CIHEAM
Options Méditerranéennes

La prise en compte du risque dans la gestion de l'eau d'irrigation

Boussard J.-M.

in

Dupuy B. (ed.).
Aspects économiques de la gestion de l'eau dans le bassin méditerranéen

Bari : CIHEAM
Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens; n. 31

1997
pages 147-159

Article available on line / Article disponible en ligne à l'adresse :

---

http://om.ciheam.org/article.php?IDPDF=CI971538

To cite this article / Pour citer cet article

Boussard J.-M. **La prise en compte du risque dans la gestion de l'eau d'irrigation.** In : Dupuy B. (ed.). *Aspects économiques de la gestion de l'eau dans le bassin méditerranéen* . Bari : CIHEAM, 1997. p. 147-159 (Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens; n. 31)

CIHEAM

http://www.ciheam.org/
http://om.ciheam.org/

CIHEAM

La prise en compte du risque dans la gestion de l'eau d'irrigation

Jean-Marc Boussard
INRA - Engref
Paris, France

RESUME - La préparation d'un projet d'irrigation met en jeu de nombreuses opérations dont le résultat n'est pas garanti. Il faut donc pour l'évaluer faire appel à la théorie de l'utilité en présence de risque. Malheureusement, il n'existe pas de théorie de l'utilité collective en présence de risque. Toutefois, l'étude des comportements individuels permet de montrer que les espoirs de bénéfices à tirer d'un projet peuvent être très variables selon la nature des risques qui pèsent sur les agriculteurs inclus dans le projet. On montre en particulier sur un exemple que l'estimation des bénéfices à attendre d'une réduction de la probabilité de défaillance dans un réseau de distribution d'eau peut varier de 1 à 10, selon que l'on tient compte ou non de l'attitude des agriculteurs vis-à-vis du risque, et selon la nature des autres risques auxquels sont soumis ces agriculteurs.

Mots-clés: irrigation, risque, investissement, finances publiques.

SUMMARY - When preparing any irrigation project, many variables are guessed rather than measured. Nothing can be taken for sure in technical and economic forecasting. It is therefore necessary to design evaluation within a risky framework. Unfortunately, although the Von Neuman type of utility functions, despite their insufficiencies, provide a relatively firm background when individual decision making is concerned, no such theory does exist in the case of collective, public decisions.

Yet, the theory of individual decision making is important even in the case of publicly funded irrigation projects, because the expected benefit of such a project can widely vary in response to the nature of the risks that farmers are bearing. In particular, it is shown that a marginal risk reduction can generate a benefit which may vary from 1 to 10, according to the importance of risk to farmers, the level of risk they are already submitted to, their wealth, etc... Macro economic considerations can they be incorporated into the analysis, but without any formal model, for, unfortunately, such an instrument does not exist.

Key words: Irrigation, risk, investment, public decision.

CIHEAM - Options Mediterraneennes

Le calcul économique traditionnel fait très peu appel à la notion de risque. Quand on détermine la rentabilité d'un projet, ou même quand on en définit les spécifications techniques, il est courant de remplacer des grandeurs incertaines, comme les prix auxquels on vendra les produits du projet, ou les quantités d'eau requises par hectare, par leur espérance mathématique. Puis les calculs sont conduits comme si ces quantités étaient connues sans erreur. Tout au plus -surtout du côté des spécifications techniques- prend-on quelques " marges de sécurité ", dont le niveau est souvent déterminé par habitude, et sans faire intervenir aucun raisonnement économique digne de ce nom.

Pourtant, la lutte contre les risques de toute sorte est à l'origine de nombreuses institutions du monde moderne, à commencer par l'agriculture depuis le néolithique. De ce point de vue, l'irrigation, qui saute un degré supplémentaire dans l'artificialisation du milieu naturel, constitue une avancée de la sécurisation, en palliant à l'irrégularité des précipitations.[1] En même temps, elle crée des risques nouveaux :

Tableau I

Variabilité du rendement en grain à 0% d'humidité			
	Moyenne	Ecart type	Coefficient
sec	59	17.5	0.30
irrigué	84	15.5	0.18

Source : Rellier (1965)

i. Risques techniques tels que ruptures de barrage, ou catastrophes écologiques, comme la salinisation des terres irriguées, un phénomène qui s'est développé au début d'une façon inattendue sur beaucoup de terres arides.

ii. *Risques de gestion*: Un ouvrage d'irrigation est, par essence, limité, car les réserves ne dépassent pas une certaine capacité. De ce fait, s'il est de trop faibles dimensions, il se trouvera forcément un jour en défaut, et quelques irrigants au moins auront la mauvaise surprise d'ouvrir leurs vannes sans voir apparaître la moindre goutte d'eau...

iii. *Risque micro-économique*: Au niveau des exploitations, l'irrigation se traduit toujours par un investissement, parce qu'il faut payer toutes sortes de biens de production complémentaires : engrais, main d'oeuvre, etc... Le plus souvent, les agriculteurs n'ont pas les moyens de payer cela sur leurs fonds propres, et doivent emprunter. Or, la trésorerie d'une exploitation est un stock, alimenté par un flux de ventes, et sur lequel est prélevé un flux de paiements. L'emprunt (ou plutôt son remboursement), crée alors un flux de sortie " certain " (non aléatoire), tandis que l'irrigation crée des recettes, dont l'espérance, en

[1] Il importe de noter ici dès le départ de cet exposé que même une telle affirmation est contestable. Elle dépend de la façon dont on évalue le risque. Par exemple, dans le cas du maintenant célèbre dispositif expérimental de l'INRA à Auzeville, RELLIER (1985) donne pour le maïs le résultat indiqué dans le tableau I. On voit sur cet exemple que l'irrigation réduit de façon spectaculaire le coefficient de variation (le rapport écart type sur moyenne), mais peu significativement la variance du rendement du maïs à Auzeville. On sera donc amené à des conclusions très différentes selon que l'on se refère à l'un ou à l'autre de ces indicateurs de dispersion. De la même façon, dans les pays en voie de développement, il est bien connu que les " variétés de la révolution verte " (c'est-à-dire, des variétés irriguées, par opposition aux variétés traditionnelles, cultivées " en sec ") ont généralement des variances du rendement plus grandes que celles des variétés traditionnelles.

CIHEAM - Options Mediterraneennes

principe, est supérieure au flux de sortie précédent, mais dont la variabilité n'est jamais négligeable. Le stock de liquidité évolue donc comme une " marche au hasard ". Rien ne l'empêche a priori de devenir négatif, ce qui représente alors la catastrophe absolue du point de vue de l'agriculteur, la situation de " cessation de paiement ".

iv. *Risque macro-économique* : Il existe de nombreux exemples, dans le bassin méditerranéen, (comme les clémentines de Corse ou les oranges du Maroc) de vastes projets d'irrigation qui n'ont pas répondu au voeux de leurs promoteurs à cause de perturbations qu'ils avaient eux-mêmes contribué à créer dans les marchés.

Il est donc tout à fait surprenant que le risque soit largement ignoré dans la littérature qui concerne les projets d'irrigation, et la mesure de leur utilité. En fait, même sans accroissement du niveau moyen de la production, il est vraisemblable que les coûts élevés de l'irrigation seraient souvent justifiés du seul fait des effets de cette technique sur la régularité de la production. D'un autre côté, du fait que les projets créent des risques nouveaux, il est inévitable que se pose le problème de savoir si on ne peut pas réduire ces risques en acceptant une augmentation de coût. Cela entraîne qu'il faudra comparer l'utilité de la réduction de risque aux coûts supplémentaires.

Mais comment tenir compte des risques dans l'analyse coût bénéfice?

LES REPONSES DE LA THEORIE ECONOMIQUE

Depuis le 18ème siècle, et les travaux du mathématicien Daniel BERNOUILLI, la théorie économique s'est beaucoup intéressée au risque, mais sans jamais obtenir des résultats universellement admis. Il existe une théorie assez solide, quoique discutée, de la décision *individuelle*. Il n'y a pas de théorie satisfaisante de la décision *collective* en présence de risque. Le seul théorème qui soit universellement admis en ce domaine est celui de ARROW et LINDT (1970). Il dit que, à la différence du décideur individuel, qui doit se préoccuper non seulement de l'espérance mathématique de ses gains, mais aussi de leur variabilité (parfois mesurée par la variance), l'Etat ne doit faire intervenir dans ses décisions *que l'espérance* de rentabilité d'un projet, du moins tant que les risques en causerestent indépendants en probabilité de ceux des autres projets faisant l'objet de financement public. Un tel raisonnement s'applique aux risques techniques (ruptures de barrage, etc...), mais évidemment pas aux risques que nous avons appelés plus haut " macro-économiques ". En outre, même pour les risques " techniques ", peu d'analystes croient sérieusement à la validité pratique du raisonnement précédent, parce qu'il est trop clair que les pertes spectaculaires liées par exemple à la rupture d'un barrage ne peuvent pas être sans conséquences pour le pouvoir politique qui a assumé ce risque. Rien que pour cette raison, les autorités ne peuvent pas se borner à évaluer les espérances de pertes. Mais il n'existe à notre connaissance aucune base théorique solide pour choisir entre une perte moyenne importante, mais de faible amplitude, et la possibilité d'une catastrophe très grave, mais très improbable[(2)].

Ceci est très fâcheux du point de vue qui vient d'être exposé, puisque l'objectif que nous venons de nous fixer est d'évaluer l'utilité collective d'une réduction de risques. Il faut se résigner à être privé de doctrine économique solide en la matière. Cependant, la théorie du comportement *individuel* en face du risque n'est tout de même pas inutile, parce qu'elle fournit des bases solides pour la *prévision* (sinon pour l'évaluation) des conséquences à attendre de la réalisation d'un projet. Cela tient à ce que les conséquences de la réalisation d'un projet sont largement déterminées par des décisions individuelles, qui se prennent en présence de risque, et qui seront fort différentes selon la nature des risques individuels auxquels sont soumis les décideurs individuels. Il en résulte que, selon les cas, l'espérance de bénéfice d'un projet peut varier dans des proportions considérables. De ce fait, même en l'absence de théorie satisfaisante de la décision collective en présence de risque, l'étude de la décision individuelle est tout à fait nécessaire à l'évaluation des projets publics.

(2) Ainsi, par exemple, dans certains pays, on accepte relativement facilement des accidents à répétition dans les mines de charbon, en même temps qu'on refuse catégoriquement les risques liés " au nucléaire ", quoique ces derniers soient en moyenne plus faibles, sans doute parce que les risques nucléaires sont au moins plus spectaculaires.

CIHEAM - Options Mediterraneennes

Nous allons exposer les fondements de cette théorie du décideur individuel, et en examiner les implications sur un exemple.

Les fondements de théorie de la décision individuelle en présence de risque

Chacun peut observer que ce n'est pas équivalent d'avoir un gain, ou une espérance de gain d'un même montant. Mais comment faire l'arbitrage, quand on a plusieurs possibilités, entre un gain élevé et risqué, et un gain sûr et faible? L'approche la plus naturelle consiste à déterminer un " niveau de risque " acceptable, d'éliminer toutes les solutions qui ne le garantissent pas, et de procéder ensuite avec les critères de choix habituels, par exemple la maximisation de l'espérance de gain. Mais comment caractériser le risque?

Ici encore, l'approche la plus naturelle consiste à le faire par l'intermédiaire d'une probabilité. Par exemple, je peux songer à maximiser mon espérance de gain, sous la contrainte que ma probabilité de perdre une somme x n'excède pas le niveau p. Ce qui est gênant, dans une telle approche, c'est que le niveau de risque acceptable s'exprime par un couple de deux nombres: le niveau x de perte, et la probabilité p d'occurrence, alors même que ces deux nombres sont manifestement liés. Je peux choisir un niveau de perte relativement élevé avec une probabilité très faible, ou, au contraire, choisir une perte faible avec un seuil de probabilité moins élevé. Cela tient à ce que le problème n'est pas ici de choisir entre des alternatives en nombre fini, mais entre des lois de probabilités, chacune d'elles pouvant prendre un nombre de valeur infini.

Une solution à ce problème a été suggérée par Von NEUMANN, il y a cinquante ans (cf. Von NEUMANN et MORGENSTERN, 1947), et elle constitue encore la théorie la plus universellement admise, bien que Maurice ALLAIS en ait montré les faiblesses, dans les cas extrêmes, dès le début des années 50 (ALLAIS, 1954). Son succès vient de sa grande élégance. L'" aversion pour le risque ", selon Von NEUMANN, est contenue toute entière dans l'hypothèse selon laquelle l'utilité de la richesse est décroissante. Si j'ai une richesse de 100 qui passe à 101, j'aurai un accroissement de satisfaction plus grand que si j'ai une richesse de 1 000 qui passe à 1 001. Une telle hypothèse est assez raisonnable. Elle entraîne que l'utilité de l'espérance d'une richesse quelconque est plus grande que l'espérance de l'utilité des mêmes niveaux de richesse. La différence entre les deux est la " prime de risque " qu'un décideur rationnel est disposé à payer pour remplacer une richesse aléatoire par une richesse sans risque.

La critique de fond de Maurice ALLAIS à l'encontre de cette théorie est qu'elle ne marche pas dans les cas extrêmes. Lorsque les gains ou les pertes sont très grands, et que la perte est quasi sûre, ou pratiquement négligeable, il a montré que la plupart des gens se comportent d'une façon qui est en contradiction avec la théorie de Von NEUMANN, laquelle est donc très insuffisante en principe pour rendre compte de tous les comportements observés. Il n'en demeure pas moins qu'on peut penser qu'elle reste largement valable en première approximation dans beaucoup de décisions courantes, en particulier quand il s'agit d'adoption de techniques agricoles comme l'irrigation.

Les conséquences pour l'économie de l'irrigation

De fait, les modèles qui sont fondés sur cette théorie rendent assez bien compte de la plupart des faits observés quand on examine le comportement des agriculteurs face au risque. Il y a intérêt à diversifier ses productions (" ne pas mettre tous ses oeufs dans le même panier "), et à gérer son " portefeuille de culture " comme le ferait un banquier, en mélangeant des " cultures à risques ", à fort potentiel de gain, et des " cultures de sécurité ", moins rentables mais plus sûres. On explique par là bon nombre de comportements qui apparaîtraient autrement " irrationnels ", y compris, parfois, le refus de l'irrigation en dépit de sa rentabilité démontrée.

Cela est assez bien connu. Ce qui l'est moins, bien que ce soit au coeur de la théorie de Von NEUMANN, c'est l'importance, dans ce contexte, du " niveau de richesse initiale ". Un agriculteur " riche " ne réagira pas en face du même risque (du même ensemble d'événements possibles avec les mêmes probabilités) de la même façon qu'un agriculteur " pauvre ". On dit que " l'aversion pour le risque " est *a priori* moins grande chez le premier que chez le second. Il y a plus: pour un même agriculteur, l'évolution de sa richesse potentielle à un moment donné est elle-même conditionnée par les plans qu'il forme pour l'avenir. Par exemple, s'il emprunte, il est clair qu'il présentera une aversion pour le risque plus grande, toutes choses égales d'ailleurs, que s'il n'emprunte pas. Dans ces conditions, si le passage à l'irrigation

CIHEAM - Options Mediterraneennes

implique des emprunts, il se peut très bien que la situation " avec irrigation " soit perçue comme moins favorable que la situation " sans " irrigation, quand bien même le risque " objectif " de la première serait plus faible que celui de la seconde, du seul fait que l'existence (et la nécessité) des emprunts lui change son aversion pour le risque entre les deux hypothèses. Ceci entraîne qu'il est impossible d'admettre, comme le font trop d'analystes superficiels, que l'*aversion absolue pour le risque* est une constante liée à la personnalité d'un agriculteur.

L'aversion pour le risque est le coefficient A dans la formule :

$$u(Z) = \bar{Z} - A\,\sigma_z^2 \qquad (1)$$

où Z est un revenu aléatoire, de moyenne $\bar{Z}$ et de variance σ_z^2, et u est l'utilité de ce revenu (à ne pas confondre avec U(W), utilité de la richesse non aléatoire W). Cette formule résulte du développement en série de Taylor à l'ordre 2 au voisinage de W (Z étant considéré comme un infiniment petit par rapport à W) des deux membres de l'égalité :

$$E\,[U(W+Z)] = U\,(\bar{W} + \bar{Z} - \pi)$$

où π (que l'on montre être égal à

$A\,\sigma_z^2$, avec $A = -\dfrac{U''(W)}{U'(W)}$) est la " prime de risque " que l'on est disposé à payer pour obtenir avec certitude le revenu $\bar{Z} - \pi$ à la place du revenu aléatoire Z. La manière dont ce coefficient est défini montre qu'il n'a de sens que pour de tout petits accroissements de richesse (quand z tend vers zéro) et pour une faible variabilité de Z (il faut que σ_z^2 soit aussi un infiniment petit). Ce n'est pas le cas en général, et c'est la raison pour laquelle la fonction d'utilité (1) doit être utilisée avec prudence dans les modèles, en dépit du fait que sa simplicité l'ait rendue très populaire chez beaucoup de constructeurs de modèles. L'exemple ci-après, qui traite le problème classique de l'évaluation de l'utilité d'une réduction du risque de défaillance d'un ouvrage, illustre ce propos.

Un exemple à propos des bénéfices de la réduction du risque de défaillance d'ouvrage

Un réseau de fourniture d'eau d'irrigation n'est jamais fiable à 100 %. Il existe toujours un "taux de défaillance", une probabilité que le réseau ne puisse fonctionner du fait, par exemple, de l'insuffisance de la ressource en eau. Il arrive parfois que des investissements non négligeables soient consentis pour, sans étendre le réseau, en améliorer la fiabilité. La probabilité de défaillance passe alors de P_s (sans l'investissement) à P_a (avec l'investissement). Comment évaluer les bénéfices associés? La méthode suivie ici pour répondre à cette question est illustrative de cas beaucoup plus généraux, où l'on considère l'irrigation comme, à la fois un moyen d'augmenter les rendements, et un moyen de réduire les risques individuels. Nous allons surtout voir qu'il est essentiel pour cela de considérer les risques individuels de chaque agriculteur.

L'évaluation sans tenir compte du risque

La façon la plus naturelle de procéder consiste à évaluer E_p l'espérance mathématique de perte évitée par l'investissement:

Si y_n et y_d sont les rendements " normaux " et " en cas de défaillance " d'un hectare moyen sur le réseau, alors, S représentant la surface concernée:

$$E_p = S\,[y_d P_a + y_n (1 - P_a) - [y_d P_s + y_n (1 - P_s)]] \qquad (2)$$

Par exemple, avec:

$Y_n = 10\,000$ F/ha, $Y_d = 8\,000$ F/ha, $P_S = 0.6$, $P_a = 0.8$, pour une surface de 1 ha, on a $E_p = 9\,600 - 9\,200 = 400$ F/ha. La méthode, ici, est très simple. On a une valeur "à l'hectare qu'on peut généraliser très facilement. Mais nous allons voir que, ce faisant, on sous-estime grossièrement les bénéfices.

L'introduction de l'aversion pour le risque

Avec la formule (1), en appelant v_{za} la variance du résultat "avec" investissement, v_{zs} cette variance dans l'hypothèse " sans " investissement (on calcule facilement ces valeurs à partir de la loi binomiale), l'utilité de l'investissement est donnée par:

$$B = E\,[U(z_a)] - E\,[U(z_s)] = \bar{z}_a - \bar{z}_S - A(v_{za} - v_{zs}) \qquad (3)$$

CIHEAM - Options Mediterraneennes

Dans l'exemple ci-dessus, $\bar{z}_a = 9\,600$, $\bar{z}_S = 9\,200$, et on vérifie que : $v_{za} = 640\,000$, $v_{zs} = 960\,000$, de sorte que le bénéfice est donné par : $B = 400 + A \times 320\,000$.

Le résultat dépend évidemment de façon cruciale de la valeur de A, le coefficient d'aversion pour le risque attribué à l'agriculteur. Mais comment le déterminer ? En se basant, par exemple, sur les contrats d'assurance courants [3], on peut admettre en première approximation, que A est de l'ordre de 3×10^{-6}, ce qui donne pour B une valeur de l'ordre de 1 F/ha ! Il s'agit là cependant d'une estimation tout à fait minorée de l'aversion pour le risque, et du bénéfice à attendre de l'opération, pour les raisons suivantes :

1. Si le bénéfice par ha est linéaire en A, il n'en est pas de même du bénéfice total sur une exploitation.

Par exemple, les mêmes données que précédemment appliquées sur 100 ha donnent un bénéfice de $40\,000 + 3.2 \times 10^9$ A=48 960 F si $A=2.8 \times 10^{-6}$, au lieu de 40 000 si A = 0.

2. L'aversion pour le risque dépend de la fortune du sujet économique, comme cela ressort du raisonnement précédent. Le coefficient A d'aversion absolue pour le risque ne peut donc que difficilement être considéré comme constant. Ceci conduit à revenir à la formulation originale de Von NEUMANN, comme on va le faire plus loin.

Le risque, et les plans de production des agriculteurs

Le risque n'est pas neutre vis-à-vis des plans de production des agriculteurs. Pour une recette z, en univers " certain ", les agriculteurs égalisent la recette marginale z'(q) avec le coût marginal c'(q), lui-même une fonction de la quantité produite q. En univers aléatoire, ils vont choisir q de manière à égaliser c'(q) avec l'équivalent certain de z'(q), soit :

$$c'(q) = \frac{d}{dq}\,[E\,[U[x + z(q)]] - U[x]] \quad (4)$$

Le bénéfice de l'opération devient alors:

$$B = \bar{z}_a - \bar{z}_s - A(v_{za} - v_{zs}) - C_a(\bar{z}_a) + C_s(\bar{z}_s) \quad (5)$$

où $C_a(\bar{z}_a)$ et $C_S(\bar{z}_S)$ correspondent aux coûts nécessaires pour obtenir les espérances de recette $\bar{z}_a$ et $\bar{z}_S$ avec et sans aménagement. Si P_s et P_a sont comme précédemment, les probabilités de défaillance " avec " et " sans " aménagement, il faut évaluer $C_s(P_s, A)$ et $C_a(P_a, A)$ à partir de (4). Cela est difficile du fait en particulier que C_s et C_a doivent alors tenir compte de l'ensemble de la situation économique de l'exploitation.

En toute rigueur, il faudrait pour cela effectuer une analyse complète du fonctionnement de l'exploitation type du projet (ou des différents types d'exploitation, s'il y en a plusieurs), par exemple à l'aide

---

[3] On peut schématiser un contrat d'assurance automobile classique par les chiffres suivants :

Probabilité de 0 sinistre en 1 an : 0.80
Probabilité d'un sinistre de 10 000 F : 0.199
Probabilité d'un sinistre de 500 000 F : 0.001

Coût du contrat : 30 % en plus de la valeur moyenne des sinistres.
On obtient alors la valeur moyenne et la variance du contrat, $\bar{z}_c$ et v_c : $\bar{z}_c = 2\,490$, $v_c = 263\,699\,900$, soit, avec les conventions précédentes, et en supposant les acheteurs de contrat indifférents entre " s'assurer " et " ne. pas s'assurer ", $A = 2.8 \times 10^{-6}$

CIHEAM - Options Mediterraneennes

d'un modèle de programmation linéaire. Ici, pour éviter les complications d'un tel modèle, et centrer la discussion sur les seuls aspects cruciaux de la question, nous ferons l'hypothèse que la production est de type " Cobb Douglas " [4], avec un facteur fixe et un facteur variable. Le tableau II présente les résultats d'un tel calcul.

Il apparaît ainsi que les bénéfices d'une réduction modérée de la probabilité de défaillance du réseau peuvent être très variables, suivant la taille des exploitations, et suivant l'aversion pour le risque du chef d'exploitation -ce bénéfice étant maximum dans le cas d'une grande exploitation fortement endettée (et donc avec un fort coefficient absolu d'aversion pour le risque).

Mais il est raisonnable de s'attendre à ce que, justement, l'endettement ne soit pas indépendant des risques. Pour traiter cette question, il faut construire un modèle du fonctionnement de l'entreprise qui tienne compte des liens entre risque et comportement financier. Il ne suffit plus, cependant, pour cela, de considérer seulement le cas d'un risque " isolé ", pour un coefficient d'aversion pour le risque donné. Du fait que la décision d'emprunter met en cause l'ensemble de la gestion patrimoniale du décideur, il faut considérer l'ensemble des risques auxquels celui-ci est soumis, et l'ensemble des stratégies qu'il met en oeuvre pour les accepter ou les éviter. Cela suppose de revenir à la formulation originelle de Von NEUMANN.

L'effet du risque sur les emprunts

Supposons (c'est arbitraire, comme la fonction Cobb Douglas précédente, mais cela permet d'illustrer numériquement notre propos) que l'utilité de l'agriculteur au temps t soit donnée par :

$$U_t = w_t^c \qquad (6)$$

où w_t est la " richesse " de l'exploitant au temps t, c'est un coefficient qui définit la concavité de la fonction d'utilité (avec $0 < c$). Cette fonction d'utilité est évidemment discutable, mais elle est largement utilisée dans la littérature. Son principal inconvénient est de n'être définie que si $w > 0$.

---

[4] La fonction Cobb Douglas s'écrit :

$$y = w^{\alpha} g^{1-\alpha} ,$$

avec : α proportion du facteur variable dans la valeur de la production
w, g, les quantités de facteur, respectivement variable et fixe.
s et f les prix des facteurs, respectivement variable et fixe.
y et x la quantité et le prix du produit.

Les conditions du premier ordre pour la maximisation du profit impliquent :

$$\frac{sw}{xy} = \alpha \ , \ \frac{fg}{xy} = 1 - \alpha$$

En présence de risque, il faut remplacer le prix aléatoire x par son équivalent certain, soit :

$$x = \bar{x} - 2A\sigma_x^2 y$$

En posant d'abord, dans la situation " sans " aménagement,

$\bar{x}_S = P_{ds}\, h + (1 - P_{ds})$, $\sigma_x^2 = P_{ds}\,(h - \bar{x}_S)^2 + (1 - P_{ds})\,(1 - x_S)^2$ où P_{ds} représente la probabilité de défaillance sans aménagement, et $s = 1$ (c'est un choix d'unité), on peut déterminer y, w et f à partir de g. On procède de même dans la situation " avec " aménagement.

CIHEAM - Options Mediterraneennes

Tableau II - *Bénéfice, en % de la valeur de la production " sans projet "(5) de la réduction de la probabilité de défaillance(6) pour différentes valeurs de la proportion de facteur variable, diverses aversions pour le risque et diverses tailles d'exploitations(7), calculé à partir d'une fonction de production Cobb-Douglas à rendement constant.*

Aversion pour le risque					
Proportion de facteur fixe dans la valeur de la production	Taille d'exploitation	0	10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}
0.8	10 000	4.37	4.37	4.38	4.46
	100 000	4.37	4.38	4.46	5.38
	1 000 000	4.37	4.46	5.38	27.23
0.6	10 000	4.41	4.41	4.41	4.50
	10 000	4.41	4.50	4.50	5.46
	1 000 000	4.41	4.50	5.46	20.19
0.4	10 000	4.49	4.49	4.50	4.60
	100 000	4.49	4.50	4.60	5.67
	1 000 000	4.49	4.60	5.67	16.82

(5) Remarque : En l'absence de toute réorganisation, et de toute aversion pour le risque, le ratio bénéfice/situation initiale est donné par :
100 x [((0.2 x 0.8) + 0.8) - ((0.4 x 0.8) + 0.6)] / [0.4 x 0.8 + 0.6] = 4.34.

(6) En cas de " défaillance ", on suppose que la production est réduite de 20 % par rapport à la production " normale ". la probabilité de défaillance est de 0.4 dans la situation " sans amélioration " et de 0.2 dans la situation " avec amélioration ".

(7) Définies comme " la quantité de facteurs fixes ", en francs. (Il s'agit d'un prix de location annuel, à comparer à un fermage, non à un capital).

CIHEAM - Options Mediterraneennes

En partant d'une richesse w_o au temps 0, on obtient au temps t une richesse w_t et l'utilité maximisée par l'agriculteur dans l'intervalle de temps (0, t) normalement, 1 an) est donc :

$$U(w_t) - U(w_o) = W_t^c - W_o^c$$

Le terme en $U(w_o)$ n'intervient pas dans la maximisation et peut donc être négligé. Au temps t, la richesse de l'agriculteur sera donnée par :

$$(7)\ W_t = (1 + \theta_p)(w_o - I) + pf(I + H) - (1 + \theta_e)H$$

où :

H représente les emprunts effectués au cours de la période, et non remboursés

I représente les investissements sur fonds propres (avec $I < w_o$)

θ_p et θ_e représentent les taux d'intérêts des placements et des emprunts, respectivement

f est la productivité marginale physique du capital. On la suppose ici constante, ce qui correspond à l'hypothèse d'une fonction de production homogène et de degré 1 (donc " à rendements constants "), en l'absence de facteurs fixes (de fait, un agriculteur peut toujours acheter de la terre, et sans que cet achat influe de façon sensible sur le prix de la terre). Dans les tableaux qui suivent, on a pris $f = 1.20$, correspondant à une productivité marginale du capital relativement élevée de 20 %.

p est le " prix " de l'output qui peut prendre différentes valeurs selon les circonstances.

Il reste à définir " les circonstances ". De ce point de vue, à ce stade de la construction d'un modèle de décision des exploitants, nous rencontrons une difficulté supplémentaire, qui vient de ce que le risque dont nous envisageons la suppression ou la réduction n'est sûrement pas le seul auquel sont soumis les agriculteurs dont nous cherchons le comportement.

Sans doute l'agriculteur sera-t-il sensible à une réduction de la probabilité de défaillance de son approvisionnement en eau. Mais attachera-t-il la même valeur à la même réduction de probabilité de défaillance du réseau, selon qu'il produira avec cette eau une culture spéculative au prix très fluctuant, ou, au contraire, une culture soutenue par le gouvernement, au prix quasi fixe? Pour pouvoir examiner les questions de ce type, on posera : $p = r_g r_d$ où r_g et r_d sont deux grandeurs aléatoires qui dépendent de deux risques bien différents :

r_g dépend du risque lié aux conditions économiques générales. Dans la suite, on le qualifiera de " bruit de fond ", quoique cette image ne donne sans doute qu'une image imparfaite de la notion. On donnera à r_g les valeurs r_{gn} et r_{gm} selon que les conditions économiques générales sont " normales " ($r_{gn} = 1$) ou " mauvaises " ($r_{gn} = 0.9$, 0.8 , 0.6 , selon les hypothèses) avec les probabilités η et $1 - \eta$.

r_d correspond au risque de défaillance. Il prend la valeur $r_{dn} = 1$ en situation " normale ", et $r_{dm} = 0.8$ en situation " de défaillance " du réseau, situations qui se rencontrent avec les possibilités ε_a et $(1 - \varepsilon_a)$, ou ε_s et $(1 - \varepsilon_s)$ selon que l'on se trouve dans la situation " avec " ou " sans " un aménagement visant à " réduire la probabilité de défaillance " (ce qui revient à rapprocher ε de 1). En pratique, dans ce qui suit, on fait passer la probabilité de défaillance de 0.4 à 0.2 soit $\varepsilon_a = 0.6$ et $\varepsilon_s = 0.8$.

Le risque total pris dans ces conditions peut n'être pas négligeable. Il convient cependant de remarquer que l'investisseur peut éviter tout risque en plaçant ses capitaux au taux θ_p, au lieu de les investir dans la production agricole. C'est l'intérêt des exemples qui vont suivre que de montrer qu'une réduction marginale du risque peut inciter le décideur à passer d'une situation attentiste, dans laquelle il place tous ses capitaux en actifs financiers " sûr ", à une situation d'investisseur, dans laquelle il prend des risques, et, en même temps, accroît son espérance de revenu de façon substantielle. (Ici, $\theta_p = \theta_e = 8$ %, ce qui suppose l'absence de coûts de transaction en matière financière, une hypothèse évidemment peu réaliste, mais qui ne semble cependant pas essentielle pour les résultats qui vont suivre).

On est en effet ainsi conduit à maximiser E(U) par rapport à I et H, U(w) étant donné par (6), et w par (7), les probabilités pour p étant déterminées comme indiqué ci-dessus. Les résultats (obtenus par

CIHEAM - Options Mediterraneennes

l'intermédiaire du programme GAMS, listing en annexe) pour différentes valeurs de c, de r_g, et de w_o, à chaque fois dans les hypothèses " avec " et " sans " réduction de la probabilité de défaillance, sont donnés dans le tableau III qui suit. Il montre comment varie le bénéfice pour différentes valeurs du " bruit " (celui-ci est défini comme une diminution du rendement F de 40 %, de 20 %, de 10 % et de 0 %, avec une probabilité fixée à 0.2 dans tous les cas). Le modèle est, à chaque fois, résolu dans la situation " avec " (probabilité de défaillance = 0.2) ou " sans " (probabilité de défaillance = 0.4) le " projet " (qui laisse à 20 % la réduction de rendement dû à la défaillance, réduction de rendement qui se cumule avec celle du " bruit "). Enfin, pour étudier les conséquences d'une variation du paramètre c de la fonction d'utilité, tout le travail est effectué une fois avec $c = 0.8$, et une autre fois avec $c = 0.9$ (ce deuxième cas correspond à une aversion pour le risque moindre).

Les chiffres parlent d'eux-mêmes. Avec un " bruit " extérieur très fort, le décideur préfère ne pas investir, et se contenter de placements sûr à faible revenu. Dans cette hypothèse, l'apport du " projet " est négligeable. Lorsque le " bruit " diminue, l'investisseur devient sensible au calcul économique "standard". De fait, en l'absence de tout risque autre que celui de la défaillance du réseau d'irrigation, il investit de grandes sommes empruntées (en conservant cependant une épargne de précaution). Dans ce cas, l'accroissement de sécurité permise par la réduction du risque de défaillance technique augmente les investissements de manière spectaculaire, multipliant le revenu par 2.5, et augmentant l'utilité d'un quart. Cependant, les accroissements de revenu

Tableau III - *Différentes solutions du modèle, pour une fortune initiale de 750 000 F (taux d'intérêt 8 %, productivité totale du capital en situation " normale ": 20 %)*

(milliers de francs)

Réductions de revenu en " mauvaise " année		40 %		20 %		10 %		0 %	
Sources		(H42) (H22)		(H41) (H21)		(H31) (H11)		(H32) (H12)	
	Aménagement	sans	avec	sans	avec	sans	avec	sans	avec
Exposant 0.8	Placements de précaution	750	750	750	0	249	0	750	750
	Investissements (sur fonds propres)	0	0	0	750	501	750	0	0
	Emprunts	0	0	0	1 812	0	3 000	5 179	6 737
	Utilité	53	53	53	55	53	61	57	74
	Revenu moyen	60	60	60	126	61	243	184	545
Utilité 0.9	Placement de précaution	750	750	750	0	0	0	750	750
	Investissements (sur fonds propres)	0	0	0	750	750	750	0	0
	Emprunts	0	0	0	1 846	233	3 000	6 519	6 750
	Utilité	207	207	207	221	208	247	233	370
	Revenu	60	60	60	127	62	243	216	546

RISQEAU3.doc

CIHEAM - Options Mediterraneennes

les plus spectaculaires sont obtenus avec un " bruit "modéré. Dans ce cas, les deux risques se renforcent mutuellement, de sorte que la réduction du risque de défaillance du projet multiplie le revenu par presque quatre, même si l'accroissement d'utilité n'est pas aussi considérable que dans le cas précédent. Le changement de valeur de l'exposant pour l'utilité ne modifie pas ces conclusions de manière notable.

La conclusion essentielle est donc que les effets possibles d'une amélioration de la sécurité des agriculteurs -que cet accroissement de sécurité soit dû à l'amélioration du réseau d'irrigation, ou à toute autre cause- dépend beaucoup du contexte dans lequel cette innovation prend place. Dans un environnement trop risqué, l'utilité de cette amélioration est faible. Dans un environnement plus sûr, elle peut être considérable, et permettre des accroissements de revenu bien supérieurs à l'espérance de pertes évitées. Dans un environnement modérément risqué, les bénéfices sont encore plus grands.

CONSIDERATIONS MACROECONOMIQUES

On voit sur l'exemple précédent à la fois l'importance du risque micro-économique (dans le cas d'école évoqué, et en dépit de toutes les réserves qui s'imposent vis-à-vis d'une situation aussi caricaturale, on est amené à multiplier par un facteur de l'ordre de 3 le bénéfice " moyen " d'une amélioration de la fiabilité du réseau), et la complexité de son étude, qui impose la prise en considération non seulement des paramètres de l'aléa étudié lui-même, mais encore de ceux de l'économie générale, des possibilités d'emprunt, des autres possibilités de placement, etc... Peut-on tirer de cette analyse des enseignements valables en macro-économie?

A première vue, la réponse est négative. La théorie micro-économique de l'aversion pour le risque, on l'a vu plus haut, ne se généralise pas au niveau de l'Etat. Il n'existe pas de théorie de l'action collective en présence de risque, qui permettrait par exemple de déterminer un niveau de risque " acceptable " en matière de rupture de barrage, ou de catastrophe écologique. On en est réduit en la matière à deux préceptes assez vagues, mais non sans signification (en particulier, le second) :

a) Il faut toujours *a priori* préférer les solutions *flexibles*, susceptibles de modifications lorsque de l'information nouvelle parvient sur l'état du monde[8]. Par exemple, il est de fait que beaucoup de systèmes d'irrigation, dans le Bassin Méditerranéen sont à terme condamnés à se transformer en producteurs d'eau urbaine. Parfois, y songer dès la conception de l'ouvrage peut faire gagner beaucoup d'argent, ultérieurement, quand la nécessité de la conversion se fait sentir.

b) Parce que c'est un organisme "éternel", et parce qu'il est amené à investir dans un grand nombre de projets dont on peut espérer que les rentabilités sont indépendantes en probabilité (et dont la somme des bénéfices, de ce fait, en vertu de la loi des grands nombres, présente une variabilité très faible), l'Etat peut se permettre de prendre des risques que ne prendraient pas des investisseurs privés. Cette analyse, due à ARROW et LIN, a une portée générale en finances publiques. Elle s'applique tout spécialement aux projets d'irrigation, car elle justifie l'intervention de l'Etat dans cette sorte d'activité: autrement, on ne comprendrait pas pourquoi la construction des réseaux d'irrigation rentables ne devrait pas être laissée à l'initiative privée, cependant que l'Etat ne devrait en aucun cas envisager de financer un projet non rentable[9].

[9] Ceci, à vrai dire, est tout aussi vrai en microéconomie, et résulte plus de la théorie de la décision séquentielle d'Abraham WALD que de la théorie de la décision en présence de risque, qui vient en aval de la précédente

[10] Remarquons qu'il s'agit là de l'initiative du projet, et non de sa gestion. Dans les trente dernières années, les deux choses ont été confondues à tort, la prise en charge de la gestion quotidienne des projets par l'Etat conduisant à la création de bureaucraties lourdes et inefficaces. En réalité, on peut très bien concevoir que l'Etat participe au financement d'un projet, sans en avoir la gestion, et sans " toucher au produit ".

CIHEAM - Options Mediterraneennes

Le principe en question, toutefois, est loin d'être universellement admis, et pose bien des problèmes d'application. En particulier, le fait que la logique du raisonnement n'implique aucun désagrément pour les décideurs publics qui auraient financé un projet *a posteriori* "non rentable" recèle de redoutables possibilités de création de ce que les compagnies d'assurance appellent le "hasard moral". La sélection automatique par la procédure des "mauvais risques" qui ne trouveraient pas d'autre financement..

En dépit de cette insuffisance de la théorie économique en matière de décision collective en présence de risque, les analyses micro-économiques présentées ci-dessus sont loin d'être sans signification macro-économique. Elles montrent que l'espérance de bénéfice d'un projet dépend de manière crucial à la fois de phénomènes aléatoires propres à ce projet lui-même (phénomènes qu'on ne peut en aucun cas évacuer en remplaçant les quantités aléatoires par leurs moyennes, comme on a trop souvent coutume de le faire), et de phénomènes aléatoires *généraux*, qui n'ont rien à voir avec le projet, mais dépendent de son " environnement ". Si les concepteurs de projets étaient conscients de ce phénomène, une immense foule d'erreurs économiques tragiques seraient évitées, et les deniers publics dépensés de façon infiniment plus efficace!

CONCLUSION

En résumé, si la théorie économique a peu de choses à dire sur la façon dont les collectivités doivent tenir compte des risques qui leur sont propres, en revanche, les conséquences macro-économiques de la théorie micro-économique de la décision de risque sont de la plus haute importance. Il est impossible d'évaluer correctement un projet d'investissement public, en particulier dans le domaine de l'irrigation, sans faire intervenir explicitement le risque dans l'analyse. Mieux encore, le risque est l'une des justifications les plus solides de l'intervention de l'Etat en la matière.

Il n'en demeure pas moins que des efforts de recherche très importants doivent encore être consentis dans ce domaine. Ils portent en particulier sur:

- les insuffisances du modèle de Von NEUMANN. De nombreux travaux ont été consacrés récemment à cette question, sans qu'un véritable consensus émerge sur cette question ;
- l'élaboration de procédures de calculs pour la préparation de modèles de comportements d'agriculteurs. De ce point de vue, le fait nouveau est l'existence d'ordinateurs puissants à un prix abordable. Il est possible d'y implémenter des algorithmes connus depuis longtemps pour la résolution de problèmes de programmation mathématique non linéaires, mais que le coût du calcul interdisait de mettre en oeuvre jusqu'à une date récente. A l'heure actuelle, la programmation non linéaire est aussi facile à mettre en oeuvre que la programmation linéaire autrefois. Il n'y a pas de raison de s'en priver pour la préparation d'un projet;
- la connaissance de la façon dont les agriculteurs perçoivent les risques. Tout ce qui a été dit précédemment suppose que l'on puisse caractériser les risques par des lois de probabilité. Mais le raisonnement en termes de probabilité n'est sans doute pas naturel à l'esprit humain[10]. Il est donc important, pour construire des modèles prévisionnels, non seulement de disposer d'un modèle qui permette au moins approximativement de prévoir le comportement des sujets économiques dans un environnement "à probabilités contrôlées" (en tout cas, bien définies !), mais encore d'analyser de façon empirique comment ils se représentent les événements futurs, et comment ils attribuent des probabilités aux éventualités "possibles". Il s'agit là d'un problème qui n'est pas mince, et qui mobilise de nombreux chercheurs en économie dans le monde. Leur terrain d'expérience favori est sans aucun doute plutôt la spéculation boursière que l'Agriculture et l'irrigation. Mais il ne fait pas de doute que l'agriculture et l'irrigation *peuvent* être des terrains d'expérience intéressants dans ce domaine...

[10] C'est, du reste, la raison pour laquelle une des solutions possibles aux fameux " paradoxes de Allais ", par lesquels ce dernier met en cause le modèle de Von NEUMANN, consiste à supposer une sorte de " torsion " des lois de probabilité au voisinage de la certitude. Cf MUNIE(1991).

CIHEAM - Options Mediterraneennes

BIBLIOGRAPHIE

- **Allais, M.** (1954) **:** Le comportement de l'homme rationnel devant le risque : critique des postulats de l'école américaine. Econometrica.
- **Arrow, K.J. et Lin, R.C.** (1970) : Uncertainty and the evaluation of public investment decision. In Arrow, K.J. (editor) : Essays in the theory of risk bearing, North Holland, Amsterdam, 1971.
- **Munie, B.** (1991) : Risk, decision and rationality Dordrecht, Reidel : Kluwer.
- **Neumann, A. Von et Morgenstern, O.** (1947): Theory of games and economic behaviour. Princeton University Press, Princeton.
- **Rellier, J.P.** (1985): Etude statistique de rendement du maïs grain à partir de références expérimentales multispatiales; conséquences pour l'optimisation de quelques intrants. Mimeo, INRA Auzeville.