for varying cases of available natural water); 1981 prices (same legend as fig. 1).

tude d'évolution des assolements dans les 2 types de sol sous l'effet de différentes contraintes, avec, cependant, des systèmes plus simples en sols argileux.

Les commentaires précédents sont confirmés et peuvent être reconduits en partie aux sols limoneux, à condition que ceux-ci soient relativement sains en hiver et au printemps. Dans ces conditions, on peut noter une proportion importante de pois, de colza et de tournesol. Dans les situations de boubènes fortement dégradées maintenant une anaérobiose prolongée en hiver et au printemps, ces cultures sont pratiquement interdites et les assolements possibles sont donc profondément modifiés.

On peut à nouveau confirmer que, quel que soit le type de sol et l'assolement optimisé déterminé d'après les contraintes de disponibilités hydriques naturelles et de possibilités non limitantes en irrigation, matériel et main-d'œuvre ne sont pas substituables, c'est-à-dire qu'il n'est pas possible, dans ces conditions, de pallier la carence en main-d'œuvre par un supplément d'équipement.

### G. Effets sur les assolements d'une contrainte imposée de sécurité de revenu

Lorsqu'on impose cette contrainte (fig. 8), le nombre de cultures et de rotations dans l'assolement a tendance à augmenter. De plus, le soja cède en partie sa place au maïs en nette progression et la proportion de pois augmente dans le cas où la main-d'œuvre est limitée.

Par ailleurs, nous verrons ultérieurement que la sécurité du revenu, si elle impose une modification de

l'assolement, aboutit aussi à une diminution de la marge brute. Il y a donc actuellement une impossibilité de déterminer un assolement simple, à haut revenu, et sûr. De plus, les types d'assolements les plus simples ne garantissent pas forcément leur pérennité par le maintien du niveau de productivité des terres (MARTY, 1982).

## IV. DISCUSSION ET CONCLUSION

Nous nous sommes efforcés de réaliser une synthèse de l'ensemble des caractères agronomiques et techniques du fonctionnement de rotation et, à partir d'un jugement économique, d'arriver à l'optimisation la plus globale possible d'assolements prenant en compte tous les éléments essentiels de diverses situations.

Dans ces conditions, il apparaît que les raisonnements sectoriels appliqués à une culture, une année, dans une situation pédoclimatique et pour des conditions économiques données, et les conclusions que l'on peut en tirer, doivent être repris et nuancés lorsqu'on veut passer à la dimension spatio-temporelle d'assolement, donc au niveau de l'exploitation agricole. C'est alors que s'imbriquent les caractères biologiques, techniques, agronomiques et les conditions socio-économiques (possibilités d'investissement en matériel, main-d'œuvre disponible). Il ressort alors l'importance des interactions entre les différents facteurs et conditions de production et les diverses techniques mises en jeu qui déterminent les compromis possibles assurant la faisabilité des systèmes. Ceci serait encore plus complexe si l'on considérait une unité de système de production polyculture-élevage, plus caractéristique d'exploitations inférieures à 30-40 ha.

Dans les différents scénarios présentés, il se confirme que la marge de manœuvre en tant que choix de système de culture à orientation production végétale se rétrécit d'autant plus que les contraintes sont plus importantes (contraintes d'ordre agronomique, technique ou socio-économique) (BOYELDIEU, 1983).

Il s'avère alors, par exemple, que les ressources en eau disponibles pour l'irrigation ne peuvent pas toujours être utilisées, davantage par manque de main-d'œuvre que par manque de matériel (canon à enrouleur et couverture totale par asperseurs).

De tels résultats permettent d'envisager avec davantage de prudence les conseils que l'on donne en matière de choix de systèmes de culture. C'est ainsi que, selon les situations pédoclimatiques, les fluctuations de rapports de prix, les conditions d'équipement et de main-d'œuvre, nous avons montré l'évolution possible des cultures, des rotations et, en fin de compte, des assolements optimisés. Les lois de substitution des cultures entre elles, d'une rotation à une autre, de l'eau d'irrigation à l'eau du sol et de la pluie, du capital matériel et du travail sont complexes, notamment pour assurer une crédibilité économique et une faisabilité technique et agronomique des assolements. De ce fait, il apparaît que l'accroissement de la productivité et l'intensification ne peuvent être préconisés dans toutes les situations et de façon identique, notamment celles qui concernent des exploitations de 40-50 ha à caractère familial orientées vers la produc-

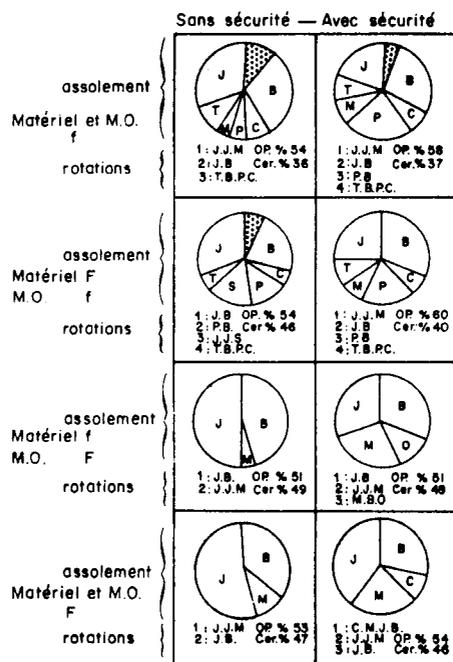


Figure 8

Exemple de l'effet de contrainte de sécurité de revenu (4 années sur 5 :  $MB \geq 3\ 000$  F/ha) sur les assolements optimisés et les rotations correspondantes (cas de sols argileux, à 270 mm de D.H.N. ; avec irrigation, ressource en eau : 1 500 m<sup>3</sup>/ha/an) (voir légende fig. 1).

Example of the effect of the constraint « income security » (4 years out of 5 : gross margins  $\geq 3\ 000$  F/ha) on optimized land use and corresponding rotations (clay soils, D.H.N. 270 mm with water resources for irrigation 1 500 m<sup>3</sup>/ha/year) (same legend as fig. 1).

tion végétale qui ont servi de base à nos hypothèses de disponibilités en matériel et en travail. Les relations de l'intensification avec la productivité se compliquent (TIREL, 1983) et il s'avère de plus en plus nécessaire de pouvoir raisonner des systèmes à différents niveaux d'intensification mieux adaptés à mettre en valeur les ressources du milieu et assurés de leur faisabilité technique et agronomique.

Cette démarche et les résultats obtenus ne peuvent cependant passer directement dans la pratique du fait de la « désincarnation » voulue de leur expression à l'unité de surface assolée. Des actions en cours permettront de préciser le degré de conformité de ces perspectives avec la réalité des exploitations agricoles (structures, parcellaires, etc...). Toutefois, cette démarche peut se révéler un outil performant, en complément d'amont des approches de recherche de système de culture par « tâtonnement » (IGER, 1972), en fournissant dès le départ aux processus de simula-

tion un assolement optimisé, notamment à partir de bases techniques et agronomiques sûres.

Dans un prochain mémoire, nous présenterons les aspects économiques qui découlent de ces perspectives d'assolements optimisés.

Reçu le 20 octobre 1983.

Accepté le 30 mai 1984.

#### REMERCIEMENTS

Pour leur aide efficace et leurs conseils, nous remercions :

- Le Comité Technique du Contrat Programme Irrigation DGRST-INRA et notamment son président R. BLANCHET ;
- J.-M. BOUSSARD et I. FOULHOUZE du Laboratoire d'Economie et de Sociologie Rurales de Paris ;
- P. CHARON de la Compagnie d'Aménagement des Côteaux de Gascogne ;
- C. LAVERNE de la Chambre Régionale d'Agriculture Midi-Pyrénées.

#### RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Bonny Sylvie**, 1981. Répercussions d'un renchérissement de l'énergie sur divers systèmes de production agricoles : études de simulation. *Bull. Techn. Inform. Min. Agric.*, **357**, 155-167.
- Boussard J.-M.**, 1980. Programmation linéaire et systèmes de culture. Communication au séminaire C.E.E. *Méthodologie d'étude des systèmes de culture*, 7-9 mai 1980, Toulouse, 57-63.
- Boyardieu J.**, 1983. Optimisation des facteurs de production. Intensification et extensification. *Cahier du C.E.N.E.C.A., Colloque International Paris*, 140-144.
- Cabelguenne M.**, 1981. *Facteurs technico-économiques de la valorisation de l'irrigation. Le cas des grandes cultures d'été dans le Sud-Ouest de la France*. Thèse Doct. de 3<sup>e</sup> cycle en Etudes Rurales Intégrées. Université de Toulouse le Mirail. Institut de Géographie D. Foucher, 214 p.
- C.A.C.G., C.R.A.M.P.** Résultats d'enquêtes, 1980, 1981. In PUECH J., MARTY J.-R., 1981 : *Valorisation de l'irrigation par les grandes cultures du Sud-Ouest (maïs, sorgho, soja, tournesol)*. C. R. de fin d'études d'une recherche financée par la Délégation Générale à la Recherche Scientifique et Technique (D.G.R.S.T.), 52 p.
- Cochard B.**, 1971. Dates de labour, qualité du travail, jours disponibles. *Bull. Assoc. Fr. Etud. Sol*, 25-38.
- Fichier Régional de Références des Cultures et des Animaux**, 1980. Comité Fédératif Régional des Centres de Gestion de Midi-Pyrénées, 207 p.
- Foulhouze I., Boussard J.-M., Nassef M.**, 1981. *La programmation linéaire dans le contrat-programme « Irrigation » de la Station d'Agronomie INRA-Toulouse Laboratoire d'Economie et Sociologie Rurales*. INRA-Paris, 33 p.
- I.G.E.R., Institut de Gestion et d'Economie Rurale**, 1972. *Système Explore. Principes de la simulation. Approche par tâtonnement*. 2 ronéotypés, 13 p. et 39 p. Direction des Services Techniques. Service Gestion.
- Marty J.-R.**, 1982. Quelques conséquences de l'évolution des sols sur le comportement et la productivité des cultures. *23<sup>e</sup> coll. S.F.P. Versailles, « La fatigue des sols »*, éd. INRA, 205 p., 193-198.
- Marty J.-R., Fioramonti S.**, 1970. Comparaison de diverses rotations sur sol limoneux mal structuré. Effet améliorant des cultures fourragères. *Ann. Agron.*, **21** (3), 269-286.
- Marty J.-R., Hilaire A.**, 1979. Effets de divers précédents culturaux sur la conduite et la production des blés d'hiver : tentative de vue d'ensemble des effets liés à l'état du sol, aux reliquats d'azote et aux résidus de récolte. *Agrochimica*, **23** (2), 152-163.
- Marty J.-R., Hutter W.**, 1975. *Expérimentation sur rotations de cultures irriguées ou non*, INRA-Auzeville, Ronéo, 21 p.
- Marty J.-R., Cabelguenne M., Puech J.**, 1984. Perspectives de valorisation d'un milieu par des assolements de grandes cultures : essais d'optimisation technico-économique. I. Elaboration d'un modèle prospectif de choix d'assolements. *Agronomie*, **4** (9), 871-884.
- Marty J.-R., Hutter W., Rellier J.-P.**, 1981. Projet de programme de recherches expérimentales sur l'optimisation des intrants dans des rotations avec céréales et oléoprotéagineux avec ou sans irrigation. *Séminaire C.E.E. : Optimisation des intrants dans un système de culture*. 15-16 janvier 1981, Toulouse, 119-131.
- Rellier J.-P.**, 1981. Etude statistique des facteurs de rendement du maïs-grain à partir de références expérimentales multispatiales. Conséquences sur l'optimisation de quelques intrants. *Séminaire C.E.E. Optimisation des intrants dans un système de culture*. 15-16 janvier Toulouse, 81-97.
- Tirel J.-C.**, 1983. Le débat sur le productivisme. *Econ. Rurale*, **155**, 23-30.