



HAL
open science

Comparaison technico-economique de la valorisation de l'irrigation par quatre cultures d'ete (maïs, soja, sorgho, tournesol)

M. Cabelguenne, J.R. Marty, A. Hilaire

► To cite this version:

M. Cabelguenne, J.R. Marty, A. Hilaire. Comparaison technico-economique de la valorisation de l'irrigation par quatre cultures d'ete (maïs, soja, sorgho, tournesol). *Agronomie*, 1982, 2 (6), pp.567-576. hal-02728696

HAL Id: hal-02728696

<https://hal.inrae.fr/hal-02728696>

Submitted on 2 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.

Comparaison technico-économique de la valorisation de l'irrigation par quatre cultures d'été (maïs, soja, sorgho, tournesol)

Maurice CABELGUENNE, Jean-Robert MARTY & Alain HILAIRE (*)

avec la collaboration technique de Marcel DABASSE, Sylvain CASTELLE, Denis VIALAN & Oscar GIROTTO
I.N.R.A., Station d'Agronomie, Centre de Recherches de Toulouse, B.P. n° 12, F 31320 Castanet-Tolosan

RÉSUMÉ

*Réponses à l'eau,
Relations eau - rendement,
Relations eau - produit brut,
Charges opérationnelles,
Relations marges brutes -
quantité d'eau consommée,
Rapports de prix.*

Les auteurs montrent l'importance des facteurs techniques et économiques dans la valorisation de l'irrigation de quatre cultures d'été (maïs, soja, sorgho et tournesol), cultivées dans le Sud-Ouest de la France.

La méthodologie proposée s'appuie sur les aspects biologiques de chaque culture et notamment les courbes de réponse à l'eau. Les auteurs ont ainsi successivement mis en évidence, à partir des rendements et des quantités d'eau consommées, les relations eau-rendement, puis eau-produit brut à partir des prix agricoles 1980.

Le calcul des charges opérationnelles afférentes à chaque culture, avec différents coûts du m³ d'eau d'irrigation, permet de hiérarchiser différents niveaux de marges brutes, à partir de 3 cas de disponibilités hydriques naturelles représentant les principaux milieux pédoclimatiques de la région.

Avec les rapports de prix 1980, la valorisation de l'irrigation est assurée dans l'ordre dégressif suivant : 1 soja, 2 maïs, 3 tournesol, 4 sorgho.

Dans la seconde partie, les auteurs considèrent différents niveaux de rendement afin de situer ceux à atteindre entre les cultures pour obtenir des marges brutes équivalentes, calculs effectués avec les prix 1980, et en simulant une évolution basée sur les tendances manifestées au cours des dernières années.

Cette étude technico-économique permet de conclure que la rentabilité de l'irrigation est bien liée aux comportements agronomiques de chaque espèce vis-à-vis de l'eau, mais aussi aux coûts de plus en plus élevés des charges opérationnelles (engrais et coûts de l'irrigation) et à l'évolution des rapports de prix ; ces 2 derniers facteurs tendent à devenir des éléments prépondérants du choix entre les cultures.

SUMMARY

*Water-responses,
Water-yield ratio,
Water-yield value ratio,
Cropping-costs,
Gross margin-water-
consumption relation,
Crops prices ratios.*

Technical and economic comparison of the cost effectiveness of irrigation for four summer crops : maize, soybean, sorghum, sunflower

The importance of technical and economic factors is assessed for the irrigation of four summer crops : maize, soybean, sorghum, sunflower, in the conditions of South West France.

The methodology used accounts for biological aspects for each crop, and specially water response curves. On the basis of yields and water consumption, the water-yield and water-yield value ratios are discussed according to agricultural prices in 1980.

On the basis of cropping costs for each species, with different water costs per cubic meter, it is possible to grade different levels of gross margins, in relation to three cases of natural water availability (rainfall plus soil water reserve) representative of the principal pedoclimatic conditions of the area.

With 1980 price ratios, the value of irrigation for the four crops decreases as follow : 1 soybean, 2 maize, 3 sunflower, 4 sorghum.

In the second part, different levels of yield capacity are examined in order to fix the yield levels required to obtain equivalent gross margins for the different crops : the calculations are made at 1980 prices, with simulation of price changes based on observed tendencies during previous years.

This technical and economic study leads to the conclusion that the cost-effectiveness of irrigation is directly linked to the agronomic behaviour of each crop, but also to the ever increasing cultivation costs (fertilization and cost of irrigation) and the change in price ratios : these two last factors tend to become the mainly elements in the choice between summer crops.

(*) S.U.A.D. Htc-Garonne, 61, allée de Brienne, F 31000 Toulouse

I. INTRODUCTION

De nombreuses recherches ont permis de proposer des modèles simples de réponse des rendements de diverses cultures selon les ressources en eau. C'est ainsi que la Division de la mise en valeur des terres et des eaux de la F.A.O. (1980) a établi, pour 26 cultures irriguées, les relations entre les rendements et la consommation d'eau. Mais déjà en 1958, en France, ROBELIN & COLLIER, puis ROBELIN & MINGEAU (1970) avaient précisé ces relations pour diverses cultures d'été.

Parallèlement à ces aspects biologiques, des études relatives à la rentabilité de l'irrigation étaient entreprises sur le plan économique (ATTONATY, 1969 ; CORDONNIER, 1976). Enfin, depuis 1974, l'augmentation brutale du prix de l'énergie a induit une telle élévation des coûts de production que la question concernant l'intérêt économique et la rentabilité de l'irrigation des cultures grosses consommatrices d'eau (maïs par exemple) s'est trouvée posée.

Il devenait donc nécessaire d'essayer de faire le point sur ces aspects de valorisation de l'irrigation et d'étudier en particulier les relations existantes entre les données technico-agronomiques et biologiques des cultures et les contraintes économiques.

C'est ainsi qu'en 1980, nous proposons une modélisation touchant les aspects technico-économiques de la valorisation de l'eau illustrée par le cas du maïs (CABELGUENNE, 1980), qui précisait l'influence du progrès agronomique et des rapports de prix entre maïs et tournesol dans diverses conditions de disponibilités en eau (CABELGUENNE *et al.*, 1980).

Nous proposons ici de comparer, toujours à l'échelle de la sole irriguée (ha), la valorisation de l'eau de 2 cultures céréalières (maïs et sorgho) et de 2 oléoprotéagineux (soja et tournesol) dont le développement dans le Sud-Ouest de la France peut représenter une alternative aux systèmes céréalières.

Cette étude a donc pour objectif, dans des conditions pédo-climatiques régionales précises, de montrer l'intérêt de l'irrigation et de classer les cultures selon leur niveau de valorisation des ressources en eau. Nous tâcherons également de dégager les cultures répondant le mieux aux apports d'eau limités en simulant différents cas de disponibilités hydriques naturelles à partir desquelles nous introduirons l'irrigation à des doses variables. Il sera alors possible d'établir un classement entre les cultures par ordre de marges brutes tenant compte des possibilités quantitatives d'irrigation.

II. MÉTHODOLOGIE

A. Aspects biologiques : relation eau-rendement, réponses à l'eau

ROBELIN & COLLIER (1958) ont assimilé à une droite la relation entre la production de matière sèche totale d'une culture et la satisfaction des besoins en eau :

$$Q_{mm} = k \cdot MST$$

d'où la relation déduite :

$$MST = a \frac{ETR}{ETRM} \pm b$$

Q_{mm} : quantité d'eau consommée
 MST : matière sèche totale produite par la culture
 ETR : évapotranspiration réelle de la culture
 ETRM : évapotranspiration réelle maximale de la culture

Mais le coefficient de régression « a », dépendant du potentiel de production du matériel végétal (génotype) et du milieu pédo-climatique, ne peut donc être généralisé à toutes les cultures et à toutes les situations.

C'est pourquoi d'autres auteurs (ROBELIN & MINGEAU, 1970 ; PUECH & MAERTENS, 1974) ont généralisé l'équation eau-production en utilisant le rapport de production, ce qui la rend indépendante du potentiel de production :

$$\frac{MST(ETR)}{MST(ETRM)} = a' \frac{ETR}{ETRM} \pm b'$$

Cette équation permet donc la comparaison des diverses cultures placées dans des situations pédo-climatiques différentes, à condition qu'il n'y ait pas d'autres facteurs en interactions avec l'alimentation hydrique.

A partir du dispositif expérimental I.N.R.A. d'étude des systèmes de culture (MARTY & HUTTER, 1975), et des expérimentations conduites en d'autres situations (FIORAMONTI *et al.*, 1967 ; COMBRET *et al.*, 1969), nous avons pu préciser, pour les cultures d'été concernées, les valeurs de la réponse à l'eau selon diverses modalités d'alimentation hydrique.

Par ailleurs, DOORENBOS & KASSAM, dans le bulletin FAO (1980), citent les travaux de WITT (1958), de BIERHWIZEN (1976), de FEDDES (1971, 1978) et de KOWALIK (1973) qui ont permis à SLABBERS (1978), selon la méthode de Wageningen, de montrer que la réponse du rendement à l'apport d'eau pouvait s'effectuer au moyen de coefficients de réponse du rendement (ky), mettant en rapport la baisse du rendement relatif (1 — ya/ym) et l'accroissement du déficit de l'évapotranspiration relative (1 — ETR/ETRM) où :

ky = coefficient de réponse du rendement
 ya = rendement récolté réel
 ym = rendement récolté maximum
 ETR = évapotranspiration réelle
 ETRM = évapotranspiration maximale
 PG = production de grain

En fait, les 2 méthodes étant identiques quant à leur approche globale, restait à vérifier l'amplitude des écarts entre les valeurs précises. La figure 1 compare l'évolution des réponses à l'eau ; les différentes droites partent d'un point maximum M (1,1) quand ETR/ERTM = 1 et PG(ETR)/PG(ETRM) = 1. Est représentée, en ce qui concerne le maïs, l'évolution calculée soit sur l'ensemble du cycle de développement de la culture, soit avec irrigation limitée à la période de floraison. Quant aux 3 autres cultures, nous n'avons figuré que les résultats obtenus avec des irrigations pratiquées pendant les périodes « floraison », où l'efficacité de l'irrigation est maximale.

On constate que les pentes des droites d'après la méthode « Wageningen » sont toujours un peu plus faibles que celles d'Auzeville, mais qu'elles confirment cependant les tendances générales des 4 cultures, dans la mesure où c'est le maïs qui répond le mieux aux apports d'eau, puisque les coefficients sont les plus élevés ; inversement, le sorgho a le plus faible coefficient ; quant au tournesol et au soja, leur comportement se situe entre ceux du maïs et du sorgho.

Rappelons que SLABBERS s'appuie sur un ensemble de résultats fournis par divers chercheurs et organismes de recherche répartis dans le monde (F.A.O., 1980), alors que nos données sont issues d'une zone localisée du Sud-Ouest de la France.

Notre intention étant de nous limiter aux zones où peuvent être cultivées simultanément les 4 cultures, nous

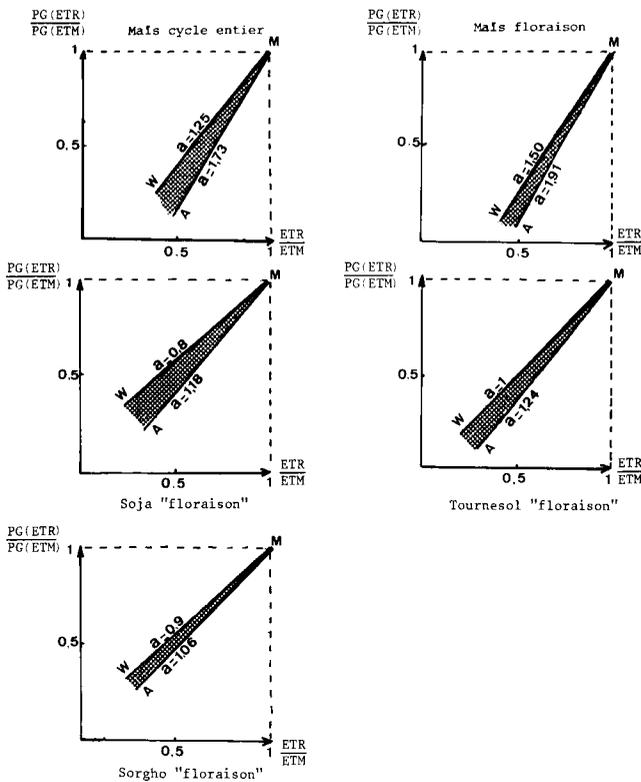


Figure 1
 Comparaison des réponses à l'eau des 4 cultures selon les méthodes « Wageningen » et « INRA Auzerville » : W = Wageningen ; A = I.N.R.A. Auzerville.
 PG (ETR) = Production grains en évapotranspiration réelle.
 PG (ETM) = Production grains en évapotranspiration maximale
 Water responses comparison for four summer crops according to the « Wageningen » and « I.N.R.A. Auzerville » methods : W = Wageningen ; A = I.N.R.A. Auzerville.

retiendrons donc les données obtenues à Auzerville, qui reflètent les résultats d'expérimentation menés depuis 11 ans, contrôlées de manière précise par un ensemble de mesures dont la fiabilité a été estimée par des méthodes statistiques classiques.

Ainsi, les valeurs des réponses à l'eau obtenues à Auzerville correspondent aux équations suivantes (T.H.S. : très hautement significatif, P = 0,001 ; H.S. : hautement significatif, P = 0,01 ; S. : significatif, P = 0,05) :

Maïs : besoins en eau en grande partie satisfaits sur l'ensemble de la durée du cycle

$$\frac{PG(ETR)}{PG(ETM)} = \frac{\text{Production grain en évapotranspiration réelle}}{\text{Production grain en évapotranspiration maximale}}$$

$$y = \frac{PG(ETR)}{PG(ETM)} = 1,73 \times \frac{ETR}{ETM} - 0,73 \quad r = 0,94 \quad \text{T.H.S.}$$

Maïs : besoins en eau principalement satisfaits au cours de la floraison

$$y = 1,91 \times -0,91 \quad r = 0,93 \quad \text{T.H.S.}$$

Tournesol : besoins en eau principalement satisfaits durant la floraison

$$y = 1,24 \times -0,24 \quad r = 0,75 \quad \text{S.}$$

Soja : besoins en eau principalement satisfaits durant la floraison

$$y = 1,18 \times -0,18 \quad r = 0,87 \quad \text{H.S.}$$

Sorgho : besoins en eau principalement satisfaits durant la floraison

$$y = 1,06 \times -0,06 \quad r = 0,95 \quad \text{T.H.S.}$$

A partir de ces équations et en connaissant la production moyenne de grain ainsi que la quantité moyenne d'eau consommée pour chaque culture, on peut déterminer l'évolution des rendements selon les quantités d'eau disponibles (réserves du sol + pluie + éventuellement irrigation), à condition qu'il n'y ait pas d'autres facteurs que l'eau pouvant influencer fortement la production.

La figure 2 rend compte des droites de rendement en grain selon les cultures, avec leurs équations de régression respectives pour lesquelles :

- PG = Production moyenne grain (q/ha) sur 11 ans.
- x = Quantité moyenne d'eau consommée (mm) sur 11 ans.

Quant au maïs « période critique » ou « floraison », nous avons retenu un rendement moyen de 79 q (0 % d'humidité) correspondant à une consommation d'eau moyenne de 450 mm. Il faut cependant noter que l'ajustement linéaire des droites de réponse à l'eau est nettement meilleur pour le maïs et le sorgho que pour le tournesol et le soja.

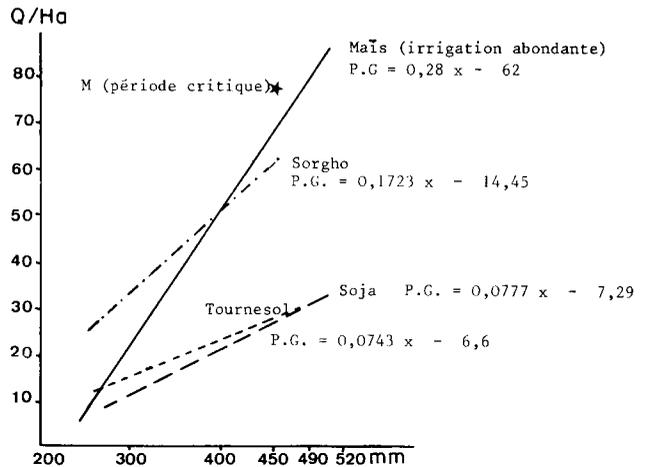


Figure 2
 Rendement en grains secs (q/ha) en fonction de la quantité d'eau consommée (mm).
 Grain yield (q/ha) in relation to the water consumption (mm).

En définitive, la meilleure réponse à l'eau du maïs lui permet d'assurer de hauts niveaux de rendement dans le cas de fortes quantités d'eau disponibles, alors que le sorgho valorise mieux les faibles disponibilités hydriques.

B. Aspects technico-économiques

1. Prix - rapports de prix : réponse à l'eau des produits bruts

Les réponses à l'eau constituent les bases biologiques, propres à chaque culture, dont les valeurs n'évolueront que lentement en fonction du progrès génétique et agronomique.

Par contre, les critères économiques, notamment les prix (aussi bien ceux à la production que ceux relatifs aux consommations intermédiaires nécessaires à la production),

constituent des données très fluctuantes liées aux conditions de marchés et aux décisions politiques. Par conséquent, les comparaisons entre cultures à partir des données physiques précédentes seront à nuancer selon les conditions économiques.

Aussi, pour calculer l'évolution des produits bruts de chaque culture selon les quantités d'eau consommées, nous nous baserons d'abord sur les prix 1980, puis nous simulerons des rapports de prix variables entre les cultures tournesol, soja, sorgho, maïs.

2. Calcul des charges opérationnelles : réponse à l'eau des marges brutes

Le calcul des charges opérationnelles afférentes à chaque culture nous a conduit à adopter l'Indice des principaux produits industriels nécessaires aux exploitations agricoles (I.P.I.N.E.A.), qui regroupe l'ensemble des consommations intermédiaires nécessaires à l'agriculture, et nous avons retenu pour les 4 cultures étudiées les charges suivantes :

- le coût de l'énergie pour tous travaux d'implantation et de récolte (représentant le montant/ha des dépenses en fuel, en prenant 1,67 F/l, prix 1980),
- le coût des produits chimiques (qui prennent en compte les engrais et les divers traitements),
- le coût des semences,
- le coût de l'irrigation.

Par contre, nous ne tenons pas compte des charges fixes liées plus directement au système de production et aux structures d'exploitation (intérêts, impôts, assurance,...). Les 4 postes essentiels de dépense retenus sont liés directement à la production et nous les avons ajustés selon les niveaux de rendement escomptables pour chaque culture. Par exemple, la dose d'azote est raisonnée de manière à couvrir les besoins maxima de la plante. La fumure phospho-potassique est prévue de telle sorte que les bilans entre les apports et les exportations soient légèrement positifs (environ 1,5 fois les exportations par les grains).

Cette politique de fertilisation s'appuie sur de nombreux résultats expérimentaux (BLANCHET & MARTY, 1973) et ne peut être considérée comme facteur limitant la production.

Devant les difficultés rencontrées pour déterminer un coût de l'eau représentant l'ensemble des situations rencontrées (variables selon les périmètres collectifs ou les installations individuelles, selon le coût de la mobilisation de la ressource, de l'ancienneté de l'équipement,...), nous avons, dans cette approche simplifiée, retenu l'hypothèse de 3 prix du m³ « rendu racine » englobant à la fois les charges fixes et les charges variables (coût de l'énergie) et recouvrant ainsi la gamme du prix de revient global de l'eau, soit : 0,50 F, 0,90 F et 1,30 F/m³.

Ces prix seront appliqués aux quantités d'eau permettant de satisfaire les besoins globaux de chaque culture, à partir de 3 niveaux de disponibilité hydrique naturelle (pluie + réserves hydriques du sol), soit : 270-350 et 420 mm.

Dans cette hypothèse, le coût de l'eau est proportionnel aux quantités apportées. C'est pourquoi, lorsque nous comparerons les cultures entre elles au niveau marges brutes, nous considérerons avec prudence les résultats provenant d'apports d'eau inférieurs à 100 mm, compte tenu, dans ce cas, du poids important que peuvent représenter les charges fixes.

Par contre, au-delà de 100 mm d'eau apportée, nous tendons vers un équilibre entre les charges fixes (dont la part dans le prix de revient du m³ d'eau diminue au fur et à mesure des apports) et les charges variables qui augmentent (CABELGUENNE, 1980), rendant ainsi nos hypothèses de calcul des coûts de l'eau et d'estimation des marges brutes plus réalistes.

3. Hypothèse de différents niveaux de rendement

En considérant le niveau moyen de rendement/ha des 4 cultures d'été obtenu de 1970 à 1980 à Auzeville dans de bonnes conditions de grande culture, nous pouvons hiérarchiser la rentabilité de l'irrigation entre ces 4 cultures placées dans différentes conditions d'alimentation hydrique (irrigation ou non au cours de différentes années climatiques). Nous précisons ainsi dans quelles limites de disponibilité hydrique le tournesol, le soja et le sorgho peuvent procurer des marges brutes égales ou supérieures à celles du maïs, dans les conditions de prix actuels.

Cependant, les rendements accessibles en exploitation agricole sont souvent liés à la plus ou moins bonne maîtrise des techniques culturales et aux aspects pédo-climatiques locaux, comme une récente étude vient à nouveau de le confirmer (SÉVERAC, 1981).

C'est pourquoi nous supposerons une variabilité des rendements du maïs compris entre 75 et 105 q/ha, du tournesol entre 25 et 40 q/ha, du maïs « période critique » entre 70 et 91 q/ha, du soja de 27 à 40 q/ha et du sorgho de 65 à 95 q/ha.

III. RÉSULTATS

A. A partir des références expérimentales et du niveau moyen de rendement

1. Relation eau - produit brut

Le tableau 1 compare les produits bruts calculés à partir des rendements moyens obtenus à Auzeville sur la période

TABLEAU 1

Moyenne (1969-1979) des rendements et des quantités d'eau consommées et moyennes des produits bruts obtenus sur la base des prix 1980.
Average (1969-1979) yield, water consumption and yield value at 1980 prices.

Cultures	Rendements moyens à 0 % humidité	q. eau moyenne consommée (mm)	Humidité du grain aux normes (%)	Rendements ramenés aux normes	Prix du quintal (1980)	Produit brut (F/ha)
Maïs (Irrigation abondante)	85	520	15,5	98	85	8 365
Maïs (période critique)	79	450	—	91	—	7 755
Tournesol	30	490	9,0	33	204	6 809
Soja	33	520	14,0	38	205	7 737
Sorgho	63	450	15,5	73	77	5 609

de 11 ans en condition irriguée, sur la base du prix du quintal 1980 (les rendements sont ramenés aux normes). En nous basant sur les droites de réponse à l'eau, nous déterminons l'évolution des produits bruts (y) de chaque culture correspondant à ce niveau de productivité en fonction des quantités d'eau consommées (x). Les valeurs des équations sont indiquées sur la figure 3.

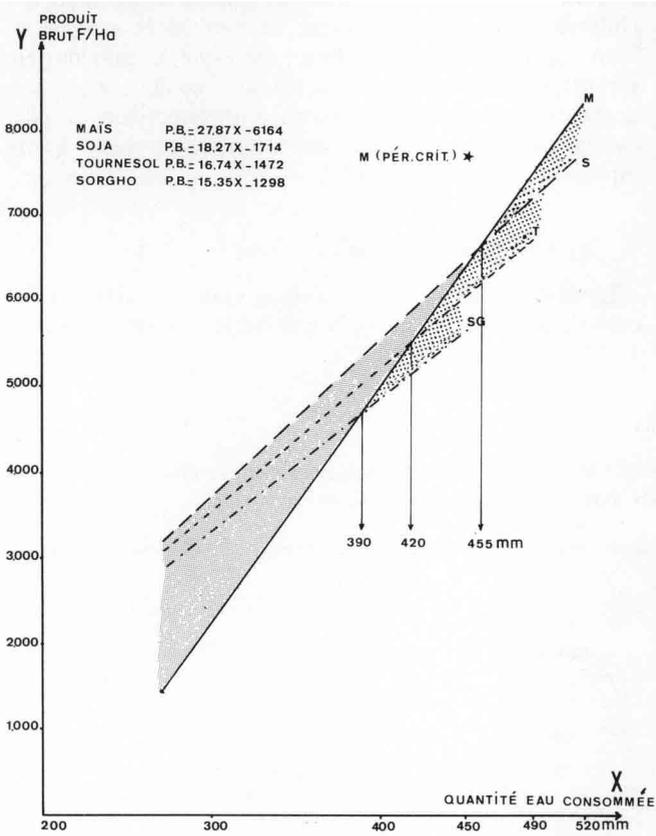


Figure 3 Evolution du produit brut (F/ha) en fonction de la quantité d'eau consommée (mm). Yield value (F/ha) in relation to water consumption (mm).

Prix du quintal 1980 :

	Rendements considérés (aux normes) :
85 F M = Maïs irrigation abondante	98
85 F M (Pér. Crit.) = Maïs irrigué « période critique »	91
205 F S = Soja	38
204 F T = Tournesol	33
77 F SG = Sorgho	73

Sur le plan du résultat financier, on constate que le soja, le tournesol et le sorgho s'accoutument mieux que le maïs des faibles ressources en eau disponibles, permettant ainsi de fournir un produit brut supérieur jusqu'à des quantités d'eau variables selon les cultures. En effet, plus les quantités d'eau consommées augmentent, plus les écarts de produits bruts entre les autres cultures et le maïs se réduisent pour parvenir à un produit brut équivalent pour des quantités d'eau variables selon les cultures : 390 mm pour le sorgho, 420 mm pour le tournesol, 455 mm pour le soja. Quant au maïs irrigué uniquement en « période critique », les 91 q/ha considérés ici procurent un produit brut supérieur à celui des 3 autres cultures pour 450 mm d'eau totale disponible, à condition que les ressources en eau naturelles (eau du sol + pluie) soient au moins égales à 300 mm.

2. Répartition des charges opérationnelles et comparaison des relations entre les marges brutes et les quantités d'eau consommées

Le tableau 2 fournit un exemple de la répartition en F/ha des charges opérationnelles (prix 1980) dans l'hypothèse des rendements moyens considérés.

En présence de quantités d'eau limitées, les rendements seront inférieurs, conformément à la relation eau-rendement, et le montant des charges étant ajusté aux rendements escomptables, on peut comparer l'évolution des marges brutes de chaque culture à celle du maïs, à partir des charges opérationnelles différenciées par culture et par niveau de rendement.

TABEAU 2

Montant des charges opérationnelles (F/ha) pour les rendements considérés de chaque culture.

Cropping cost (F/ha) for the yields of each crop.

	Maïs	Soja	Tournesol	Sorgho
Rendement (q/ha)	98	38	33	73
Engrais : N	612	68	442	427
P	270	270	270	270
K	150	150	150	150
Façons culturales (1)	245	210	250	250
Semences	500	272	350	280
Traitements	158	168	377	250
Total	1 940	1 140	1 840	1 630

(1) Ne tiennent compte que du coût de l'énergie nécessaire (fuel).

a) Cas du soja comparé au maïs

Les charges différenciées des 2 cultures ont pour conséquence de modifier sensiblement la valorisation de l'eau. En effet, de 270 à 520 mm de disponibilité hydrique naturelle (fig. 4a), on observe que, par rapport aux droites de

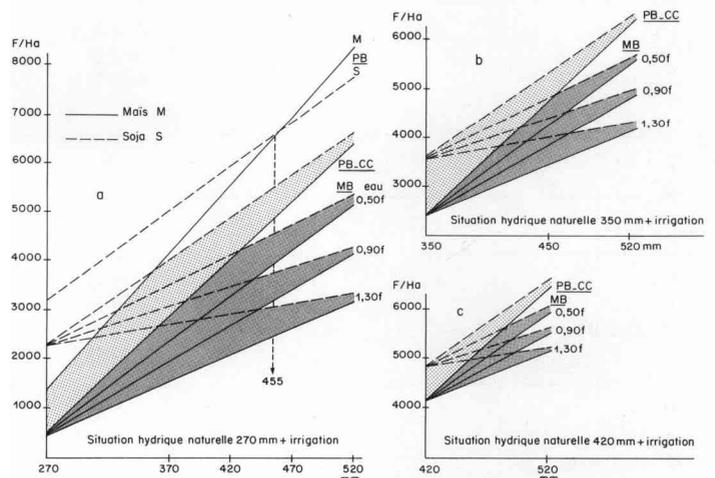


Figure 4 Evolution comparative maïs/soja des produits bruts (PB), des produits bruts-charges de culture (PB-CC) et des marges brutes (MB) selon 3 coûts du m³ d'eau (0,50-0,90-1,30 F). Calculs effectués à partir des 3 situations hydriques naturelles (270-350-420 mm). Maize/soybean comparison of yield value (PB), yield value production cropping costs (PB-CC) and of gross margins (MB) for three water costs per m³ (0.50-0.90-1.30 F). Calculations based on three natural water availabilities (270-340-420 mm).

produits bruts qui se coupent à 455 mm, l'introduction des charges de culture (P.B.-C.C.) permet au soja de procurer des valeurs supérieures à celles du maïs. En raisonnant en marges brutes, les observations précédentes relatives au coût de l'eau nous conduisent à ne considérer que les résultats à partir de 270 mm de disponibilité hydrique + 100 mm d'irrigation (soit 370 mm). On s'aperçoit que les marges brutes du soja demeurent supérieures à celles du maïs, quel que soit le coût du m³ d'eau. Ces constatations se trouvent confirmées dans les cas de 350 et 420 mm de disponibilité hydrique naturelle, complétées par irrigation (fig. 4b et 4c).

Ceci ne remet cependant pas en question la meilleure efficacité de l'irrigation du maïs. En effet, si à 270 mm, donc sans irrigation (fig. 4 et tabl. 3), les écarts de marges brutes entre maïs et soja sont importants (1 805 F), ces écarts diminuent, au fur et à mesure des apports d'eau (100, 150 et 250 mm), pour n'être plus que de 174 F à 520 mm de consommation en eau. Par conséquent, l'irrigation du maïs

s'avère plus efficace que celle du soja, se traduisant ainsi par un gain moyen du m³ apporté supérieur (tabl. 4).

Par contre, si l'on raisonne uniquement sur les valeurs de marges brutes atteintes, le soja se place au-dessus du maïs ; par conséquent, il est important de distinguer l'efficacité de l'irrigation (nettement en faveur du maïs grâce à sa bonne réponse à l'eau) et la rentabilité de l'eau qui, dans le cadre de cette étude, peut être considérée comme la résultante de l'interaction charges de culture nécessaires et réponse à l'eau exprimée en produit brut ; bien que le gain moyen apporté par m³ soit plus faible sur soja, ce dernier permet néanmoins d'atteindre une marge brute supérieure à celle du maïs grâce aux charges de culture moins élevées et à son rapport de prix avec le maïs.

b) Cas du tournesol et du sorgho

Le montant des charges de culture étant peu différent de celui du maïs (tabl. 2 et 3), la plus faible réponse à l'eau du

TABLEAU 3

*Produits bruts, charges de cultures et marges brutes des 4 cultures placées dans différentes situations hydriques.
Yield value, cropping costs and gross margins for four crops under different water regimes.*

Maïs				Soja			
Situations hydriques	Produit brut	Charges de culture (et d'irrigation)	Marges brutes	Situations hydriques	Produit brut	Charges de culture (et d'irrigation)	Marges brutes
270 mm	1 413	950	462	270 mm	3 198	930	2 267
270 + 100 mm irrig.	4 192	1 197 ⁽¹⁾ 1 697 ⁽²⁾ 2 097 ⁽³⁾ 2 497 ⁽⁴⁾	2 995 2 495 2 095 1 695	270 + 100 mm irrig.	5 104	1 015 ⁽¹⁾ 1 515 ⁽²⁾ 1 915 ⁽³⁾ 2 315 ⁽⁴⁾	4 089 3 589 3 189 2 789
270 + 150 mm irrig.	5 586	1 412 2 162 2 762 3 362	4 174 3 424 2 824 2 224	270 + 150 mm irrig.	5 922	1 057 1 807 2 407 3 007	4 865 4 115 3 515 2 915
270 + 250 mm irrig.	8 365	1 940 3 190 4 190 5 190	6 425 5 175 4 175 3 175	270 + 250 mm irrig.	7 737	1 138 2 388 3 388 4 388	6 599 5 349 4 349 3 349
Tournesol				Sorgho			
270 mm	3 074	1 249	1 825	270 mm	2 846	911	1 935
270 + 100 mm irrig.	4 774	1 543 ⁽¹⁾ 2 043 ⁽²⁾ 2 443 ⁽³⁾ 2 843 ⁽⁴⁾	3 231 2 731 2 331 2 031	270 + 100 mm irrig.	4 384	1 222 ⁽¹⁾ 1 722 ⁽²⁾ 2 122 ⁽³⁾ 2 522 ⁽⁴⁾	3 162 2 662 2 262 1 862
270 + 150 mm irrig.	5 622	1 771 2 521 3 121 3 721	3 851 3 101 2 501 1 901	270 + 150 mm irrig.	5 109	1 525 2 275 2 875 3 475	3 584 2 834 2 234 1 634
270 + 220 mm irrig.	6 809	1 839 2 939 3 819 4 699	4 970 3 870 2 990 2 110	270 + 180 mm irrig.	5 609	1 628 2 528 3 248 3 968	3 981 3 081 2 361 1 641

⁽¹⁾ Non compris le coût du m³ d'eau ; ⁽²⁾ irr. à 0,50 F/m³ ; ⁽³⁾ irr. à 0,90 F/m³ ; ⁽⁴⁾ irr. à 1,30 F/m³.

TABLEAU 4

Gains moyens apportés par m³ d'eau selon 3 coûts (0,50 F, 0,90 F et 1,30 F) et les quantités d'irrigation.

$$\text{Gain} = \frac{M.B. \text{ irriguée} - M.B. \text{ non irriguée}}{q. \text{ d'irrigation}} = F/m^3$$

Medium profits per m³ of water for 3 costs (0.50 F, 0.90 F and 1.30 F) and quantity of water used by irrigation.

$$\text{Profit} = \frac{\text{Gross Margin with irrigation} - \text{Gross Margin without irrigation}}{m^3 \text{ of water used for irrigation}}$$

Q. eau irrigation (mm)	Coût du m ³ (F)	Maïs	Soja	Tournesol	Sorgho
100	0,50	2,03	1,32	0,91	0,73
	0,90	1,63	0,92	0,51	0,33
	1,30	1,23	0,52	0,21	- 0,07
150	0,50	1,97	1,23	0,85	0,48
	0,90	1,57	0,83	0,45	0,20
	1,30	1,17	0,43	0,05	- 0,05
250 (maïs)	0,50	1,88	1,23	0,93	0,64
250 (soja)	0,90	1,48	0,83	0,53	0,24
220 (tournesol)					
180 (sorgho)	1,30	1,08	0,43	0,13	- 0,16

tournesol devient le facteur discriminant et explique (tabl. 3) qu'à partir de 270 mm de disponibilité hydrique naturelle, complétée par 150 mm d'irrigation, les marges brutes du tournesol deviennent inférieures à celles du maïs placé dans les mêmes conditions d'alimentation hydrique. En outre, le gain moyen apporté par m³ est nettement inférieur à ceux du maïs et du soja (tabl. 4).

Cependant, des apports d'eau limités (de l'ordre de 100 mm) permettront au tournesol d'atteindre des marges brutes supérieures à celles du maïs, du moins pour des niveaux de potentialités comparables entre les 2 cultures.

Enfin, dans nos conditions héliothermiques, seuls de faibles apports d'eau permettent au sorgho de surclasser économiquement le maïs. Les gains moyens apportés par m³ étant nettement inférieurs à ceux des 3 autres cultures

(tabl. 4), l'irrigation du sorgho ne peut s'envisager qu'avec un coût de l'eau relativement faible ; le tableau 3 montre qu'à 1,30 F/m³, les marges brutes après irrigation sont plus faibles que celles obtenues avec 270 mm de disponibilité hydrique naturelle.

3. Calcul du coût maxima du m³ d'eau d'irrigation

Les gains moyens apportés par m³ permettent de déterminer théoriquement les coûts maxima du m³ d'eau pour lesquels la rentabilité de l'irrigation devient nulle. Dans un souci de simplification, nous n'avons considéré ici que les 3 situations hydriques naturelles (270-350 et 420 mm), complétées par des apports d'irrigation de manière à satisfaire les besoins de chaque culture.

On s'aperçoit (fig. 5) que, pour un maïs produisant 98 q/ha, les coûts maxima au m³ sont compris entre 2,20 F et 2,35 F ; pour le soja, ils se situent autour de 1,70 F, puis entre 1,30 F et 1,45 F pour le tournesol et environ 1,10 F pour le sorgho. Ces résultats, quoique théoriques puisque liés au niveau de rendement considéré de chaque culture, mettent néanmoins en évidence l'intérêt que conserve encore le maïs face à un coût élevé du m³ d'eau ; cette observation confirme ainsi les très bons comportements agronomiques du maïs vis-à-vis de l'utilisation de l'eau, mais qui, nous l'avons vu précédemment, ne sauraient être le seul critère à prendre en compte au niveau de la valorisation, donc de la rentabilité de l'irrigation.

La rentabilité de l'irrigation peut être interprétée différemment selon que l'on se situe au niveau de la sole (Ha) irriguée comme dans le cas présent en comparant isolément chaque culture entre elles, ou à l'échelle de l'exploitation : dans ce cas, des quantités d'eau limitées peuvent être valorisées sur des superficies plus grandes avec le sorgho et le tournesol, ces 2 cultures ayant des besoins moins importants que ceux du maïs.

4. Classement des cultures irriguées par ordre de marges brutes

A partir du tableau 3, et en ne considérant que le prix de l'eau à 0,50 F/m³, nous avons établi un classement par ordre de marges brutes entre les cultures, compte tenu des possibilités d'irrigation (tabl. 5).

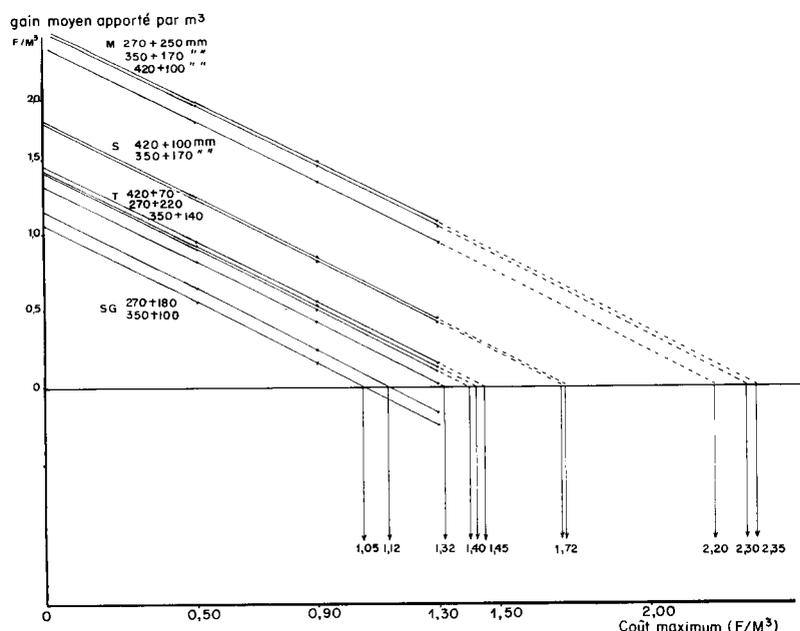


Figure 5
Coûts maxima du m³ d'irrigation pour chaque culture (M-S-T-SG) selon les situations hydriques.
Maximum irrigation costs per m³ for each crop (M-S-T-SG) according to water regime.

TABLEAU 5

Classement des cultures irriguées par ordre de marges brutes.
Irrigated crops ranked by gross margins.

Classement	Disponibilité Irrigation	Marges brutes
1. Soja	250 mm	5 350 F/ha
2. Maïs	250	5 175
3. Soja	200	4 115
4. Tournesol	220	3 870
5. Soja	100	3 590
6. Maïs	150	3 425
7. Tournesol	150	3 100
8. Sorgho	180	3 080
9. Sorgho	150	2 835
10. Tournesol	100	2 730
11. Sorgho	100	2 660
12. Maïs	100	2 495

Il apparaît ainsi nettement que c'est le soja qui valorise le mieux n'importe quelle possibilité d'irrigation : faibles (100 mm) ou fortes (250 mm) ; vient ensuite le maïs, uniquement dans le cas de fortes quantités d'eau disponibles (250 mm). Précisons que le maïs étant plus exigeant que le soja en fertilisation, un accroissement du prix des engrais aurait pour conséquence d'accentuer les écarts de marges brutes entre les 2 cultures (CABELGUENNE & MARTY, 1981). Le tournesol parvient à bien valoriser des quantités d'eau assez élevées (150-220 mm). Enfin, le sorgho n'apparaît qu'à la fin du classement, mais se situe quand même au-dessus du maïs dans le cas d'apports d'eau limités (100 mm).

B. Hypothèses prenant en compte différents niveaux de rendement

Considérons maintenant différents niveaux de rendement, pour les raisons évoquées précédemment. L'application de la méthodologie, portant successivement sur les relations eau-production et eau-produit brut, permet ainsi de déterminer les rendements nécessaires à atteindre pour que les marges brutes des autres cultures soient équivalentes à celles du maïs.

Comparaison au maïs des marges brutes des autres cultures

Nous retiendrons uniquement l'exemple de 270 mm de disponibilité hydrique naturelle, complétée par irrigation, c'est-à-dire le cas de conditions pédo-climatiques présentant une forte sécheresse estivale (fig. 6a). On peut observer que les marges brutes du tournesol et du sorgho se rapprochent des valeurs obtenues avec le maïs (du moins pour les niveaux de rendement comparables), par suite des coûts d'irrigation moins élevés en raison d'apports d'eau moins importants : ainsi, 30 q/ha de tournesol et 75 q/ha de sorgho sont équivalents à 75 q/ha de maïs. Par ailleurs, le prix du m³ d'irrigation joue en plus un effet appréciable dans la mesure où les écarts de marges brutes du tournesol et du sorgho par rapport au maïs s'accroissent d'autant plus que le prix de l'eau est élevé.

Quant au soja, dont la consommation maximale moyenne en eau est identique à celle du maïs (520 mm), les économies d'engrais azotés réalisées sur cette culture (soit 8 à 10 q/ha d'équivalent en rendement maïs) réajustent la marge brute des 27 q/ha de soja à celle des 75 q/ha de maïs. Enfin, le cas du maïs irrigué en « période critique »

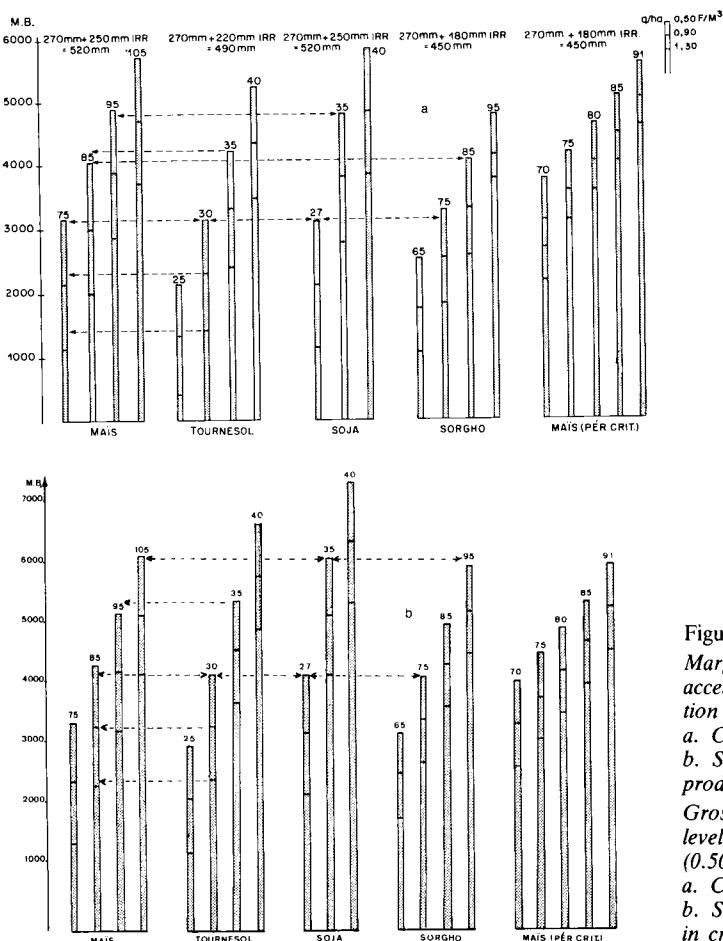


Figure 6a et 6b
Marges brutes (MB) atteintes par les 4 cultures, selon le rendement accessible. Cas de la situation hydrique naturelle 270 mm + irrigation (à 0,50, 0,90 et 1,30 fm³).
a. Calculs effectués à partir des prix 1980.
b. Simulation dans l'hypothèse d'un accroissement des prix à la production, et d'une augmentation des charges.
Gross margins (MB) achieved by the four crops according to yield level capacity. Natural water availability 270 mm, with irrigation (0.50, 0.90 et 1.30 F/m³).
a. Calculations at 1980 prices.
b. Simulation supposing an increase in prices for the producer and in cropping costs.

permet de constater que ce type d'irrigation, quand il peut être adopté, peut procurer des marges brutes au moins équivalentes à celles des 3 autres cultures, même pour des rendements correspondants à un niveau de productivité relativement moyen.

Ces observations posent en fait le problème de la valorisation à venir de l'irrigation dans l'hypothèse d'un accroissement du prix de l'énergie (CABELGUENNE, 1981) ; dans ce cas, les cultures grosses consommatrices en énergie (eau + engrais), comme le maïs, seraient pénalisées au profit du tournesol et du sorgho dont les besoins en eau et en engrais sont moins élevés et qui, dans ces conditions, valoriseraient mieux des quantités limitées d'eau.

IV. DISCUSSION ET CONCLUSION

A. Choix des cultures à irriguer et des modalités d'irrigation

Ces résultats font apparaître une large diversité des meilleures conditions de valorisation de l'eau d'irrigation, à la fois selon les espèces, les milieux naturels et le coût de l'eau. C'est donc à l'agriculteur qu'il incombe, selon ses propres conditions, de faire les choix les plus judicieux.

Un autre critère essentiel est celui du prix de commercialisation des récoltes et nous n'avons considéré ici que les prix pratiqués en France en 1980. Pour tâcher de donner des vues plus générales, nous discuterons maintenant les conséquences d'évolution des prix de commercialisation des produits de ces 4 cultures.

Aussi, afin de chiffrer les conséquences possibles d'une évolution de prix agricoles à la production, à partir des tendances manifestées au cours des dernières années, nous simulerons un accroissement du prix du maïs de l'ordre de 8 p. 100 (soit 92 F le quintal), du tournesol et du soja de 20 p. 100 (248 F), aboutissant à un rapport de prix avec le maïs de 2,7, au lieu de 2,4 en 1980. Quant au sorgho, nous retiendrons la parité avec le maïs, soit 92 F. Dans le même temps, nous admettrons un accroissement du prix des consommations intermédiaires de 20 p. 100, en conservant cependant les mêmes coûts d'irrigation (0,50-0,90 et 1,30 F/m³).

Les résultats, directement exprimés en marges brutes (fig. 6b) et comparés à ceux de 1980, permettent de constater :

— L'accroissement des marges brutes du maïs pour chaque niveau de rendement est de l'ordre de 5 p. 100 (en considérant uniquement l'eau à 0,50 F/m³) par rapport aux résultats 1980. Par contre, pour le tournesol et le soja, elles augmentent en moyenne de 30 p. 100, et pour le sorgho de 25 p. 100.

Il en résulte pour ces 3 cultures un décalage important au niveau des rendements pour obtenir des marges brutes identiques à celles du maïs :

— Ainsi, 30 q/ha de *tourneol* deviennent équivalents à 85 q/ha de maïs, au lieu de 75 précédemment. Le montant global des charges étant sensiblement identique entre les 2 cultures, c'est en grande partie le nouveau rapport de prix qui explique ce décalage, mais également l'économie d'eau réalisée sur tournesol par rapport au maïs.

— *Sur soja*, par contre, la combinaison nouveau rapport de prix et augmentation des charges (qui pénalise très fortement le maïs) fait que 27 q/ha de soja deviennent équivalents à 85 q/ha de maïs, au lieu de 75 q/ha.

— *Quant au sorgho*, il est intéressant d'observer que l'éventualité d'une parité de prix avec le maïs, combinée aux coûts d'irrigation moins élevés, permettrait de concurrencer

le maïs, sans pour cela être obligé d'atteindre des rendements très élevés : par exemple, 65 q/ha de sorgho seraient équivalents à 75 q/ha de maïs.

— En ce qui concerne le *maïs irrigué en période critique*, mis à part l'intérêt particulier que représente ce type d'irrigation, surtout dans l'hypothèse de hauts rendements accessibles, l'accroissement de 20 p. 100 des charges ainsi que l'augmentation limitée à 8 p. 100 de son prix, le rend moins compétitif comparativement aux marges brutes obtenues avec les 3 autres cultures.

Par conséquent, outre les observations générales faites précédemment relatives aux coûts d'irrigation moins élevés sur tournesol et sur sorgho, ces nouveaux résultats traduisent le progrès significatif des oléoprotéagineux et du sorgho dans l'hypothèse d'une évolution favorable de leurs prix. Ainsi, une marge brute de l'ordre de 4 000 F/ha (avec un coût de l'eau à 0,50 F/m³) pourrait être obtenue soit avec un maïs à 85 q/ha et irrigué de façon classique, soit avec un maïs à 70 q/ha irrigué en période critique, mais aussi avec 75 q/ha de sorgho, ou 27 q/ha de soja et 30 q/ha de tournesol, autrement dit avec des niveaux de rendement techniquement accessibles par ces différentes cultures.

— Enfin, plus les rendements sont élevés et plus les écarts de marges brutes du tournesol et du soja avec le maïs sont importants. Notons cependant qu'à l'échelle de l'exploitation, il est encore beaucoup plus difficile d'obtenir 40 q/ha de tournesol et de soja que 105 q/ha de maïs.

Par conséquent, ces résultats montrent qu'une augmentation (même faible dans le cas du sorgho) des prix garantis entre les diverses cultures d'été permettrait à ces cultures de mieux valoriser l'irrigation et, en particulier, les apports d'eau limités.

De plus, en présence de ressources en eau d'irrigation limitées au niveau de l'exploitation agricole, la possibilité d'irriguer une plus grande surface de sorgho, de soja ou de tournesol, permettrait de mieux rentabiliser l'irrigation et avec moins de risques que si elle était appliquée à une surface plus restreinte de maïs.

B. Méthodologie d'approches technico-économiques

Au cours de cette étude, nous nous sommes efforcés de montrer comment l'acquisition de références biologiques et techniques relatives aux relations rendement/quantité d'eau consommée pouvait aboutir à un raisonnement économique.

Pour cela, nous nous sommes appuyés sur des résultats expérimentaux provenant de la comparaison de systèmes de culture irriguée et non irriguée, obtenus sur une décennie, ce qui nous a permis d'affronter des années climatiques diverses et de préciser ainsi nos fonctions de production-eau des différentes cultures.

La prise en compte des prix agricoles ainsi que le coût des consommations intermédiaires nécessaires à la production ont permis de hiérarchiser la rentabilité de l'irrigation du maïs, soja, tournesol et sorgho, placés dans différentes conditions d'alimentation hydrique et pour différents niveaux de potentialité pédo-climatique.

Ce modèle technico-économique a mis en évidence que, si la rentabilité de l'irrigation dépend bien des comportements agronomiques propres à chaque espèce, le coût de plus en plus élevé des consommations intermédiaires (fertilisation, irrigation) ainsi que l'évolution des rapports de prix autres cultures/maïs tendaient à devenir des éléments prépondérants du choix entre les cultures.

Cette approche économique reste encore limitée à la comparaison des cultures d'été prises isolément et ne tient

pas compte de contraintes techniques et agronomiques, telles que succession de cultures, arrières-effets, temps de travaux, jours disponibles, ...

Le prolongement de ce travail est actuellement en cours avec le Laboratoire d'Economie rurale de Paris qui, à l'aide de modèles mathématiques (BOUSSARD, 1970), se propose d'élaborer, à l'échelle d'une surface assolée, des solutions optimisées tenant compte de la valorisation de l'irrigation, ainsi que de contraintes de capital mobile (matériel), de disponibilité en main-d'œuvre, et de sécurité des revenus (variabilité interannuelle des productions des diverses cultures d'hiver et d'été par rapport à la moyenne décennale).

La poursuite de ces travaux s'appuie et prend le relais du modèle que nous venons de présenter et qui nous a permis de préciser les différences existant dans la valorisation de l'eau entre cultures d'été.

Ainsi le maïs, considéré jusqu'à présent comme la culture irriguée la plus rentable, voit son intérêt diminuer au profit

d'autres cultures telles que le soja et le tournesol qui répondent moins bien à l'irrigation, mais dont les moindres besoins en énergie et en eau ainsi que l'évolution favorable de leur prix, leur confèrent au contraire un intérêt croissant.

Reçu le 31 août 1981.
Accepté le 9 mars 1982.

REMERCIEMENTS

Le travail que nous venons de présenter fait partie des résultats d'un contrat de programme portant sur la valorisation de l'irrigation pour les grandes cultures du Sud-Ouest, financé par la Direction Générale de la Recherche Scientifique et Technique (D.G.R.S.T.) et regroupant divers organismes tels que l'I.N.R.A., la Compagnie d'Aménagement des Côtes de Gascogne (G.A.C.G.), la Chambre Régionale d'Agriculture (C.R.A.), le Service Régional de l'Aménagement de l'Eau (S.R.A.E.).

Nous tenons à remercier ici les personnes de ces organismes qui ont participé aux discussions des résultats.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Attonaty Y. M., 1969. *Aspects économiques de l'irrigation en grande culture dans les régions subhumides*. Laboratoire d'Economie Rurale, I.N.R.A., Grignon, 44 p.
- Blanchet R., Marty J. R., 1973. Prédiction de plans de fertilisation à l'échelle de diverses rotations en culture irriguée ou non. *Bull. de l'A.F.E.S.*, (3), 137-150.
- Boussard J. M., 1970. *Programmation mathématique et théorie de la production agricole*. Thèse, Cujas, Paris, 251 p.
- Cabelguenne M., 1980. Etude technique et économique de la valorisation du maïs (région toulousaine). *Ann. agron.*, 31 (3), 319-336.
- Cabelguenne M., 1981. *Facteurs technico-économiques de la valorisation de l'irrigation des grandes cultures dans le Sud-Ouest de la France*. Thèse de doctorat de 3^e cycle : Université de Toulouse le Mirail — Institut de Géographie Daniel Faucher, 214 p.
- Cabelguenne M., Marty J. R., 1981. *Influence de l'accroissement du prix des engrais sur les coûts de production et les marges brutes de quelques cultures d'été : maïs, soja, tournesol, sorgho*. Communauté Economique Européenne, AGRIMED (Agriculture Méditerranéenne), Toulouse, 15 et 16 janvier, 20 p.
- Cabelguenne M., Marty J. R., Hilaire A., 1980. Influence du progrès agronomique et des rapports de prix sur le choix entre maïs et tournesol dans diverses conditions de disponibilités en eau. *C.R. Acad. Agric. Fr.*, 725-731.
- Combret M., Blanchet R., Fioramonti S., 1969. Influence de diverses modalités d'irrigation sur l'intérêt économique de la culture du maïs dans les sols possédant des réserves hydriques d'importance variable. *C.R. Acad. Agric. Fr.*, 55, 77-84.
- Cordonnier P., 1976. *Aspects économiques relatifs à la rentabilité de l'irrigation du maïs*. Laboratoire d'Economie Rurale, I.N.R.A. Grignon, 14 p.
- F.A.O., 1980. Réponses des rendements à l'eau. *Bulletin d'irrigation et de drainage*, n° 33, 235 p.
- Fioramonti S., Marty J. R., Courau M., Puech J., 1967. Conduite et résultats de cultures expérimentales de maïs irrigué dans trois sols différents. *C.R. Acad. Agric. Fr.*, 11, 53-65.
- Marty J. R., Hutter W., 1975. *Expérimentation sur rotations de cultures irriguées ou non*. Publication interne I.N.R.A. - Auzeville, 12 p.
- Marty J. R., Puech J., Maertens C., Blanchet R., 1975. Etude expérimentale de la réponse de quelques grandes cultures à l'irrigation. *C.R. Acad. Agric. Fr.*, 61, 560-567.
- Puech J., Maertens C., 1974. Efficience de l'eau consommée de quelques cultures placées dans différentes conditions écologiques. *Agrochimica*, 18, (3), 223-230.
- Robelin M., Collier D., 1958. Evapotranspiration et rendements culturaux. *C.R. Acad. Sci.*, 247, 1774-1776.
- Robelin M., Mingeau M., 1970. Alimentation en eau de la betterave. *Revue Intern. Inst. Rech. Bett.*, 71-86.
- Séverac M., 1981. Doit-on irriguer le maïs dans la vallée du Rhône ? *Bull. tech. Inform. Min. Agric.*, 357, 75-92.