

ANALYSE QUANTILIQUE DES ALEAS DES PLUIES DECADAIRE EN TUNISIE DU NORD ET ESSAI DE DIMENSIONNEMENT DES DEMANDES D'IRRIGATION D'APPOINT POUR LES CULTURES DE BLE

YADH ZAHAR (*)

Tous les experts s'accordent à dire que les véritables enjeux pour l'humanité, dans les prochaines décennies, sont autant la sécurité alimentaire que l'économie des ressources en eau.

En Tunisie ces deux secteurs sont intimement liés et éminemment stratégiques pour le développement économique et social du pays. A cet effet, le développement de la céréaliculture irriguée constitue un impératif de cette stratégie.

Car le déficit pluviométrique de certaines années est le principal frein à l'essor du secteur céréalier, et pénalise assez sévèrement l'économie, du fait de devoir importer en quantités importantes des produits céréaliers, et au prix de capitaux étrangers. Il y a en réalité une autre raison de penser que la céréaliculture irriguée est un impératif actuel à l'agriculture tunisienne: l'abaissement du niveau du risque en matière de rendement, ce qui aurait pour avantage d'introduire de nouvelles méthodes de travail. Il serait, en effet, extrêmement utile de pouvoir "cibler" des niveaux de production, compte tenu des pluies enregistrées, et du dimensionnement de la demande en eau d'irrigation d'appoint.

POSITION DU PROBLÈME

Les caprices du climat tunisien ont des conséquences im-

ABSTRACT

The irrigation in wheat cultures, that is an irrigation of balance, clothes a strategic stake, and require a management rational of the resource in water and needs water of the plant, of way to fully exploit its genetic performances. Generally one resigns itself enough easily to admit that forecasting on availability's and needs in water lean on the climatic or other factors (pedologic, etc.), necessarily uncertain. Some against part, such a gait requires that one doesn't let anything at random, well to the opposite, it is about anticipating with regard to the seasonal rhythm of rains, and to foresee to every stadium criticises development of wheat during which it is appreciable to the lack of water, the indispensable water quantities to the regular growth of the plant. Needs in water of the wheat are today relatively known and establish by the CRGR (Centre of Research in Farming Genius). Our gait consists in studying risks of contributions rainfall decade for 6 stations, and to adjust these risks with regard to needs of wheat cultures, for dimensioned asks it in water.

The results are enough famous: on the spatial plan demands quantiliques decades of complement irrigation appear very homogeneous on the studied station whole; on the temporal plan, these demands make feel itself in 90% of cases.

RÉSUMÉ

L'irrigation en céréaliculture, qui est une irrigation d'appoint, revêt un enjeu stratégique, et nécessite une gestion rationnelle de la ressource en eau et des besoins hydriques de la plante, de façon à exploiter pleinement ses performances génétiques. Généralement on se résigne assez facilement à admettre que les prévisions sur les disponibilités et les besoins en eau s'appuient sur des facteurs climatiques ou autres (pédologiques, etc.), nécessairement incertains. En contrepartie, une telle démarche exige qu'on ne laisse rien au hasard, bien au contraire, il s'agit d'anticiper par rapport au rythme saisonnier des pluies, et de prévoir à chaque stade critique de développement du blé pendant lequel il est sensible au manque d'eau, les quantités d'eau indispensables à la croissance régulière de la plante. Les besoins en eau du blé sont aujourd'hui relativement connus et établis par le CRGR (Centre de Recherche en Génie Rural). Notre démarche consiste à analyser les aleas des apports pluviométriques décadaires pour 6 stations, et à ajuster ces aleas par rapport aux besoins, pour dimensionner la demande en eau du blé. Les résultats obtenus sont assez édifiants: sur le plan spatial les demandes quantiliques décadaires d'irrigation de compléments paraissent très homogènes sur l'ensemble des stations étudiées; sur le plan temporel, ces demandes se font sentir dans 90% des cas.

médiates sur les rendements des cultures.

Ainsi, la production céréalière a toujours fluctué de manière spectaculaire, en fonction des précipitations enregistrées dans le Nord du pays (**figure 1**).

Durant cette décennie 1984/85-1993/94, qualifiée sur le plan pluviométrique de "décennie des extrêmes" (Zahar, 1997), la corrélation obtenue est même très significative (**figure 2**).

A l'examen de cette corrélation, il ressort, toutes choses égales par ailleurs, que la pluviométrie dans le Nord, accusant un déficit moyen de 100 mm, se solderait par un déficit de production de 6 millions de quintaux (essentiellement blé dur).

Soit, au cours moyen sur le marché mondial du quintal de blé de 14 US \$ (cours en 1995), un manque à gagner de 84 millions US \$ rapporté au PNB.

Ainsi, l'objet de ce travail (réalisé dans le cadre du programme de recherche, financé par le gouvernement tunisien; GEOSYS (Gestion Économique de l'EAU, Systèmes d'Irrigation et Sociétés) serait une analyse

quantilique des aleas des pluies décadaires en Tunisie du nord (à la fois le "château d'eau" et le "grenier à blé" du pays: 4/5 des eaux de surface, et 4/5 de la récolte céréalière en moyenne).

Cette analyse quantilique serait faite dans l'objectif de dimensionnement des demandes en eau d'appoints des cultures de blé.

Il s'agit finalement de permettre la quantification rationnelle et économique des doses d'irrigation d'appoint.

(*) Dr. Ing., Enseignant-chercheur en Hydrologie. Faculté de La Manouba, département de géographie, La Manouba - Tunisie.

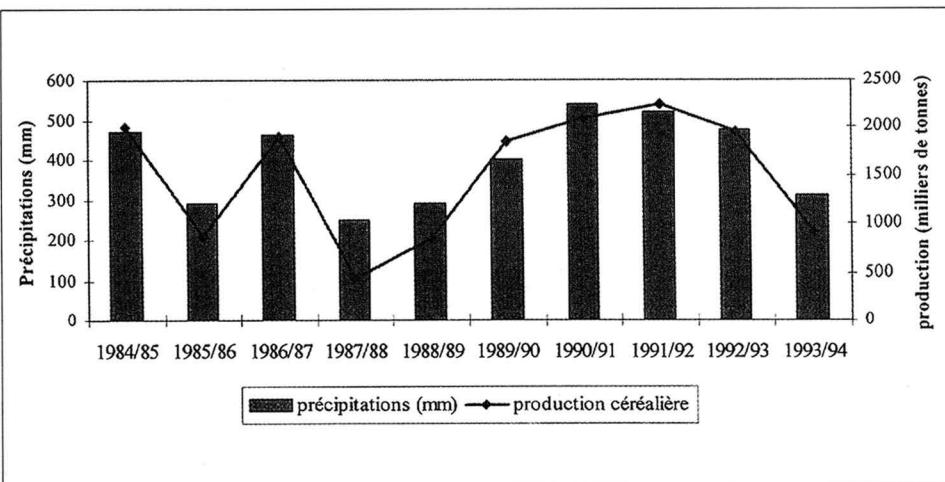


Figure 1 - Fluctuations des productions céréalières en fonction des précipitations annuelles dans le Nord.

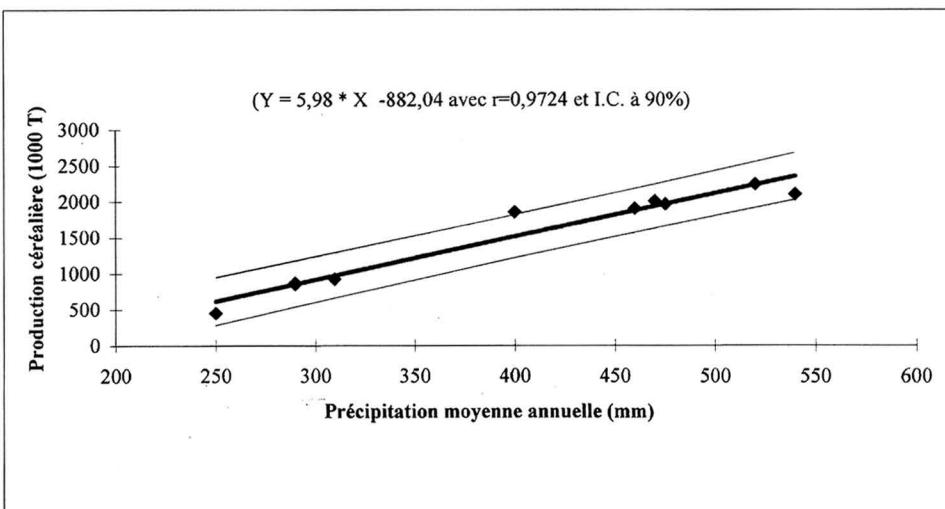


Figure 2 - Production céréalière en fonction des précipitations annuelles dans le Nord.

DONNÉES ET MÉTHODES

Les séries pluviométriques

Le traitement s'est fait sur la base de 6 séries pluviométriques assez bien réparties dans les différentes régions de céréaliculture du Nord du pays.

La période d'échantillonnage est relativement suffisante pour dégager des valeurs quantiliques fiables. Elle est par ailleurs représentative des conditions pluviométriques variables qui caractérisent le Nord du pays, notamment durant ces dernières décennies.

Les besoins en eau du blé

La difficulté principale, dans le cas de ressources hydrauliques limitées comme c'est le cas en Tunisie, c'est de déterminer précisément les besoins en eau des cultures. Or, en règle générale, ces besoins sont encore très insuffisamment connus, et loin d'être maîtrisés, selon le type de culture, le sol et la région.

Généralement, et approximativement, l'estimation des besoins en eau est établie globalement (besoin moyen

annuels, saisonniers ou quelquefois mensuels), selon des normes théoriques préalablement établies, notamment en s'appuyant sur l'ETR (Ennabli, 1995). Par type de culture, ces besoins doivent être spécifiés à partir des besoins en eau journaliers indispensables pour une activité biologique optimale des plantes.

Dans ce cadre le Centre de Recherche du Génie Rural expérimente depuis plus de vingt ans les besoins en eau du blé dans le Nord de la Tunisie, en pratiquant des essais d'irrigation.

Au départ l'objectif était la maximisation des rendements, mais des ajustements ont été réalisés ces dernières années, compte tenu des restrictions et l'économie dans la distribution de l'eau d'irrigation.

L'objectif est désormais une optimisation des rendements par rapport à la meilleure efficience de l'eau (Zairi *et al.*, 1996).

Ainsi, l'*optimum* de production semble se situer autour d'une consommation d'eau annuelle égale à 450 mm, pour un rendement voisin à 45 quintaux/hectares, soit une productivité de grain égale à 1 kg/m³. La variété de blé est la variété Karim: c'est un blé dur à haut rendement.

Les résultats calibrés par ces recherches figurent au **tableau 2**: en s'appuyant sur ces valeurs, il est possible de multiplier les scénarios de satisfaction de la demande en eau par décennie, en année moyenne, mais également en années sèches et pluvieuses, et simuler les demandes nécessaires en irrigation de complément.

Les séries des pluies décennales successives étant indépendantes, il s'agit d'ajuster un modèle statistique aux distributions décennales annuelles, et d'analyser indépendamment les fluctuations quantiliques des apports pluviométriques décennales. Le modèle d'ajustement adapté aux échantillons décennales est la loi log-normale.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Aléas des pluies décennales

Il apparaît évidemment que les pluies décennales sont très variables, et les besoins sont plus rarement satisfaits qu'insatisfaits. Ainsi, la médiane est bien souvent très inférieure à la moyenne (**figure 4**). S'il y a une grande

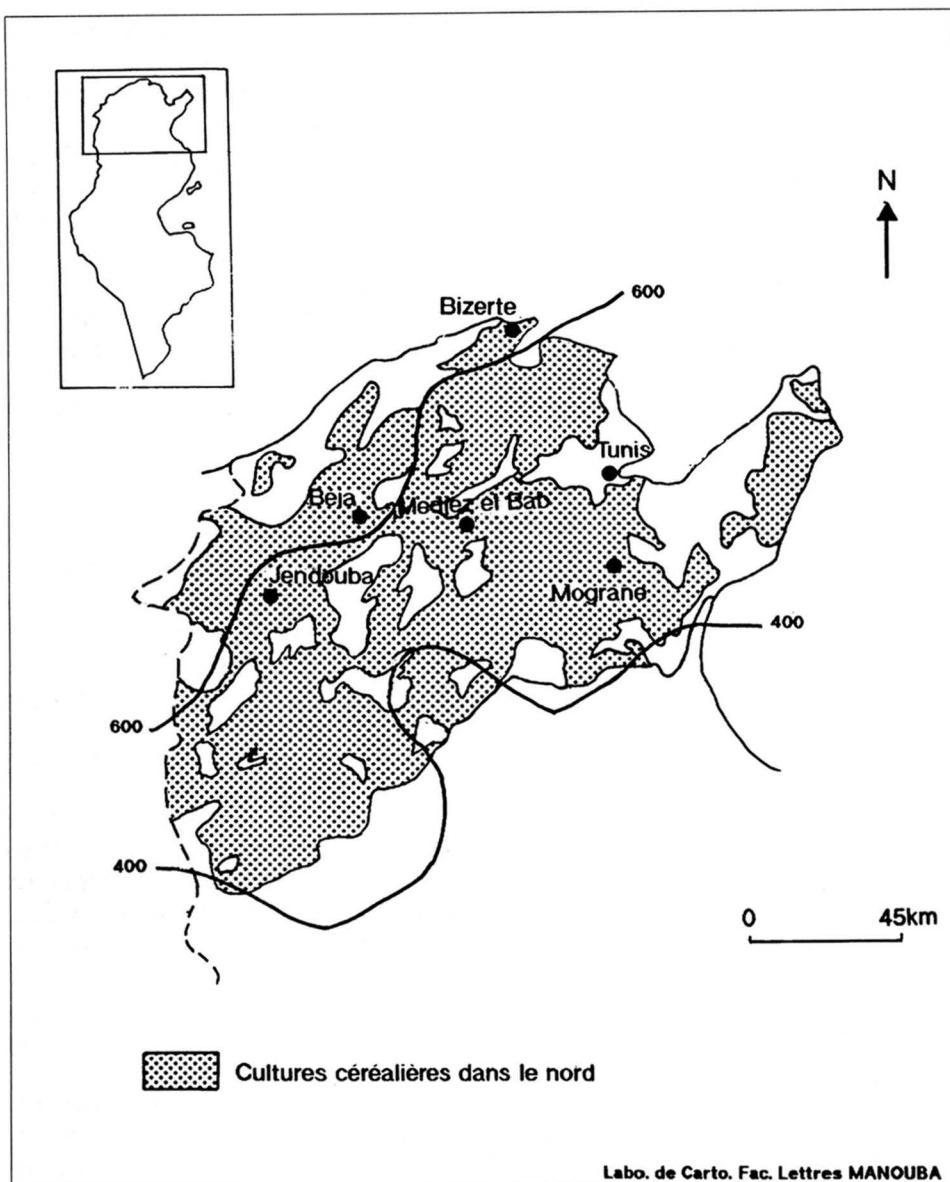


Figure 3 - Situation des stations.

variabilité annuelle, en revanche, l'analyse des aléas des pluies décennales pour les six stations a donné des résultats régionaux assez homogènes (**tableaux 3 et 4**). Il faut noter encore que:

– Quelque soit la station, pour chaque décennie, tous les trois ans, les pluies enregistrées sont très faibles, et chaque décennie tous les deux ans; elles ne couvrent pas les besoins du blé.

Tableau 1 Séries d'échantillonnage.

Station	Période d'échantillonnage	P annuelle (mm)
Bizerte	1961-1990	663
Tunis	1961-1990	495
Mogran	1961-1990	490
Medjez El Bab	1963-1990	422
Béja	1961-1990	635
Jendouba	1961-1990	472

– Les pluies d'automne sont plus dispersées entre les six stations que les pluies d'hivers et de printemps (**tableau 5**). Cette dispersion est d'autant plus forte pour les quantiles supérieurs à la médiane (humides).

– Les pluies décennales pour les quantiles supérieurs à la médiane (humides) sont sensiblement plus fortes à Béja et Bizerte par rapport aux autres stations.

Essai de dimensionnement des demandes

Si on se contente de comparer les besoins en eau avec la pluviométrie moyenne décennale, nous sommes très vite induit en erreur, et on pourrait conclure rapidement que les besoins sont généralement couverts par la pluviométrie.

Les demandes en eau se limiteraient aux mois de mars et avril (**tableau 5**).

En réalité, la pluie moyenne est trompeuse et exagérée par quelques pluies exceptionnelles. Elle cache les écarts possibles d'une année à l'autre (Mougou et Henia, 1996), notamment la fréquence non négligeable d'avoir une décennie complètement sèche (**tableau 6**).

Par conséquent, bien plus que la moyenne (probabilités comprises entre 25% et 35%), la médiane (probabilité: 50%) permet de se rendre compte qu'il est plus fréquent d'avoir une décennie sèche ou presque, que

Tableau 2 Besoins en eau décennales du blé (d'après Zairi, 1994).

Mois	Novembre		Décembre			Janvier			Février			Mars			Avril		
Décade	N2	N3	D1	D2	D3	J1	J2	J3	F1	F2	F3	M1	M2	M3	A1	A2	A3
Besoins en eau (mm/j)	1,2	1,2	1,2	1,2	1,1	1,1	1,1	1,6	1,9	1,9	2,0	2,6	3,0	3,0	4,0	4,0	3,8

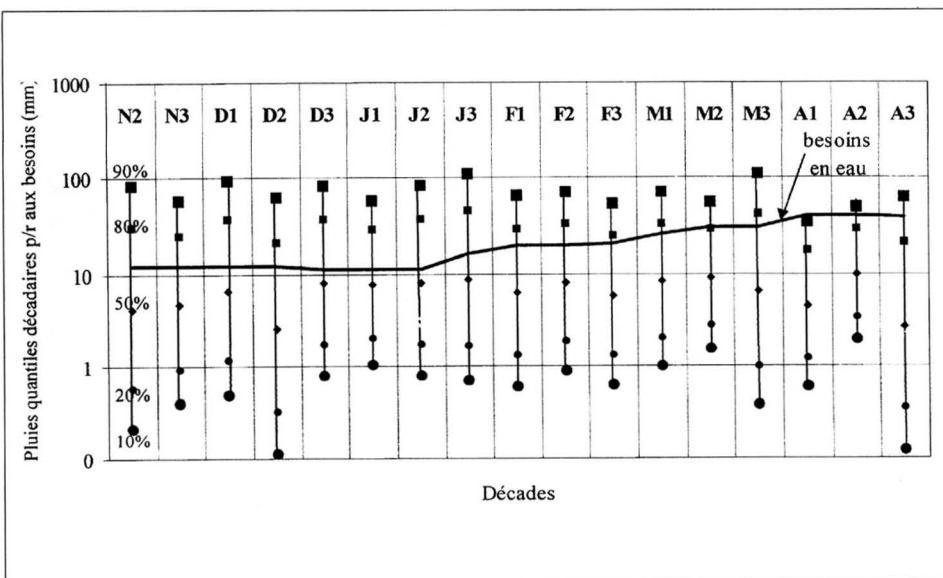


Figure 4 - Pluies quantiliques décadaires par rapport aux besoins (exemple de Mograne).

d'avoir une décennie humide, et le tableau suivant montre qu'à chaque décennie il y a une demande en eau une année sur deux, et cela quelque soit la station, et d'autant plus à la fin de l'hiver et au printemps, lorsque le besoin augmente (**tableau 7**).

Cette demande en eau s'observe, d'ailleurs, même pour les décennies humides (supérieures à la médiane). Pour une décennie humide triennale, il faut une irrigation de complément à partir de mars.

Et pour une décennie humide quinquennale, il faut une

irrigation de complément au mois d'avril (voir annexe: **tableaux 8 à 13**). Ce n'est qu'à partir des décennies humides décennales qu'il est possible de considérer que l'irrigation de complément n'est plus nécessaire. Il apparaît manifestement que la demande en eau, en irrigation de complément, est nécessaire dans près de 90% des cas, et ce n'est qu'en situation exceptionnellement humide (au-delà des décennies décennales humides) que la demande en irrigation d'appoint n'est plus nécessaire.

Intérêts et limites de la démarche

La démarche ici adoptée permet de lever les principaux obstacles habituels, et nous renseigne sur quelques aspects de l'adéquation ressources-besoins en eau, dans une conjoncture de raréfaction des ressources en eau, et d'une demande croissante de l'irrigation.

L'intérêt scientifique d'une telle démarche consiste à:

- Dimensionner la demande en eau quantilique du blé, en s'appuyant sur le facteur essentiel. Ainsi, toute chose égale par ailleurs, le facteur conditionnant le rendement s'est, comme nous l'avons vu, la pluie, et la demande en eau est le facteur sur lequel l'homme est aujourd'hui capable d'agir en pratique (irrigation de complément).

Tableau 3 Moyennes des pluies quantiliques décadaires des 6 séries.

Quantiles		N2	N3	D1	D2	D3	J1	J2	J3	F1	F2	F3	M1	M2	M3	A1	A2	A3
Sèches	1/10	1	2	2	1	2	2	2	1	1	3	1	3	1	1	1	1	
	1/5	2	4	4	3	4	4	4	3	2	5	2	3	4	2	3	1	
	1/3	3	6	6	4	6	6	6	5	4	7	3	4	6	4	2	5	
Humides	médiane	7	11	12	9	12	12	12	11	10	14	7	9	11	9	5	10	5
	1/3	17	21	27	19	25	23	26	25	20	27	17	20	20	20	11	21	11
	1/5	29	32	43	31	40	35	41	42	32	42	29	32	29	34	18	34	18
	1/10	64	57	83	63	75	63	78	85	60	75	61	61	49	71	35	66	39

Tableau 4 Ecart type des pluies quantiliques décadaires des 6 séries.

Quantiles		N2	N3	D1	D2	D3	J1	J2	J3	F1	F2	F3	M1	M2	M3	A1	A2	A3
Sèches	1/10	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1	0
	1/5	1	3	2	2	2	1	1	1	1	2	1	1	1	1	0	1	0
	1/3	2	4	3	2	2	2	2	2	2	3	1	1	1	1	1	1	
Humides	médiane	3	7	6	4	5	4	4	3	5	5	3	1	2	2	1	2	1
	1/3	7	13	12	7	9	8	7	7	9	6	3	4	2	2	4	2	
	1/5	10	18	19	10	14	11	11	11	8	12	9	5	7	4	4	6	4
	1/10	21	30	35	14	28	20	21	24	13	19	19	12	12	18	7	12	14

Tableau 5 Demande moyenne décadaire.

Stations	N2	N3	D1	D2	D3	J1	J2	J3	F1	F2	F3	M1	M2	M3	A1	A2	A3
Bizerte	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	10	9	28	20	28
Tunis	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	8	17	12	31	22	26
Mograne	0	0	0	0	0	0	0	0	1	5	6	14	10	29	23	25	
Medjez	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	3	12	16	14	30	23	31
Beja	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	7	7	8	25	16	23
Jendouba	0	2	0	0	0	0	0	0	2	0	9	11	13	9	28	21	27
	5mm>		15>	>=5mm					25>	>=15mm						>= 25mm	

Tableau 6 Fréquence des décades sèches.

Stations	N2	N3	D1	D2	D3	J1	J2	J3	F1	F2	F3	M1	M2	M3	A1	A2	A3
Bizerte	3%	0%	7%	0%	3%	0%	7%	3%	3%	3%	13%	10%	3%	7%	13%	13%	17%
Tunis	10%	10%	7%	3%	3%	3%	7%	3%	3%	3%	13%	10%	3%	7%	17%	3%	17%
Mograne	29%	17%	10%	10%	7%	3%	7%	7%	3%	7%	20%	10%	3%	13%	27%	7%	20%
Medjez	25%	7%	17%	10%	7%	3%	7%	7%	25%	7%	25%	13%	7%	13%	25%	17%	25%
Beja	10%	7%	13%	10%	7%	3%	3%	13%	3%	3%	20%	17%	7%	13%	13%	3%	17%
Jendouba	13%	7%	3%	10%	0%	3%	7%	0%	10%	3%	13%	13%	7%	3%	7%	3%	20%
	>= 20%						20%>	>=10%						10%>	>=5%		
																5%>	

Tableau 7 Demande médiane décadaire.

Stations	N2	N3	D1	D2	D3	J1	J2	J3	F1	F2	F3	M1	M2	M3	A1	A2	A3
Bizerte	6	0	1	4	1	3	4	9	13	8	15	21	22	25	38	36	36
Tunis	9	8	5	8	4	7	5	12	15	13	17	21	25	26	38	36	36
Mograne	11	10	10	11	8	8	8	13	17	16	18	22	26	28	38	35	37
Medjez	11	8	8	9	6	5	6	13	17	13	18	22	25	27	38	37	36
Beja	8	4	6	7	5	2	2	10	11	9	17	22	23	25	37	33	35
Jendouba	10	9	7	9	6	5	6	11	16	14	18	22	24	25	37	36	36

- L'Aide à la décision. L'exploitation de ses résultats permet notamment de planifier les demandes en eau, annuelles, saisonnières (voire décennales), et de développer derrière des stratégies de gestion spatiale et temporelle des ressources en eau (notamment la gestion des réserves des barrages, et les transferts éventuels entre barrages et entre régions).

- En s'appuyant sur des besoins en eau décennaires constants, tels qu'ils ont été calibrés expérimentalement par le CRGR, il y a certes une simplification de la réalité (facteurs, sols, ETR, température, etc.). Mais d'une part, et selon les auteurs mêmes de ces recherches, ces résultats semblent bien optimisés par l'expérimentation, et d'autre part l'analyse quantilique des pluies décennaires n'a pas présenté d'écart manifeste entre les ré-

gions (dans 90% des cas). Même si les stations de Bizerte et Béja donnent des valeurs décennales sensiblement supérieures aux autres.

RÉPERCUSSIONS ÉCONOMIQUES SUR LA POLITIQUE AGRICOLE DE LA TUNISIE

Aujourd'hui, on estime aux alentours de 80.000 ha les emblavures en matière de céréales irriguées (6% des superficies céréalières). Le Programme National d'Irrigation d'Appoint (PNIA) mis en place depuis 1988, doit permettre d'atteindre 100.000 ha. Sur la base d'un rendement escompté à 45 quintaux/hectare quelque soit les aléas pluviométriques, il faut compter sur une production optimale de 4,5 millions de quintaux. Les besoins du pays (10 millions d'habitants environ)



s'élèvent à 20 millions de quintaux, si on prend une consommation moyenne de 200 kg/hab./an (norme FAO, 216 kg/hab./an). Par conséquent la production céréalière des PPI ne pourrait couvrir plus que le 1/4 des besoins du pays.

En revanche, elle atténue les effets dévastateurs des années de sécheresse, et constitue un complément non négligeable à la production en sec (toujours insuffisante) en année humide. Dès lors on comprend mieux qu'il faille limiter l'impact des sécheresses climatiques avec un triple objectif: garantir la sécurité alimentaire, sécuriser les revenus des agriculteurs, réduire l'incidence sur l'économie du pays, et permettre une économie en devises.

Par ailleurs, et dans une conjoncture de raréfaction des ressources en eau déjà très limitées, les objectifs de la politique agricole de la Tunisie sont une utilisation rationnelle de l'eau, tout en optimisant la rentabilité de l'irrigation et de la production agricole (Khanfir *et al.*, 1998).

Ainsi les projets d'économie d'eau ont bénéficié d'encouragements multiples depuis 1995 (subventions pouvant atteindre 60% pour l'équipement d'irrigation économique, non considération des dettes des agriculteurs, etc.). La stratégie planifiée pour les décennies à venir,

consiste à la mise à niveau du secteur irrigué, ayant pour objectifs la rentabilité de la production et la compétitivité des produits vis-à-vis du marché national et international.

Les composantes de cette stratégie s'appuient notamment sur la recherche scientifique et agronomique, et consistent essentiellement à développer de nouvelles approches pour mieux valoriser l'eau (dimensionnement des demandes en eau, techniques d'économie d'eau, choix des cultures peu exigeantes en eau et compétitives sur le marché, etc.).

De plus cette stratégie doit tenir compte de la sauvegarde des cultures à caractère stratégique (au premier plan, les céréales) afin d'assurer la sécurité alimentaire du pays. Les travaux menés dans le cadre du projet de recherche GEOSYS s'inscrivent dans cette politique, d'autant qu'actuellement la demande agricole réelle en eau est bien en deçà des allocations (inférieure à 50%). Dans le Nord du pays, elle varie considérablement d'une année à l'autre, et passe du simple au double en année sèche (Boutiti, 1999).

Avec l'exploitation raisonnée de l'eau d'irrigation, comme nous le proposons dans cette démarche explicitée, qui tient compte des aléas décennales des pluies et des besoins décennales optimum en eau, on estime que

l'adéquation de la demande en fonction de l'allocation sera bien meilleure, et pourrait au vraisemblablement avoisiner 80%.

CONCLUSION

Dimensionner la demande à partir des pluies moyennes décennales n'a pas beaucoup de sens, et induit facilement en erreur. Il semble en effet que les pluies décennales couvrent les besoins des cultures de blé durant la majeure partie de la campagne céréalière, sauf au printemps. Mais les valeurs quantiles montrent qu'il n'en est rien, et que l'irrigation d'appoint est nécessaire dans 90% des situations pluviométriques décennales!

Bien que les pluviométries moyennes annuelles des séries traitées sont sensiblement différentes (comprises environ entre 400 et 700 mm), l'étude fine des pluies décennales a permis de se rendre compte que les quantiles des besoins par décennie sont assez, voire très voisins. La conséquence pratique évidente de ce résultat c'est que par rapport aux cultures de blé, les consignes à donner en matière d'irrigation d'appoint sont très homogènes. Cela pose au moins un problème de gestion des ressources hydrauliques: celui de devoir irriguer partout où se pratique la céréaliculture irriguée dans le Nord, plusieurs fois durant la campagne céréalière, et souvent en même temps.

Toutefois, il n'est pas dit, bien sûr, que pour une même campagne céréalière les demandes décennales sont égales à toutes les stations. C'est d'ailleurs le contraire, étant donné que les séries décennales successives de toutes les stations, prises deux à deux, ne sont pas corrélées.

Les pluies d'automne sont les plus aléatoires, et il faudra prévoir en cas de retard de ces pluies (une décennie annuelle sur deux) une irrigation d'appoint. Les pluies de printemps sont les plus faibles en moyenne, mais en contrepartie le besoin est le plus fort. Dans ce cas, l'irrigation d'appoint est le plus souvent nécessaire (pour chaque décennie d'avril, il faut un complément d'irrigation quatre années sur cinq).

La demande d'automne est bien plus faible que la demande de printemps; cette irrigation serait donc moins consommatrice en eau, mais certainement indispensable pour garantir la récolte. En effet, la corrélation entre pluies moyennes automnales au nord de la Tunisie et la récolte céréalière annuelle du pays, est d'ailleurs très significative ($r = 0,95$).

Cette corrélation peut s'expliquer par le fait que les superficies emblavées sont en relation avec l'importance des premières pluies d'automne. Le principal enseignement à tirer de cette conclusion c'est que l'irrigation en automne pratiquée certaines années garantirait la récol-



te, et l'irrigation de printemps, pratiquée bien plus fréquemment et avec plus d'eau, assurerait un haut rendement. Pour terminer, il n'est plus tolérable, au vu de ces résultats notamment, de laisser l'agriculteur composer tout seul et empiriquement avec les caprices du temps. Il reste néanmoins qu'en céréaliculture irriguée c'est l'attitude ancestrale, et souvent très difficile à changer, des agriculteurs qu'il s'agit de modifier.

Une céréaliculture moderne doit incontestablement pouvoir se pratiquer au moyen des connaissances sur les aléas des pluies et des doses d'irrigation d'appoint nécessaires.

Faute d'une irrigation robotisée et commandée par ordinateur, la chose la plus simple à faire est de mesurer sur chaque périmètre irrigué la pluviométrie décadaire, et d'afficher, à chaque nouvelle décennie, les doses d'irrigation de complément nécessaires.

Si les besoins d'irrigation sont aujourd'hui considérés comme une contrainte qu'il faut satisfaire, à l'avenir il s'agira d'amener l'usager, en l'occurrence l'agriculteur, à rationaliser sa demande pour éviter le gaspillage.

Enfin, si ces résultats ne sont pas pour le moment complètement opérationnels (doses et matériel d'irrigation, association de fertilisants, méthodes de travail, etc.), ils ont pour le moins l'avantage de poser le problème, et d'en tirer les conclusions qui ont une valeur pour le moins didactique.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Boutiti A. (1999), Économie de l'eau en irrigation. Table ronde sur l'économie de l'eau. Association Santé et Environnement. Actes de la table ronde, pp. 46-51.

Ennabli N. (1995), L'irrigation en Tunisie. Institut National Agronomique de Tunis. 469 p.

Khanfir R., Louati M.H., Alouini A., El Euchi M.L., Marzouk A., Frigui L. (1998), EAU XXI. Stratégie du secteur de l'eau en Tunisie à long terme (2030). Ministère de l'Agriculture. 84 p.

Mougou R., Henia L. (1994), La sécheresse agroclimatique en Tunisie: cas de la culture de blé. Actes du colloque international "Variabilité du climat et stratégies d'adaptation humaines en Tunisie", pp. 231-247.

Zahar Y. (1997), Simulation des aléas probables des ressources en eau de surface de la Tunisie, à partir de la décennie des extrêmes "1984/85 - 1993/94", Publications de l'Association Internationale de Climatologie. Vol. 10, pp. 203-210.

Zairi A., Nasr Z., Ben Mechlia N., Achour H., Oueslati T. (1994), Étude comparative des différentes méthodes de gestion des réserves hydriques du sol en irrigation de complément des céréales. Actes des journées sur les acquis récents de la recherche agronomique, 11 p.

Zairi A., Nasr Z., Ben Mechlia N., Achour H., Oueslati T. (1996), Réponse à l'eau d'une culture de blé sous des conditions hydriques restrictives. Les Annales de l'ENGREF, pp. 77-89.

REMERCIEMENTS

Ce travail est un des nombreux volets du projet de recherche GEOSYS (Gestion Economique de l'EAU, Systèmes d'Irrigation, et Sociétés), financé par le gouvernement tunisien (Programmes Nationaux Mobilisateurs). L'auteur de l'article, en qualité également de chef du projet, remercie le Secrétariat d'Etat de la recherche scientifique et de la technologie pour son appui et sa sollicitude à cette recherche.

ANNEXE DÉCADES SÈCHES

Tableau 8 Demande triennale décadaire.

Stations	N2	N3	D1	D2	D3	J1	J2	J3	F1	F2	F3	M1	M2	M3	A1	A2	A3
Bizerte	6	0	1	4	1	3	4	9	13	8	15	21	22	25	38	36	36
Tunis	9	8	5	8	4	7	5	12	15	13	17	21	25	26	38	36	36
Mograne	11	10	10	11	8	8	8	13	17	16	18	22	26	28	38	35	37
Medjez	11	8	8	9	6	5	6	13	17	13	18	22	25	27	38	37	36
Beja	8	4	6	7	5	2	2	10	11	9	17	22	23	25	37	33	35
Jendouba	10	9	7	9	6	5	6	11	16	14	18	22	24	25	37	36	36

Tableau 9 Demande quinquennale décadaire.

Stations	N2	N3	D1	D2	D3	J1	J2	J3	F1	F2	F3	M1	M2	M3	A1	A2	A3
Bizerte	9	4	5	7	5	6	6	12	15	12	17	23	24	27	39	38	36
Tunis	10	9	7	9	7	9	7	13	16	15	18	22	26	28	39	38	37
Mograne	11	11	11	12	9	9	9	14	18	17	19	24	27	29	39	37	38
Medjez	11	10	10	10	8	7	8	14	18	15	19	24	26	28	39	38	37
Beja	10	7	9	9	7	5	5	13	16	12	18	23	25	27	38	36	36
Jendouba	11	10	9	10	8	7	8	13	17	16	19	24	26	27	38	38	37

Tableau 10 Demande décennale décadaire.

Stations	N2	N3	D1	D2	D3	J1	J2	J3	F1	F2	F3	M1	M2	M3	A1	A2	A3
Bizerte	10	7	8	9	8	8	9	14	17	15	18	24	26	28	39	39	37
Tunis	11	10	9	11	8	10	9	15	18	17	19	24	28	29	39	39	37
Mograne	12	12	12	12	10	10	10	15	18	18	19	25	28	30	39	38	38
Medjez	12	11	11	11	9	8	9	15	19	17	19	25	28	29	39	39	37
Beja	11	9	10	10	9	7	8	14	19	15	19	25	27	29	39	38	37
Jendouba	11	11	10	11	9	9	9	14	18	17	19	25	27	28	39	39	37

*DÉCADES HUMIDES***Tableau 11 Demande triennale décadaire.**

Stations	N2	N3	D1	D2	D3	J1	J2	J3	F1	F2	F3	M1	M2	M3	A1	A2	A3
Bizerte	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	7	8	28	17	27
Tunis	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	5	15	10	31	20
Mograne	0	0	0	2	0	0	0	0	3	0	0	6	6	11	10	30	21
Medjez	2	0	0	0	0	0	0	1	7	0	0	5	10	13	14	30	22
Beja	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	4	3	8	24	12
Jendouba	0	1	0	0	0	0	0	0	2	0	0	9	9	10	8	28	20

Tableau 12 Demande quinquennale décadaire.

Stations	N2	N3	D1	D2	D3	J1	J2	J3	F1	F2	F3	M1	M2	M3	A1	A2	A3
Bizerte	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21	2	21
Tunis	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	27	8
Mograne	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	23	12
Medjez	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	5	3	24	10
Beja	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	0
Jendouba	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	0	21	7

Tableau 13 Demande décennale décadaire.

Stations	N2	N3	D1	D2	D3	J1	J2	J3	F1	F2	F3	M1	M2	M3	A1	A2	A3
Bizerte	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	7
Tunis	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	0	2
Mograne	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0
Medjez	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	16
Beja	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Jendouba	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0