



HAL
open science

Perspectives de valorisation d'un milieu par des assolements de grandes cultures : essais d'optimisation technico-economiques ; III - Aspects technico-economiques concernant l'eau et l'irrigation en assolements optimises.

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 ; III - Aspects technico-economiques concernant l'eau et l'irrigation en assolements optimises.. *Agronomie*, 1985, 5 (1), pp.7-17. hal-02717766

HAL Id: hal-02717766

<https://hal.inrae.fr/hal-02717766>

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. III. - Aspects technico-économiques concernant l'eau et l'irrigation en assolements optimisés

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, allée de Brienne, F 31000 Toulouse*

RÉSUMÉ

Suite à deux précédents mémoires concernant les perspectives de choix d'assolements optimisés et les résultats techniques et agronomiques que l'on peut en attendre, les auteurs présentent les conséquences économiques, notamment la valorisation de l'eau et de l'irrigation par les systèmes de grande culture à graines commercialisables. Par cette démarche, il est possible d'obtenir une vue synthétique des systèmes de culture.

Ainsi, l'eau disponible pour les cultures d'été, qu'elle provienne des réserves du sol, de la pluie, ou éventuellement de l'irrigation, a une influence primordiale sur le choix du système de culture et sur le niveau de marge brute.

L'accroissement de la marge brute dans nos conditions dépend à la fois :

- de l'augmentation des disponibilités hydriques naturelles pour les cultures d'été et des ressources en eau pour l'irrigation,
- de l'accroissement de la proportion des cultures à forte marge brute, c'est-à-dire actuellement des oléoprotéagineux,
- d'un niveau élevé des disponibilités en équipement et en main-d'œuvre qui permet, en fait, l'utilisation optimale des ressources du milieu.

Mots clés additionnels : *Rotation, systèmes de culture, eau, irrigation, produit brut, marge brute.*

SUMMARY

Prospects for increasing economic value of land using field crops : examples of economic optimization under various technical constraints. III. — Economic and technical aspects concerning water and irrigation in optimized land use.

Following two preceding notes concerning the prospects of choices of optimized rotations and land use and the technical and agronomical results expected, the authors present an economic analysis, mainly concerning optimal use of water and irrigation in cropping systems with grain crops. This gives a synthetic view of the cropping systems.

In fact, the available water for summer crops, whether from soil, rainfall or possibly irrigation, had major effect on the choice of cropping system and on the level of gross margin.

Increased gross margin, in our conditions, depended on all the following factors :

- increase in the quantity of natural water available for summer crops and of water resources for irrigation,
- increase in the share of high gross-margin crops, i.e. currently oil and oleoprotein crops,
- a high level of equipment and labour availability which makes it really possible to optimize use of pedoclimatic resources.

Additional key words : *Cropping systems, gross value, gross margin, labour availability, water resources, rotation.*

I. INTRODUCTION

La démarche expérimentale utilisée par l'agronome est généralement limitée au niveau supérieur d'interprétation à une surface homogène correspondant à la parcelle. Or, à ce niveau, existe un besoin de calage technico-économique qui permet de s'assurer de la crédibilité des résultats expérimentaux face à leur possibilité d'utilisation dans le fonctionnement d'une exploitation agricole. Ce passage de la parcelle à l'unité de surface assolée implique une démarche de synthèse s'appuyant sur des résultats expérimentaux et sous-tendue par des aspects de type économique. C'est dans ce sens que nous proposons ce mémoire qui voudrait aller au-delà de la seule interprétation agronomique des faits, sans pour cela débattre essentiellement des aspects économiques qui ne sont pas de notre compétence. Nous aurons par conséquent à analyser davantage la démarche suivie que les résultats proprement dits, sujets à fluctuations, et qui ne sont là que pour illustrer la méthode et fournir quelques éléments de réflexion.

Cette méthode a été décrite en détail dans un premier mémoire (MARTY *et al.*, 1984a) où les références expérimentales utilisées ont été présentées. Un second mémoire (MARTY *et al.*, 1984b) analyse les conséquences de contraintes liées au sol, au climat, aux disponibilités en matériel, en main-d'œuvre, aux rapports de prix entre productions, sur le choix des cultures, des rotations et des assolements, c'est-à-dire de la répartition annuelle de la surface entre les différentes cultures soumises à un ordre de succession agronomiquement fiable. Nous nous proposons ici, compte tenu des conventions que nous rappellerons au cours de ce travail, d'analyser plus en détail des aspects d'ordre économique.

Un des critères discriminant important de choix d'assolements optimisés, étant la disponibilité en eau des cultures d'été, que celle-ci provienne des réserves du sol, de la pluie ou éventuellement de l'irrigation, nous marquerons plus d'intérêt à l'égard de l'utilisation de l'eau et de la valorisation de l'irrigation au niveau d'assolements les mieux adaptés aux différents facteurs et conditions de production (PUECH & MARTY, 1981). Rappelons que nous partons de références expérimentales de longue durée, intégrant les aspects climatiques, biologiques, agronomiques et techniques (MARTY & HUTTER, 1975). Ces références ont été acquises au niveau de la parcelle (succession de cultures-rotations) et utilisées pour constituer des assolements assurés d'une certaine stabilité par la prise en compte des rotations culturales permettant de réaliser ces assolements. Ce travail a été rendu possible par l'introduction d'hypothèses socio-économiques (équipement, main-d'œuvre, durée journalière de travail) issues d'enquêtes régionales (C.A.C.G., 1981 ; C.R.A.M.P., 1981) en prenant pour type l'exploitation agricole familiale à orientation production végétale, de l'ordre de 40-50 ha.

La programmation linéaire (BOUSSARD, 1980 ; FOULHOUZE *et al.*, 1981) a recherché l'utilisation optimale des différents facteurs et conditions de productions fournissant la fonction économique maximale à partir du calcul de marge brute réalisé à l'unité de surface assolée. Nous n'avons pas encore appliqué cette

démarche à une structure du type polyculture-élevage et nous nous limitons donc actuellement aux grandes productions à graines.

Enfin, il apparaît que le thème que nous présentons, c'est-à-dire la possibilité d'avoir une vision synthétique d'assolements optimisés en partant de données expérimentales liées à des résultats d'enquêtes semble encore peu exploré, ce qui explique par avance la pauvreté bibliographique de notre présentation, bien que des approches soient en cours (LANGUMIER, 1983).

II. MÉTHODE ET TECHNIQUE

Nous avons utilisé les niveaux moyens de rendement des cultures, contrôlés sur 10 ans et obtenus à partir d'itinéraires techniques raisonnés par culture et par rotation, et nous avons tenu compte, pour chaque série d'intervention, des produits utilisés et des quantités moyennes d'eau apportées par l'irrigation.

A. Calcul des marges brutes et du revenu agricole brut

Nous avons adopté le calcul classique de la marge brute (C.A.C.G., 1982) schématisé sur la figure 1, en utilisant les prix actualisés à la campagne 1981-1982. Le calcul de la marge brute par culture tient compte de l'effet de précédent cultural tel qu'il a pu être chiffré expérimentalement (MARTY & HILAIRE, 1979). Par exemple, un même niveau de rendement en blé peut être obtenu, après différents précédents culturaux, grâce à la mise en œuvre de techniques plus ou moins coûteuses (travail du sol, fumure azotée, pesticides) ; la marge brute pour un même produit brut peut ainsi varier du simple au double. Ce type de référence servant de base aux calculs économiques par assolements optimisés figure sur les fiches technico-économiques, par culture, par rotation, par hypothèse de disponibilité hydrique naturelle pour les cultures d'été (pluie + réserves du sol). Dans les cas de systèmes de cultures irriguées, les marges brutes sont calculées non compris le coût de l'irrigation, ce qui nous conduira à discuter le coût maximum de l'eau qui peut être envisagé. Rappelons enfin qu'aucune des cultures considérées ne nécessite un matériel spécialisé.

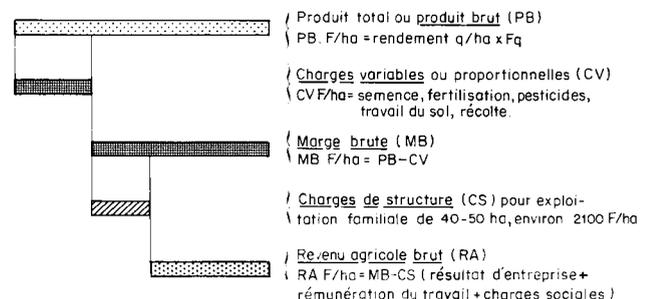


Figure 1
Définition des critères économiques.
Definition of economic criteria.

TABEAU 1
Normes et prix de commercialisation des cultures à graines
(campagne 1981-1982).
Quality standards and sale prices
(1981-1982 season)

Cultures d'été			Cultures d'hiver		
	Normes commerce eau + impur. %	Prix par quintal en F		Normes commerce eau + impur. %	Prix par quintal en F
Sorgho	15,5	96	Blé	15,5	110
Maïs	15,5	110	Orge	15,5	110
Tournesol	9,0	286	Colza	9,0	255
Soja	14,0	277	Pois/Féverole	14,0	147

B. Barème des prix 1981-1982. Hypothèses de fluctuation des rapports de prix

Les moyennes des rendements ont été ramenées aux normes de commercialisation. Les prix utilisés dans les calculs figurent au tableau 1.

Les prix des produits industriels nécessaires aux exploitations agricoles (indice PINEA) sont ceux en vigueur à l'automne 1981.

Afin d'étudier l'effet de fluctuations des prix de commercialisation des récoltes et des intrants sur les modifications des assolements et les répercussions correspondantes sur les marges brutes, nous avons émis différentes hypothèses :

- a) augmentation du coût de l'unité d'azote et du fuel,
- b) diminution relative du prix des céréales de 20 p. 100,
- c) diminution relative du prix des oléoprotéagineux de 20 p. 100.

Par ailleurs, nous montrons ainsi que l'étude peut être généralisée, même si les conditions de prix varient, les principes exposés restant permanents. Sous le même angle, nous nous appuyerons uniquement sur des résultats issus de sols de type argilo-limoneux (terreforts du Lauragais, BLANCHET *et al.*, 1966), quoique la démarche soit applicable à des types de sols différents.

III. RÉSULTATS

A. Echelle des marges brutes correspondant aux assolements optimisés sous l'effet des principales contraintes

1. Avec les prix 1981-1982

Sur la figure 2, nous montrons à partir de quels systèmes optimisés peut se réaliser la marge brute par tranches de 1 000 F. A chacune de ces tranches correspond un assolement moyen, représenté par un cercle divisé en secteurs représentant un type de culture irriguée ou non, et la proportion d'assolements optimisés fournis en tant que solution. Pour chaque type moyen d'assolement figurent les contraintes rencontrées, disponibilités hydriques naturelles, matériel, main-d'œuvre, et leur fréquence. Dans un cas, le coût d'irrigation n'est pas déduit ; dans l'autre, nous avons décompté 1 F par m³ d'eau d'irrigation « rendu racines ». Ce prix, correspondant aux charges fixes et

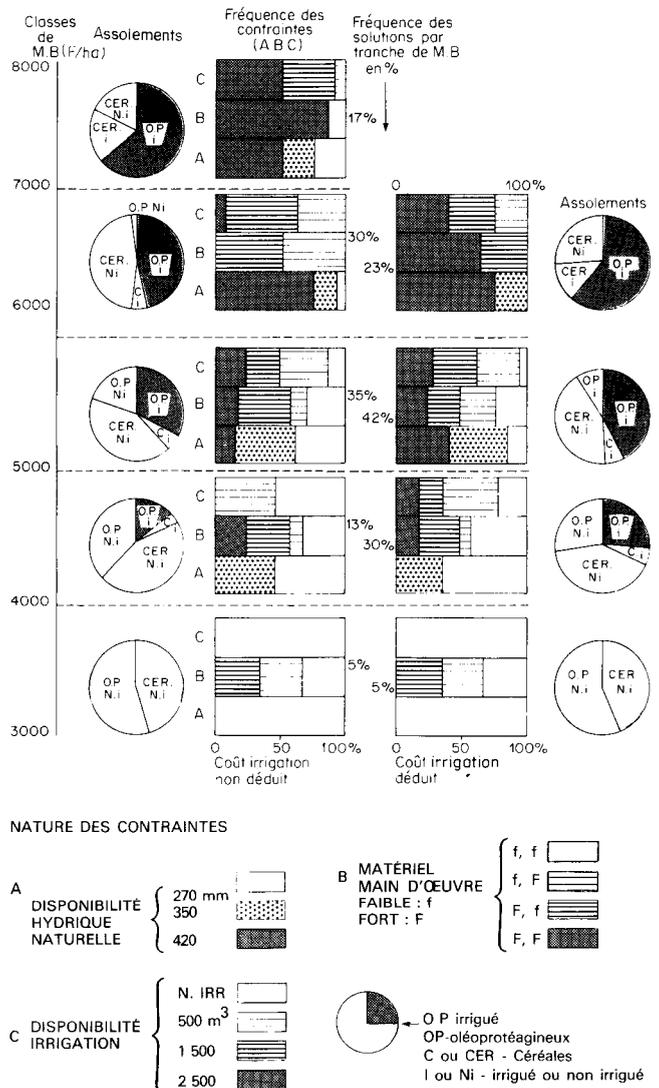


Figure 2

Evolution des marges brutes/ha selon les assolements optimisés moyens, sous différentes contraintes de disponibilité hydrique naturelle (A), de matériel et de main-d'œuvre (B), d'irrigation (C). Etude des cas avec déduction ou non des coûts d'irrigation.

Gross margin/ha according to average land use with different constraints of natural water availability (A), of equipment and labour (B), of irrigation (C). Cost of irrigation allowed for or not.

variables, peut se justifier du fait que les irrigations pratiquées ont été, en moyenne par culture irriguée et par an, toujours supérieures à 1 000 m³/ha et inférieures à 2 500 m³/ha.

Cette représentation synthétique nous a obligés à globaliser une partie des résultats et permet d'établir quelques comparaisons simples ; il ne faut pas essayer, par contre, de relier les fréquences de niveau de marges brutes rencontrées dans nos solutions avec les fréquences qui seraient susceptibles d'être obtenues régionalement.

Ainsi, les 672 solutions optimales obtenues par le jeu des combinaisons de contraintes offrent des niveaux de marge brute à l'ha qui s'étagent de 3 000 à 8 000 F (non déduit le coût de l'eau lorsqu'il y a irrigation). Ces solutions se trouvent réparties dans les différentes tranches de marge brute et, pour chacune d'elles, la fréquence d'intervention des contraintes limitantes a été analysée. Signalons enfin que l'on a pu calculer l'assolement moyen des solutions classées dans chaque tranche car elles sont suffisamment semblables pour que cette moyenne soit représentative.

A partir des principales tendances révélées par la figure 2, on peut remarquer que :

— Si le coût d'irrigation n'est pas déduit, la marge brute s'élève avec l'augmentation de la proportion de sols profonds sans grande sécheresse estivale (350 et 420 mm de disponibilités hydriques naturelles), l'augmentation de la proportion d'oléoprotéagineux irrigués, les fortes disponibilités en matériel et en main-d'œuvre ;

— Si l'on déduit le coût de l'eau d'irrigation, les marges brutes arrivent à un niveau moins élevé que précédemment et une proportion importante (72 p. 100) stagne à un niveau moyen compris entre 4 000 et 6 000 F/ha. A noter que, parmi les marges brutes supérieures à 5 000 F/ha, diminue et même disparaît le cas de sols peu profonds, même en présence de disponibilités satisfaisantes en équipement et en main-d'œuvre.

Ainsi, l'irrigation permet-elle d'accéder à des niveaux de marge brute relativement élevés dans des sols peu profonds à fort déficit hydrique estival, mais cette artificialisation de milieux difficiles reste fortement tributaire du prix de l'eau. Même en présence de disponibilités satisfaisantes en main-d'œuvre et en matériel, l'irrigation ne permet pas toujours dans ces sols d'accéder à de hauts niveaux de marge brute si l'on tient compte du coût de l'eau.

2. Avec différents rapports de prix

Nous voulons maintenant montrer l'évolution de la marge brute sous l'influence d'une modification de prix par rapport à ceux pratiqués en 1981-1982. La même présentation graphique sera utilisée avec soit un doublement du coût de l'azote et du fuel utilisé pour les interventions culturales, soit un décalage de 20 p. 100 du prix des céréales (fig. 3) ou des oléoprotéagineux (fig. 4).

Ces choix sont justifiés compte tenu du doublement de prix de l'unité d'azote réalisé au cours des 4 dernières années et des fluctuations récentes dans les rapports de prix entre oléoprotéagineux et céréales (le rapport de prix tournesol/maïs est passé de 2,4 en 1980 à 2,6 en 1983).

La figure 3 (coût d'irrigation non déduit) montre la quasi-identité des assolements moyens si le coût de la fumure azotée double ou si le prix des céréales décro-

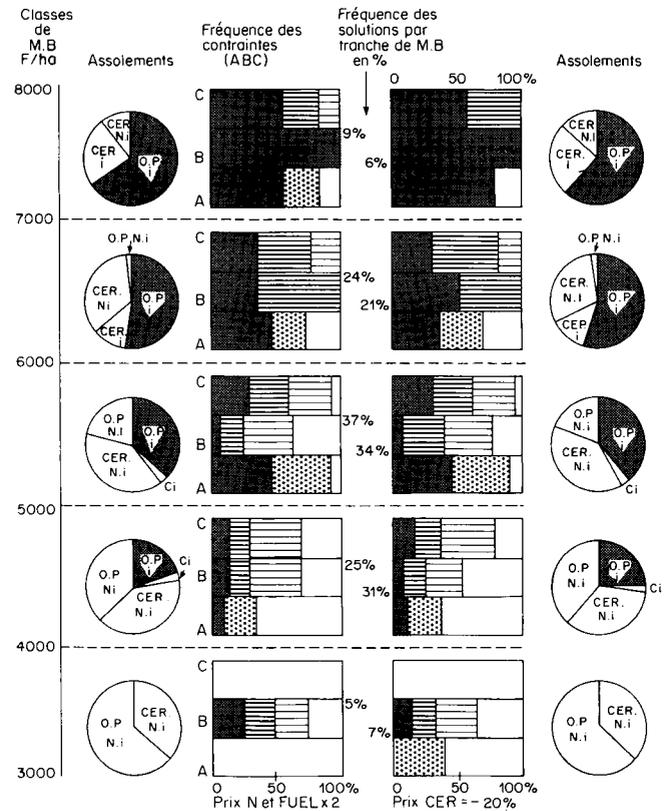


Figure 3 (cf. légende fig. 2)

Evolution des marges brutes/ha selon les assolements moyens optimisés dans l'hypothèse, d'une part, d'un prix double de l'azote (N) et du fuel, et d'autre part, d'une diminution des prix des céréales de 20 p. 100 (cas du coût de l'irrigation non déduit).

Gross margin/ha according to average land use on the hypothesis, on the one hand, of a doubled price for nitrogen fertilizer (N) and for fuel, and on the other hand, of a 20 % fall in cereal prices (no allowance for irrigation costs).

che de celui des oléoprotéagineux, et leur grande ressemblance avec les résultats présentés sur la figure 2. Ceci témoigne d'une relative rigidité des assolements moyens et de la difficulté d'adaptation à des fluctuations économiques. Le manque de souplesse découle des contraintes de main-d'œuvre, d'équipement et de jours disponibles. Dans les 2 cas, les assolements subissent une baisse générale des marges brutes.

Sur la figure 4 où le prix des oléoprotéagineux est diminué de 20 p. 100, on constate que les proportions de céréales augmentent, sans pour cela pouvoir pallier la diminution de marge brute. Du fait d'une marge brute plus élevée que celle des céréales, les oléoprotéagineux représentent, dans la marge brute à l'ha assolé, une part plus grande que leur proportion dans l'assolement.

B. Evolution de la marge brute sous l'effet de l'irrigation dans diverses conditions de disponibilités hydriques naturelles (réserves du sol + pluie) pour les cultures d'été

Sur la figure 5A, où le coût d'irrigation n'est pas déduit, nous montrons que les marges brutes augmentent avec les niveaux de disponibilités hydriques naturelles et, dans tous les cas (courbes 1, 2, 3, 4), avec les quantités d'eau utilisées et la disponibilité en matériel et en main-d'œuvre. L'irrigation permet alors d'accéder à des marges brutes élevées comparables quel que soit le niveau des ressources hydriques natu-

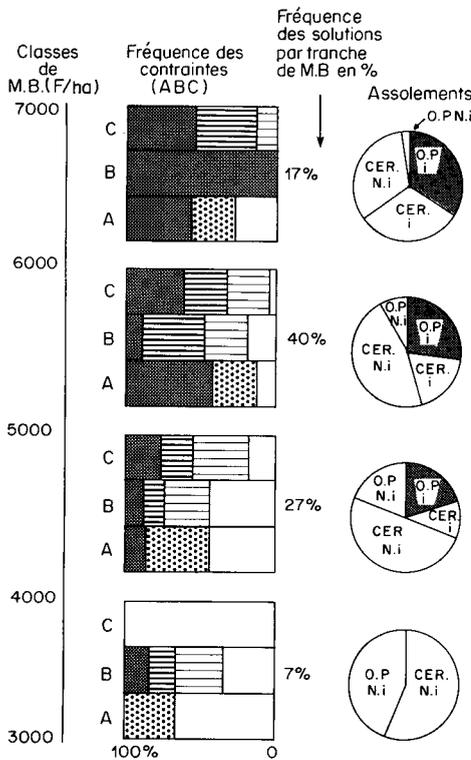


Figure 4 (cf. légende fig. 2)

Evolution des marges brutes/ha selon les assolements optimisés moyens dans l'hypothèse d'une diminution de 20 p. 100 du prix des oléoprotéagineux (cas du coût de l'irrigation non déduit).

Gross margin/ha according to average land use on the hypothesis of a 20 % fall in the price of oil and protein crops (no allowance for irrigation costs).

relles, à condition que les disponibilités en matériel et en main-d'œuvre soient satisfaisantes. Dans le cas contraire, l'eau réellement utilisée par l'irrigation diminue par rapport au maximum utilisable et les marges brutes diminuent d'autant plus que les disponibilités hydriques naturelles sont faibles, et que l'équipement et la main-d'œuvre deviennent limitants. En fait, la disponibilité en main-d'œuvre est plus contraignante que la disponibilité en matériel. Dans nos conditions, les possibilités de substitution entre le capital-matériel et le travail sont limités, contrairement à ce que l'on peut observer dans d'autres conditions de production (BOUSSARD, 1972) ou de milieu (BOUSSET *et al.*, 1983). Dans l'hypothèse d'un coût d'irrigation (1 F/m³ « rendu racine ») (fig. 5B) on constate une diminution générale des marges brutes d'autant plus importante que les disponibilités hydriques naturelles sont plus faibles. Des conditions pédoclimatiques à fortes contraintes (sols peu profonds et sécheresse estivale marquée) sont alors plus pénalisées que celles à contraintes plus faibles (sols profonds et/ou sécheresse estivale peu marquée). Ainsi, on montre que l'irrigation ne permet pas d'accéder aux mêmes niveaux de marge brute calculée à l'ha assolé par optimisation quel que soit le type de disponibilité hydrique naturelle, notamment si l'on dispose de quantités limitées en équipement et en main-d'œuvre. La rentabilité (supplément de marge brute, coût d'irrigation déduit) de l'irrigation est donc nettement plus faible dans le cas de faibles disponibilités en eau naturelle et en présence d'équipement et de main-d'œuvre insuffisants.

Légende : DHN = disponibilité hydrique naturelle en mm
 1 = matériel fort, main d'œuvre forte
 2 = " faible, " forte
 3 = " fort, " faible
 4 = " faible, " faible

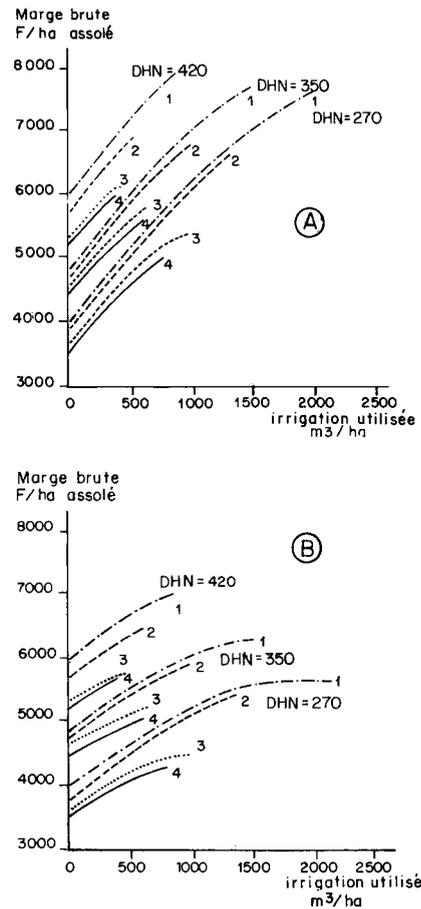


Figure 5

Evolution de la marge brute/ha selon les disponibilités hydriques naturelles (DHN = 420 mm, 350 mm ou 270 mm), en fonction des quantités d'eau d'irrigation utilisées selon les disponibilités en matériel et en main-d'œuvre.

A : coût irrigation non déduit,
 B : coût irrigation déduit (1 F/m³).

Gross margin/ha for different natural water availability (DHN = 420 mm, 350 mm, 270 mm), according to amount of irrigation water used with different equipment and labour availability.

Des rapports de prix différents, correspondant aux hypothèses précédentes ne modifient pas l'allure générale des courbes, mais diminuent le niveau global des marges brutes.

Si l'on compare l'augmentation relative des marges brutes liée à l'utilisation croissante des ressources en eau pour l'irrigation dans les 3 conditions de disponibilités hydriques naturelles, on constate (fig. 6) que cette augmentation est d'autant plus faible que les disponibilités hydriques naturelles sont plus élevées. Toutefois, les évolutions diffèrent selon qu'il est tenu compte ou non du coût de l'irrigation. En effet, l'amplitude des écarts entre les 2 courbes 1 diminue selon l'accroissement des ressources en eau naturelles, montrant ainsi que l'impact du coût de l'irrigation sur la marge brute est d'autant plus élevé que les disponibilités hydriques naturelles sont plus faibles.

Ces considérations nous engagent à préciser les modalités d'utilisation de l'eau d'irrigation dans le cadre d'assolements optimisés.

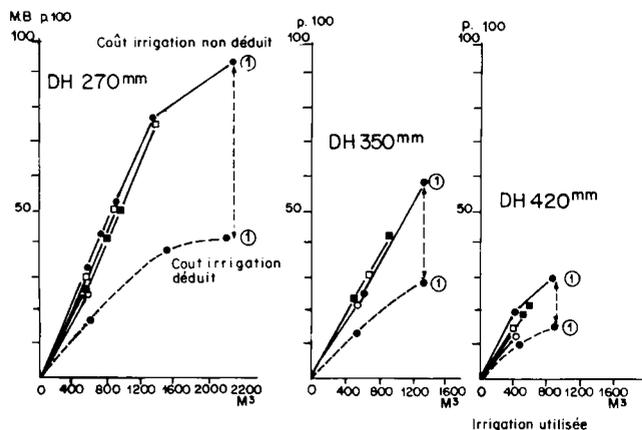


Figure 6

Augmentation relative (p. 100) de la marge brute/ha en fonction des quantités d'eau d'irrigation utilisées (coût non déduit), pour différentes disponibilités hydriques (D.H.) et possibilités en matériel et main-d'œuvre. Comparaison (1) après déduction du coût de l'eau (1 F/m³) dans le cas de matériel et de main-d'œuvre forts.

Relative increase (%) in gross margin according to amount of irrigation water used (costs not allowed for), for different water availability (D.H.) and equipment and labour possibilities. Comparison (1) after allowing for irrigation charges (1 F/m³) in the case of high level in equipment and labour.

- FF matériel et main-d'œuvre forts
- fF matériel faible, main-d'œuvre forte
- Ff matériel fort, main-d'œuvre faible
- ff matériel et main-d'œuvre faibles

C. Possibilités d'utilisation en assolements optimisés des ressources en eau d'irrigation sous l'effet des contraintes d'équipement et de main-d'œuvre

Il apparaît (fig. 7) qu'en présence de faibles ressources en eau pour l'irrigation (500 m³ par an et par ha assolé), celles-ci sont totalement utilisées, quel que soit le type de conditions pédoclimatiques et de disponibilités en équipement et en main-d'œuvre (rappelons qu'en ce qui concerne l'irrigation, les types de matériel utilisés sont la couverture totale et l'asperseur à enrouleur).

Lorsque ces ressources en eau augmentent, elles peuvent ne plus être utilisées en totalité même si l'on dispose d'équipement et de main-d'œuvre peu limitants. Dans les conditions prises en compte (sols argilo-limoneux, exploitation familiale moyenne), on atteint une limite, définie à la fois par la contrainte agronomique (par exemple monoculture de maïs sur la totalité de la sole qui permettrait l'utilisation de la totalité des ressources en eau) et la contrainte équipement-main-d'œuvre-jours disponibles (qui ne permet pas de réaliser la monoculture de maïs dans les calendriers de travaux expérimentalement définis et garantissant le niveau de rendement).

Si les disponibilités en équipement et en main-d'œuvre diminuent, les possibilités d'utilisation des ressources en eau pour l'irrigation diminuent également. Dans les conditions pédoclimatiques les plus contraignantes pour les cultures d'été (270 mm), l'eau utilisée pour l'irrigation peut n'atteindre que 25 à 30 p. 100 des ressources en eau disponibles. On peut noter à nouveau que la disponibilité en main-d'œuvre

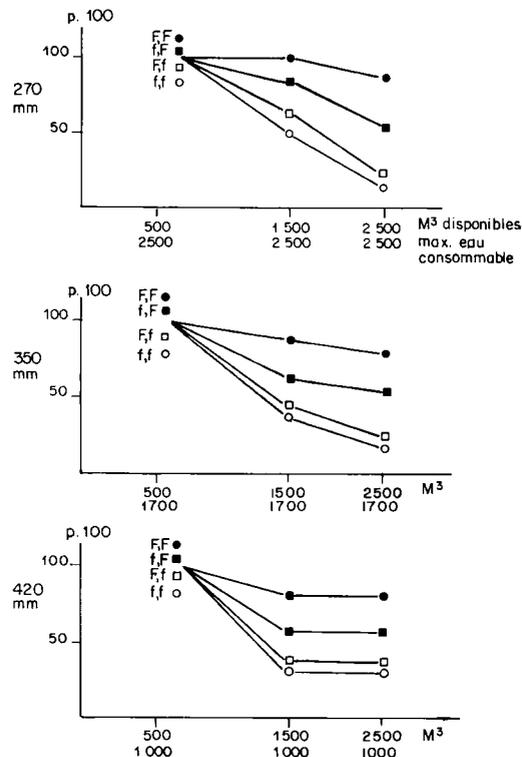


Figure 7 (cf. légende fig. 6)

Effet des contraintes d'équipement et de main-d'œuvre, compte tenu de l'optimisation de l'assolement sur les possibilités d'utilisation des ressources en eau.

Effect of labour and equipment constraints, taking into account the optimization of land use with respect to possibilities of utilisation of water resources.

est plus contraignante pour l'utilisation des ressources en eau que la disponibilité en équipement (globalement nécessaire au niveau de l'ha assolé). D'une façon générale, plus les ressources en eau pour l'irrigation augmentent et moins elles peuvent être utilisées, du moins dans nos hypothèses d'équipement en matériel d'irrigation.

A titre d'exemple, sur le tableau 2, nous montrons les modalités d'utilisation de faibles ressources en eau d'irrigation (500 m³ par ha assolé) selon diverses contraintes.

Ainsi le modèle de calcul prévoit le cas d'irrigations du type intensif satisfaisant sensiblement la totalité des besoins en eau de la culture, mais aussi des irrigations du type « période critique » utilisant moins d'eau, ainsi que la combinaison des deux pour un même type de sol. Par exemple, en présence de disponibilités en équipement et en main-d'œuvre limités, l'optimisation d'assolements en conditions contraignantes (270 mm) s'obtient par la combinaison d'une irrigation intensive du maïs sur une faible portion de la sole irriguée et d'une irrigation « période critique » du soja permettant de couvrir par l'irrigation une fraction importante de la sole irriguée. C'est donc la prise en compte de ces différentes tactiques d'irrigation qui entrent dans les calculs d'optimisation faisant appel à des quantités variables d'équipement mais surtout de main-d'œuvre.

TABLEAU 2

Modalités moyennes d'irrigation utilisées selon les disponibilités hydriques naturelles et les disponibilités en équipement et en main-d'œuvre en assolements optimisés dans le cas de faibles ressources en eau d'irrigation (500 m³ par an et par ha assolé).

Average irrigation scheme according to natural water availability and labour and equipment availability in optimized land use, in the case of low water irrigation resources (500 m³ per year and per hectare land used).

Disponibilités		Cultures (précédent et rotation confondus)	m ³ apportés sur la culture	Nombre d'interventions	Sole irriguée % de la sole totale	Total % utilisé
Equipement	Main-d'œuvre					
A. Disponibilité hydrique naturelle = 270 mm (sols peu profonds)						
important	importante	soja	2 500	7	20	500
limité	limitée	maïs	2 500	7	6	500
		soja	1 000	3	35	
B. Disponibilité hydrique naturelle = 350 mm (sols moyennement profonds)						
important	importante	soja	1 500	4	33	500
limité	limitée	maïs	1 700	5	4,5	500
		soja	1 500	4	28	
C. Disponibilité hydrique naturelle = 420 mm (sols profonds)						
important	importante	soja ⁽¹⁾	1 000	3	50	500
limité	limitée	soja ⁽²⁾	1 000	3	50	500

⁽¹⁾ Dont soja après soja pour 16,1 % de la sole.

⁽²⁾ Dont soja après blé pour 18,7 % de la sole.

D. Estimation de la valorisation du m³ d'eau d'irrigation utilisé en assolements optimisés

Dans le tableau 3, nous calculons la valorisation du m³ d'eau apporté par l'irrigation dans des assolements optimisés. Pour cela, nous comparons les systèmes optimisés en l'absence d'irrigation ou avec irrigation sans limitation des ressources en eau. Ces 2 systèmes sont comparés avec différentes disponibilités hydriques naturelles pour les cultures d'été et dans diverses hypothèses d'équipement et de main-d'œuvre. Pour les plus faibles et les plus fortes disponibilités hydriques, nous avons donné le détail des cultures de l'assolement et nous rappelons que ces cultures peuvent faire partie de diverses rotations, notamment en ce qui concerne le blé dont la marge brute varie selon le précédent cultural.

Il apparaît ainsi, dans nos conditions, que la valorisation du m³ d'eau d'irrigation peut varier de 1,67 à 2,53 F en assolements optimisés selon les contraintes de disponibilités hydriques naturelles, d'équipement et de main-d'œuvre. Ce résultat correspond au prix du m³ d'eau « rendu racine » à ne pas dépasser pour que l'irrigation ait un effet économique positif au niveau de l'assolement.

On remarque que la valorisation du m³ d'eau apporté par l'irrigation augmente avec le niveau de disponibilités hydriques naturelles dans le cas où équipement et main-d'œuvre ne sont pas contraignants (de 1,67 à 2,53 F/m³). Dans le cas contraire où la totalité de la sole ne peut être cultivée, la valorisation du m³ tend à être meilleure si les disponibilités hydriques naturelles sont faibles (2,33 à 2,02 F/m³).

Ce type de calcul réalisé par assolement optimisé avec ou sans irrigation fournit des résultats qui diffèrent notablement de ceux obtenus par la méthode traditionnelle de calcul au niveau d'une parcelle comparant culture irriguée et non irriguée (CABELGUENNE *et al.*, 1982). Les valeurs indiquées entre parenthèses sur le tableau 3 montrent que la valorisation de l'eau est

alors la meilleure lorsque les disponibilités hydriques naturelles sont faibles (2,78 et 2,73 F/m³ respectivement pour le maïs et le soja) et ces valeurs restent, de par leur méthode de calcul, indépendantes des disponibilités en équipement et en main-d'œuvre. Comme elles sont nettement supérieures aux valeurs fournies par assolements optimisés, on conçoit alors les possibilités d'erreurs d'interprétation qui peuvent être commises en ce qui concerne la valorisation de l'irrigation en milieu pédoclimatique à fort déficit hydrique. Dans les milieux plus favorables (420 mm de disponibilité hydrique) pour les cultures d'été et qui valorisent le mieux l'eau d'irrigation dans l'assolement optimisé, notamment si équipement et main-d'œuvre ne sont pas contraignants, le calcul par culture fournit des résultats inférieurs aux précédents (2,43 et 2,32 F/m³ respectivement pour le maïs et le soja).

Ceci prouve que l'étude de la valorisation d'une technique, ici l'irrigation, si elle doit en premier lieu être envisagée au niveau de la culture et de la parcelle, doit ensuite pour pouvoir être correctement interprétée, être replacée au niveau du système assolé avec ses impératifs (SÉVERAC, 1981).

E. Evolution de l'indice de rémunération du travail en système optimisé non irrigué et irrigué selon les quantités d'eau

Pour évaluer cet indice horaire, nous avons retranché des marges brutes précédemment obtenues la valeur des charges de structure (cf. fig. 1) qui peuvent être estimées globalement à 2 100 F/ha, en moyenne, pour la campagne 1981-1982 dans nos conditions (exploitation familiale à orientation production végétale, d'environ 40-50 ha — C.R.A.M.P. comm. pers.) soit

$$RB/n/ha = \frac{MB - (2\ 100\ F\ \text{charges réelles} + 1\ F/m^3\ \text{irrigation})}{\text{nombre d'heures de travail}}$$

TABLEAU 3

*Assolements, marges brutes, et valorisation de l'eau d'irrigation (cas de sols argilo-limoneux).
Land use, rotations, gross margins and use of irrigation water (case of clay soils).*

Sans irrigation

Avec irrigation (eau non limitante)

Cultures de l'assolement	% de la sole	Marge brute en F par fraction de l'ha assolé	Irrigation cultures irriguées mm	% de la sole	Marge brute en F par fraction de l'ha assolé	Marge brute en F de la sole irriguée	Total eau irrigation utilisée m ³ /ha assolé	Valorisation m ³ en F
I. — Disponibilité hydrique naturelle 270 mm								
A. Equipement et main-d'œuvre contraignants								
Blé	41	1 917	0	31	1 469			
Colza	15	668	0	8	356			
Pois	5	174	0	19	664			
Maïs	4	24	250	6	453			(2,78) ⁽¹⁾
Tournesol			0	8	212			
Soja	35	728	250	23	2 046			(2,73) ⁽¹⁾
Total	100	3 511	—	95	5 200	2 499	725	2,33 ⁽²⁾
B. Equipement et main-d'œuvre peu contraignants								
Blé	50	2 112	0	14	591			
Colza	50	2 226						
Maïs			250	24	1 812			(2,78) ⁽¹⁾
Soja			250	62	5 517			(2,73) ⁽¹⁾
Total	100	4 338	—	100	7 920	7 329	2 150	1,67 ⁽²⁾
II. — Disponibilité hydrique naturelle 350 mm								
A. Equipement et main-d'œuvre contraignants								
Total	100	4 716	—	94	5 838	3 532	604	1,86 ⁽²⁾
B. Equipement et main-d'œuvre peu contraignants								
Total	100	4 961	—	100	7 740	7 055	1 338	2,08 ⁽²⁾
III. — Disponibilité hydrique naturelle 420 mm								
A. Equipement et main-d'œuvre contraignants								
Blé	36	1 760	0	35	1 711			
Sorgho	21	927	0	18	794			
Soja	38	2 500	100	39	3 470			(2,32) ⁽¹⁾
Total	95	5 187	—	92	5 975	3 470	390	2,02 ⁽²⁾
B. Equipement et main-d'œuvre peu contraignants								
Blé			0	14	685			
Sorgho	34	1 500						
Maïs			100	24	1 812		240	(2,43) ⁽¹⁾
Soja	66	4 342	100	62	5 517		620	(2,32) ⁽¹⁾
Total	100	5 842	—	100	8 014	7 329	860	2,53 ⁽²⁾

⁽¹⁾ Calcul par culture et par ha de la valorisation du m³ d'eau d'irrigation (correspond à l'approche traditionnelle).

⁽²⁾ Marge brute irriguée - marge brute sec/m³ d'eau utilisée.

La figure 8 montre que cet indice est d'autant plus élevé que les disponibilités hydriques naturelles sont plus importantes. Pour chacune des situations pédo-climatiques envisagées, les meilleurs indices sont obtenus dans le cas de disponibilités peu contraignantes en équipement et en main-d'œuvre.

Enfin, si l'irrigation permet d'augmenter globalement la marge brute, elle rentabilise relativement peu l'heure de travail. L'indice est légèrement amélioré par l'irrigation en situation pédo-climatique contraignante (270 mm de disponibilité hydrique naturelle pour les cultures d'été) ; il tend à se stabiliser et à diminuer dans les situations moins contraignantes qui, pourtant, permettent une meilleure rentabilisation de l'irrigation comme nous l'avons précédemment montré.

En conséquence, les marges brutes n'augmenteraient pas proportionnellement à la quantité de travail nécessaire pour satisfaire la réalisation des systèmes irrigués ; la valorisation du travail en système irrigué optimisé est de plus en plus faible au fur et à mesure que s'accroissent les contraintes pédo-climatiques, ce qui nous a conduits à considérer avec prudence l'intérêt de l'irrigation pour l'exploitant au-dessous d'une certaine disponibilité naturelle en eau pour les cultures d'été, du moins dans le cadre des conditions que nous avons étudiées. Par contre, l'interprétation de ces résultats à l'échelle régionale, à l'égard des systèmes irrigués, doit être nuancée selon les choix faits au niveau du développement régional et des investissements nécessaires au niveau de l'aménagement de périmètres irrigués. Par ailleurs, en ce qui concerne

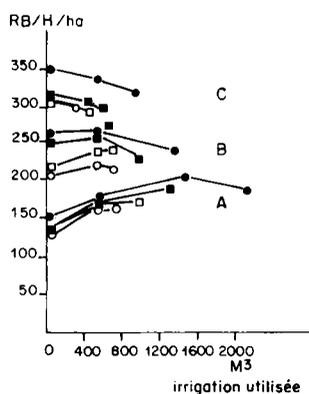


Figure 8

Indice de rémunération horaire en fonction des quantités d'eau d'irrigation utilisées et selon différentes disponibilités hydriques naturelles (A : 270 mm, B : 350 mm, C : 420 mm), et contraintes en matériel et main-d'œuvre.

Hourly payment index in relation to the amount of irrigation water used and according to different natural water availabilities (A : 270 mm, B : 350 mm, C : 420 mm) and equipment and labour constraints.

uniquement l'équipement lié à l'irrigation, par exemple, par l'adoption de systèmes totalement automatisés, il est possible que nous aurions à pondérer notre interprétation en ce qui concerne les substitutions entre capital matériel et travail, pour aboutir à un meilleur indice de valorisation du travail grâce à des investissements plus lourds en matériel.

F. Effet de la contrainte de sécurité de revenu

Sur le tableau 4 nous avons repris l'exemple présenté dans le mémoire précédent et nous constatons que la contrainte de sécurité de revenu a pour conséquence une modification des assolements. Ainsi apparaît une diminution de la proportion du soja remplacé en partie par le maïs, du fait de la plus grande variabilité de rendement du soja bien qu'avec les nouvelles variétés de soja, la variabilité interannuelle du rendement tende à diminuer. Ceci a pour effet une diminution du revenu lorsque la disponibilité en main-d'œuvre est élevée et quelle que soit la disponibilité en matériel. Par contre, lorsque la main-d'œuvre est insuffisante, la marge brute tend à se maintenir quelles que soient les performances en matériel. On note enfin que le fait d'imposer une sécurité de revenu ne s'accompagne pas d'une augmentation de l'utilisation de l'irrigation ; celle-ci est davantage liée au matériel et à la main-d'œuvre, nécessaires à la fois pour l'implantation des cultures irrigables et pour assurer ensuite la mise en place et la maintenance de l'irrigation.

IV. DISCUSSIONS ET CONCLUSIONS

La démarche d'optimisation suivie dans le modèle de recherche d'assolements découle de l'obtention d'une marge brute maximale dont le calcul est basé sur l'ensemble des références technico-agronomiques obtenues, pour une large part, sur une expérimenta-

TABLEAU 4

Effet de la contrainte de sécurité de revenu sur les assolements et les conséquences économiques selon diverses hypothèses de disponibilité en matériel et en main-d'œuvre.
Effect of the income security constraint on land use and economic consequences according to various hypotheses of equipment and labour availability.

Sans contrainte de sécurité de revenu.

Avec contrainte de sécurité de revenu.

Disponibilité en matériel et en main-d'œuvre	Assolement		Résultat technico-économique		Assolement	Résultat technico-économique		
	Culture	%	Marge brute F/ha	Eau IRR utilisée m ³ /ha		Culture	%	Marge brute F/ha
Matériel faible Main-d'œuvre faible	Soja	30	5 050	780	Soja	23	5 010	710
	Tournesol	8			Tournesol	8		
	Maïs	2			Maïs	6		
	Blé	34			Blé	31		
	Pois	8			Pois	20		
	Colza	8	Colza	8				
Matériel faible Main-d'œuvre forte	Soja	51	6 810	1 330	Soja	35	6 370	1 310
	Maïs	2			Maïs	17		
	Blé	47			Blé	36		
				Orge	12			
Matériel fort Main-d'œuvre faible	Soja	38	5 390	950	Soja	27	5 380	850
	Tournesol	3			Tournesol	6		
	Sorgho	10			Maïs	7		
	Blé	30			Blé	32		
	Pois	12			Pois	19		
	Colza	3	Colza	6				
Matériel fort Main-d'œuvre forte	Soja	53	7 020	1 500	Soja	44	6 820	1 500
	Maïs	7			Maïs	16		
	Blé	40			Blé	30		
					Colza	9		

tion pluriannuelle de comparaison de rotations (MARTY & HUTTER, 1975). Nous aurions pu choisir d'autres types de démarche fixant les perspectives de choix d'assolements telles que la minimisation du travail ou de la consommation d'énergie et, probablement, d'autres enseignements auraient pu être développés. Ceci montre qu'un tel modèle prospectif (et non prédictif), malgré ses imperfections et ses limites, présente plusieurs avantages :

- la possibilité de réaliser une synthèse d'ordre à la fois temporelle (rotations) et spatiale (assolements) des nombreuses données, grâce au travail en multidisciplinarité (agronomie, biométrie, économie) en collaboration avec différents organismes (Chambre Régionale d'Agriculture, Compagnie d'Aménagement des Côteaux de Gascogne) ;

- d'offrir des orientations dans les choix possibles de systèmes de culture agronomiquement et économiquement fiables et crédibles ;

- de connaître les places respectives que peuvent prendre les différentes cultures dans les assolements et de suivre leur évolution sous l'effet de diverses contraintes (agronomiques, économiques, techniques), donc d'apprécier la sensibilité des assolements proposés ;

- d'estimer enfin les impacts d'ordre agronomique qui découlent des choix d'assolements optimisés.

Toutefois, nous avons utilisé des résultats expérimentaux obtenus avec une seule stratégie de production visant un bon niveau de rendement avec une intensification modérée. Ceci implique une relative bonne maîtrise des processus de production, une spécialisation en production végétale, l'emploi d'un machinisme approprié, ensemble de conditions qui ne sont pas toujours réunies dans une exploitation.

Nous devons, par conséquent, être prudents pour toute utilisation directe de ces résultats sous l'angle « assolements optimisés et techniques mises en œuvre », car nous n'avons pas tenu compte, entre autres, des différentes possibilités d'intensification des cultures présentes dans un même type d'assolement. Par contre, nous pouvons considérer chacune des données issues du modèle comme des points caractéristiques d'assolements et de rotations entre lesquels nous observons la diversité réelle des systèmes culturaux régionaux. Ce large éventail de choix possibles permet de confronter les aspects agronomiques et économiques et de raisonner au niveau de l'unité de surface assolée, et non plus parcelle par parcelle, et d'accéder ainsi à une vision synthétique du système de culture.

Cette étude s'inscrit de manière plus générale dans les perspectives de valorisation d'un complexe pédoclimatique donné par des assolements optimisés de grandes cultures. Elle s'est davantage attachée à étudier la place de l'irrigation et la valorisation de l'eau par différents systèmes de cultures adaptés à des contraintes d'ordre agronomique (caractères des sols, calendriers de travaux, jours disponibles, rotations) et socio-économiques (disponibilité en matériel et en main-d'œuvre, horaires de travail).

Dans ces conditions, il apparaît que l'eau disponible pour les cultures d'été, qu'elle provienne des réserves du sol, de la pluie ou, éventuellement, de l'irrigation,

a une influence primordiale sur le choix des systèmes de culture et sur les niveaux de marge brute.

Ainsi l'accroissement de la marge brute dépend-elle à la fois de conditions pédoclimatiques non modifiables *a priori* et des décisions de l'agriculteur. Cet accroissement peut provenir :

- de l'augmentation des disponibilités hydriques naturelles pour les cultures d'été et des ressources en eau pour l'irrigation ;

- de l'accroissement de la proportion des cultures à forte marge brute, c'est-à-dire actuellement des oléoprotéagineux ;

- d'un niveau élevé des disponibilités en équipement et en main-d'œuvre qui permet en fait, l'utilisation optimale des ressources du milieu.

Il faut noter que cette augmentation de la marge brute ne s'accompagne pas d'un accroissement des indices de rémunération de l'unité de travail mais d'une proportion plus importante de cultures irriguées nécessitant un accroissement des temps de travaux.

Ainsi, plus les contraintes de déficit hydrique des cultures estivales s'accroissent, plus il est difficile et coûteux de valoriser les ressources naturelles du milieu. Ceci nous a amenés à distinguer la différence entre l'efficacité d'un système irrigué, d'autant plus grande que la contrainte pédoclimatique est plus élevée, et la rentabilité, liée plus directement au revenu qui dépend des rapports de prix entre cultures et de leur coût respectif de production.

Dans ces conditions et avec les rapports de prix actuels, c'est essentiellement la disponibilité en main-d'œuvre qui freine l'utilisation de l'irrigation. Evidemment, en dehors des calendriers de travaux retenus dans le modèle, les contraintes diminueraient, mais s'accroîtraient aussi les risques, en ce qui concerne le niveau et la régularité interannuelle des rendements.

Ces différents aspects apportent ainsi aux agronomes et aux responsables du développement agricole des éclairages nouveaux pour mieux cerner certains goulots d'étranglement qui peuvent limiter les possibilités d'adoption des techniques nouvelles ou l'utilisation de techniques coûteuses comme, par exemple, l'irrigation.

Des possibilités de transfert en situations réelles sont actuellement en cours d'étude :

- contrôle des surfaces d'exploitation correspondant aux diverses solutions d'assolements, en prenant l'utilisation à part entière d'une des 2 options de chaîne de matériel, performante ou peu performante (dans chacun des cas, une fraction de l'autre pouvant être utilisée), et comparaison aux types caractéristiques d'exploitations régionales (enquêtes CACG, CRAMP, SUAGER) ;

- modifications éventuelles d'entrées du modèle (augmentation du temps de travail en période de pointe par exemple) lorsque les comparaisons précédentes le nécessitent ;

- analyse des différences entre assolements et revenus existants (situations réelles en exploitation) et ceux fournis par le modèle. Certains goulots d'étranglement ainsi précisés, on peut envisager des possibilités d'innovations conduisant à une meilleure valorisation des ressources de l'exploitation.

En première approche, les solutions d'assolements optimisés s'appliquent, en nos conditions de sols argilo-limoneux et limoneux, à des surfaces comprises entre 30 et 50 ha avec 1,8 à 2 UTH (unité de travail humain). D'autre part, certains des résultats du modèle sont déjà réalisés dans quelques exploitations bien équipées, à niveau élevé de technicité (par exemple, maïs et/ou sorgho, soja, blé, ou encore tournesol, maïs, blé).

Progressivement, les résultats obtenus seront utilisés en collaboration avec le développement agricole dans les voies suivantes :

— proposition d'occupation du sol par les cultures (parcelles, rotations, assolements) et établissement de fiches techniques avec élaboration d'itinéraires techniques prévisionnels, au niveau de la rotation selon différents niveaux d'intensification ;

— projet d'insertion ou de développement de cultures nouvelles (tournesol, soja, cultures dérobées) au niveau des exploitations agricoles ;

— calendriers fréquentiels d'emploi du matériel avec les besoins en équipement, et donc en investissements, suivant quelques assolements optimisés typiques.

Face aux options et décisions que l'agriculteur doit prendre de plus en plus rapidement et judicieusement, ces solutions fournissent des repères qui permettent de guider ses choix en matière d'assolement. On peut aussi dégager des solutions voisines qui le satisfassent en des situations réelles trop complexes où le modèle ne peut fournir une seule réponse globale.

Reçu le 25 octobre 1983.

Accepté le 9 juillet 1984.

REMERCIEMENTS

Cet essai de synthèse des aspects techniques, agronomiques et économiques concernant les perspectives de choix d'assolements optimisés en condition irriguée ou non, n'a été possible que grâce à la collaboration, l'aide et les conseils de :

— R. BLANCHET, président du Comité Technique de Contrat Programme Irrigation D.G.R.S.T.-I.N.R.A.

— 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. LAVERNHE de la Chambre Régionale d'Agriculture de Midi-Pyrénées que nous tenons à remercier très sincèrement.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Blanchet R., Bosc M., Maertens C., Gelfi N., Cabelguenne M., 1966. Quelques caractères physico-chimiques de sols-types de la région toulousaine ; conséquences agronomiques. *Bull. Assoc. Fr. Etud. Sol*, 2, 16-26.

Boussard J.-M., 1972. L'économie de l'adoption de l'irrigation. *Bull. techn. Inf. Min. Agric.*, 27, 1-10.

Boussard J.-M., 1980. Programmation linéaire et système de culture. Communication au séminaire C.E.E. *Méthodologie d'étude des systèmes de culture*, 7-9 mai 1980, Toulouse, 57-63.

Bousset J.-P., Cayle D., Lablanque M., Oulion G., 1983. La diversification des productions agricoles peut-elle être une voie intéressante ? L'exemple du Ségala aveyronnais. *Bull. Inf. CEMAGREF*, 300, 47-56.

Cabelguenne M., Marty J.-R., Hilaire A., 1982. Comparaison technico-économique de la valorisation de l'irrigation par 4 cultures d'été (maïs, soja, sorgho, tournesol). *Agronomie*, 2 (6), 567-576.

C.A.C.G. (Compagnie d'Aménagement des Côteaux de Gascogne), 1981. *L'irrigation en Gascogne, opinion des agriculteurs*. Contrat de programme DGRST, 88 p.

C.A.C.G. (Compagnie d'Aménagement des Côteaux de Gascogne), 1982. *Résultats de 1980 des exploitations utilisant l'irrigation. Panel d'exploitation*. Brochure interne, 103 p.

C.R.A.M.P. (Chambre Régionale d'Agriculture de Midi-Pyrénées), 1981. Service d'Etudes Economiques. *Comportement des agriculteurs de l'A.S.A. de la vallée de la Lèze et propositions pour une démarche de développement*, 26 p.

C.R.A.M.P. (Chambre Régionale d'Agriculture de Midi-Pyrénées), 1981. Service d'Etudes Economiques. *L'irrigation dans le canton de Montaignu de Quercy en Tarn-et-Garonne. Opinion des agriculteurs*. 46 p.

Foulhouze I., Boussard J. M., Nassef M., 1981. *La programmation linéaire dans le contrat programme « Irrigation » de la Station d'Agronomie, I.N.R.A., Toulouse*. Lab. Econ. Sociol. Rurales, I.N.R.A., Paris, 33 p.

Langumier A., 1983. Drainage et économie de l'exploitation agricole. *Bull. Inf. CEMAGREF*, 300, 63-72.

Marty J. R., Hilaire A., 1979. Effets de divers précédents culturaux sur la conduite et la production du blé 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*. I.N.R.A., Auzeville, Ronéo, 21 p.

Marty J. R., Cabelguenne M., Puech J., 1984a. Perspectives de valorisation d'un milieu par des assolements de grandes cultures. Essai d'optimisation technico-économique. I. — Elaboration d'un modèle de choix d'assolement. *Agronomie*, 4 (9), 871-884.

Marty J. M., Cabelguenne M., Puech J., 1984b. Perspectives de valorisation d'un milieu par des assolements de grandes cultures optimisés techniquement, agronomiquement et économiquement. II. — Exemples d'assolements : résultats techniques et agronomiques. *Agronomie*, 4 (10), 915-925.

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'étude d'une recherche financée par la Délégation Générale à la Recherche Scientifique (D.G.R.S.T.), 52 p.

Séverac M., 1981. Doit-on irriguer le maïs dans la Vallée du Rhône. *Bull. techn. Inf. Min. Agric.*, 357, 75-92.