

Effizienz hydraulique et énergétique : les nouveaux critères de performances pour les systèmes d'irrigation du futur

Pour évaluer les performances des systèmes d'irrigation modernes, on a toujours utilisé des critères de productivité ou de rentabilité économique, tout en recherchant aussi la robustesse et la souplesse d'utilisation des équipements. Désormais, avec la tension actuelle sur les ressources, on s'intéresse de plus en plus à l'effizienz hydraulique et énergétique des systèmes d'irrigation, pour mieux connaître l'empreinte « eau » et « énergie » des productions agricoles.

Le développement des surfaces irriguées en France et plus largement en Europe s'est accéléré à partir des années 1950 avec l'apparition des techniques d'irrigation sous pression. En permettant un meilleur contrôle des apports d'eau, ces techniques ont contribué significativement à l'augmentation de la productivité agricole.

Les différents systèmes d'irrigation qui se sont développés l'ont été avec des préoccupations visant d'abord à faciliter la tâche de l'irrigant : il s'agissait surtout de réduire la pénibilité du travail, mais aussi d'apporter plus de souplesse pour la mise en œuvre de l'irrigation (par exemple, avec des réseaux fonctionnant à la demande, ou bien avec l'automatisation des équipements...).

Les préoccupations économiques étaient également très présentes : en irrigation, les investissements sont importants, même si certaines innovations techniques ont permis de les limiter au mieux. D'un autre côté, les durées d'amortissements techniques sont souvent longues, du moins dans le cas de l'aspersion. Mais le fonctionnement de l'irrigation pèse également lourd dans le budget des irrigants : autrefois, c'était surtout à cause de la main d'œuvre, aujourd'hui c'est aussi sous forme de consommation énergétique.

Enfin, sur le plan technique, la robustesse et la fiabilité des systèmes est une exigence forte des agriculteurs, car l'apport d'eau aux cultures est très peu différé dans le temps.

Depuis quelques années, avec des contraintes ou des restrictions de plus en plus fortes sur les ressources en eau et avec l'augmentation du coût de l'énergie, l'effizienz hydraulique et l'effizienz énergétique sont en train de devenir des préoccupations majeures.

Nous examinerons ces deux critères en nous limitant au cas de l'irrigation sous pression.

L'effizienz de l'eau

Les quantités d'eau nécessaires aux cultures varient selon les espèces végétales et les conditions climatiques, mais elles ne peuvent pas être réduites sans entraîner aussi une réduction de la production agricole : afin de valoriser au mieux les investissements, on est souvent conduit à effectuer des apports d'eau proches de l'évapotranspiration maximale (ETM) pour obtenir une production élevée.

Outre l'amélioration de l'effizienz de l'eau des plantes par le progrès génétique dont on ne parlera pas ici, des marges de progrès sont possibles en recherchant une meilleure maîtrise des pertes d'eau à tous les niveaux. Ces pertes sont liées pour une bonne part aux techniques d'irrigation utilisées, et l'indicateur qui nous permet de les apprécier est l'effizienz de l'eau d'irrigation (volume d'eau d'irrigation disponible pour la plante par rapport au volume d'eau prélevé dans la ressource).

On distingue généralement trois niveaux quand on parle de l'effizienz de l'eau d'irrigation : l'effizienz du transport, l'effizienz de la distribution et l'effizienz de l'application

L'effizienz du transport

C'est le volume d'eau disponible au niveau de la parcelle par rapport au volume d'eau prélevé dans la ressource.

Ce terme peut être très important pour les réseaux collectifs : on en a une première approche par le rendement primaire, qui est le rapport entre la somme des volumes relevés sur les compteurs individuels et le volume mesuré à la station de pompage. Ce rapport intègre non seulement les pertes réelles, mais aussi la qualité du suivi et de la gestion du réseau. On peut évaluer les pertes réelles par des tests spécifiques (test réseau fermé). Ces pertes réelles doivent être examinées en tenant compte de la longueur du réseau et de sa durée de fonctionnement.



1 Enrouleur de canon mobile d'irrigation.

L'efficacité de la distribution

C'est le volume d'eau fourni par le matériel d'irrigation (canon, asperseur, goutteur) par rapport au volume d'eau disponible à l'entrée de la parcelle.

Les fuites dans le réseau de distribution à la parcelle sont responsables d'une plus ou moins bonne efficacité de la distribution. Ces fuites sont souvent accidentelles, et dépendent de l'état de vétusté et de l'entretien du matériel, mais elles peuvent concerner de gros volumes si le délai d'intervention avant réparation est long : par exemple, en couverture intégrale où le linéaire de conduites est important, les fuites de faible débit peuvent être nombreuses et difficiles à déceler.

L'efficacité de l'application

C'est le volume d'eau disponible pour la plante par rapport au volume d'eau fourni par le matériel d'irrigation. C'est le terme le plus délicat à estimer, mais c'est également celui sur lequel il y a le plus de marge de progrès possible. Pour l'analyser en détail, il faut distinguer deux aspects :

- une partie de l'eau est perdue dans l'atmosphère, avant d'atteindre la culture ;
- une autre partie peut être perdue par drainage ou ruissellement.

L'eau perdue dans l'atmosphère

Il s'agit des pertes par évaporation directe, ou par dérive en conditions ventées. Elles dépendent évidemment en premier lieu des conditions climatiques (vent, rayonnement, température, hygrométrie). Mais comme la taille des gouttes et leur trajectoire conditionnent fortement la sensibilité à ce type de pertes, elles dépendent

aussi du matériel d'irrigation. Des études en conditions contrôlées, complétées par des suivis à la parcelle en conditions réelles, ont permis de fournir des ordres de grandeur de ces pertes, selon les types de matériel et les conditions d'utilisation (projet CASDAR-Eau en Midi-Pyrénées, 2007-2010) :

- en couverture intégrale, l'efficacité de l'application peut descendre jusqu'à 70-75 % dans les cas les plus défavorables, c'est-à-dire en conditions ventées et avec des pressions élevées à la buse. Par contre on peut avoir de très bonnes efficacités (95 %) par temps calme et avec des pressions raisonnables ;
- les canons enrouleurs (photo 1) produisent d'assez grosses gouttes, ce qui permet de bien contrôler les pertes par évaporation et dérive, sauf par vent fort qui de surcroît détériore fortement la qualité de la répartition. On observe donc rarement des efficacités inférieures à 85-90 % ;
- les pivots sont équipés d'une gamme d'asperseurs de types différents tout au long de la rampe. Les buses les plus proches du centre peuvent être très sensibles à l'évaporation et à la dérive, mais comme elles concernent une faible fraction de la surface arrosée, ces appareils conservent en général des performances globales correctes en toutes conditions ;
- enfin rappelons que l'irrigation goutte à goutte, de par sa nature, s'affranchit totalement des pertes d'eau dans l'atmosphère.

L'eau perdue par ruissellement ou drainage :

Ce type de pertes correspond à des apports d'eau excédentaires au niveau du sol. On peut limiter ces excédents avec une bonne conduite de l'irrigation. Mais il faut

► aussi tenir compte de l'hétérogénéité spatiale de l'apport d'eau, qui est souvent responsable d'excédents localisés. En pratique, la conduite de l'irrigation (définition des doses et des fréquences, méthodes de pilotage) est un sujet assez complexe à lui seul, et l'on convient le plus souvent de parler d'efficience de l'application en se limitant à l'étude des pertes dans l'atmosphère.

De quoi dépend l'efficience de l'application ?

Il est difficile de prévoir le niveau de pertes auquel on peut s'attendre dans une situation donnée, vu la complexité des facteurs qui interagissent. Mais il est utile de récapituler comment ces différents facteurs peuvent jouer pour chaque type de matériel : en effet, c'est principalement par les techniques d'irrigation que l'on peut éventuellement améliorer les performances. Le tableau ❶ résume l'appréciation qualitative que l'on peut faire concernant la sensibilité aux pertes par évaporation et dérive.

La couverture intégrale est plus facilement sujette à ce type de pertes, ce qui ne veut pas dire qu'elle ait toujours une mauvaise efficience de l'application. De la même façon, en irrigation localisée, ces pertes sont nulles, ce qui ne veut pas dire que l'efficience y soit toujours meilleure.

Les performances énergétiques

Pour irriguer de nouvelles surfaces agricoles, il a fallu souvent aller chercher l'eau plus loin, et quelquefois plus profond : en premier lieu, c'est donc bien le pompage et le transport de l'eau qui sont responsables des fortes consommations d'énergie pour l'irrigation. Mais le développement de l'irrigation s'est fait avec l'apparition de nouvelles techniques souvent gourmandes en énergie.

Les performances énergétiques des systèmes d'irrigation doivent donc être analysées en distinguant deux aspects :

- l'énergie nécessaire pour mobiliser la ressource en eau, et l'amener au niveau de la parcelle (la station de pompage et le réseau d'amenée) ;
- l'énergie nécessaire pour appliquer l'eau et la répartir sur l'ensemble de la culture (le matériel d'irrigation à la parcelle).

L'énergie pour la mobilisation de la ressource

Pour amener jusqu'à la parcelle cultivée les volumes dont la plante a besoin, la topographie impose des consommations d'énergie :

- la différence de niveau entre la ressource et la parcelle exige que l'on fournisse à l'eau de l'énergie potentielle gravitationnelle : la quantité nécessaire correspond au produit du volume d'eau par la dénivelée convertie en unités de pression :

$$E = V \times \rho \times g \times h$$

avec E : quantité d'énergie nécessaire en Joules

V : volume d'eau en m³

ρ : masse volumique de l'eau en kg/m³

g : accélération de la pesanteur en m/s²

h : dénivelée en m

Ainsi, par exemple un pompage de 80 m³/h à 5 m de profondeur demandera 3,9 mégajoules pour amener l'eau au niveau voulu ;

- la distance à parcourir depuis la ressource en eau jusqu'à la parcelle occasionne des pertes de charge. Bien entendu, c'est en unités de pression que les hydrauliciens expriment ces pertes, mais il est intéressant de donner des ordres de grandeurs en unités d'énergie : par exemple, une conduite en acier de 120 mm de diamètre qui transporte un débit de 80 m³/h, occasionne une perte d'énergie de 340 joules par mètre pour chaque m³ d'eau transporté. Ce sera une quantité négligeable si on irrigue à partir d'un forage à proximité de la parcelle, mais qui pourra atteindre des valeurs importantes dans le cadre de réseaux collectifs, où les linéaires de conduite se chiffrent en kilomètres.

L'énergie pour le matériel à la parcelle

Le rôle de l'équipement d'irrigation est de répartir l'eau uniformément sur la parcelle. Pour chaque technique employée, on peut distinguer deux phases : une première qui conduit l'eau sous pression, et une deuxième où elle se diffuse dans l'air et dans le sol. La première phase est coûteuse en matériel, et peu en énergie ; la deuxième phase, au contraire, exige que l'eau ait conservé suffisamment d'énergie cinétique pour pouvoir aller loin. La couverture intégrale, et plus encore l'irrigation localisée, ont développé la première phase, et sont donc plus coûteuses en matériel, et moins en énergie. Le canon-enrouleur, à l'inverse, est beaucoup moins cher à l'hectare, mais exige des pressions plus élevées. Enfin, le système d'avancement des appareils, comme dans le cas des enrouleurs, permet de réduire le matériel, mais consomme de l'énergie.

Ces considérations suggèrent que pour une appréciation fine des performances énergétiques, il faut faire un bilan d'énergie sur l'ensemble du système.

Exemples de bilan d'énergie sur des équipements d'irrigation

Au cours de la campagne 2009, des bilans énergétiques ont été réalisés sur différents systèmes d'irrigation par aspersion et dans différentes régions : on a utilisé pour cela une méthode simple basée sur des mesures de débits, de pression et de consommations énergétiques dans des exploitations agricoles. Ces bilans sont présentés dans le tableau ❷. Ce travail a été fait sans se préoccuper de la représentativité des sites étudiés, mais les résultats obtenus permettent d'avoir des ordres de grandeurs, et de se rendre compte de la diversité des situations.

❶ Les facteurs qui conditionnent l'efficience de l'application pour différents types de matériels.

| | Couverture intégrale | Enrouleurs | Pivots | Micro-irrigation |
|---------------------|----------------------|------------|--------------------|------------------|
| Taille des gouttes | Oui | Peu | Au centre du pivot | Sans objet |
| Vitesse du vent | Oui | Oui | Assez peu | Non |
| Pression | Beaucoup | Un peu | Oui | Non |
| Diamètre de la buse | Oui | Très peu | Au centre du pivot | Non |

Deux types de matériel (enrouleur et pivot) ont été étudiés dans trois régions, avec une source d'énergie électrique ou thermique, chaque fois sur des installations individuelles.

Les consommations d'électricité ou de gasoil ont été mesurées sur une durée de quelques heures, tout en contrôlant les paramètres hydrauliques (débit, et pression en différents points), de façon à avoir une analyse poste par poste des consommations d'énergie.

La puissance consommée est exprimée en kW, quelle que soit la source d'énergie : il s'agit de la puissance appelée au niveau du groupe motopompe, qu'il s'agisse d'électricité ou de gasoil.

Cette puissance consommée est en partie dissipée au niveau de la station de pompage (S.P.), une autre partie sous forme de pertes de charge dans le réseau de distribution (Rés.) et le reste au niveau du matériel à la parcelle (Mat.).

L'indicateur sur lequel on raisonne ici est l'efficience énergétique, qui est le rapport entre l'énergie consommée et le volume d'eau appliqué, en kWh/m³.

On parle d'efficience de « l'énergie finale » lorsqu'on s'intéresse à l'énergie disponible en fin de chaîne de distribution, c'est-à-dire ici en amont de la station de pompage : c'est celle qui est facturée à l'irrigant et qui est la plus significative pour lui. Mais si on veut raisonner plus globalement et comparer différentes stratégies d'utilisation de l'énergie, il faut considérer « l'énergie primaire » consommée, qui inclue non seulement l'énergie finale, mais aussi l'ensemble des pertes et des consommations des producteurs et transformateurs sur toute la chaîne de production d'énergie : c'est ainsi que dans les conditions françaises, on sait qu'un kWh électrique final correspond

à 3,22 kWh d'énergie primaire, alors qu'un kWh sous forme de gasoil ne vaut que 1,30 kWh d'énergie primaire (source: Ademe).

Ces résultats permettent quelques observations :

- les déperditions d'énergie au niveau de la station de pompage sont nettement plus importantes pour les installations thermiques, ce à quoi on s'attendait ; mais ceci est dû à des rendements énergétiques particulièrement faibles pour les groupes motopompes (15 % à 20 %) ;
- même pour les installations électriques, ces déperditions sont élevées, avec des rendements des groupes motopompes compris entre 50 % et 60 % ;
- à source d'énergie équivalente, les installations les plus efficaces avec enrouleur consomment plus que les installations les plus efficaces avec pivot (+ 50 % sur ces exemples), mais certaines installations avec pivot peuvent consommer bien plus que la moyenne des installations avec enrouleur ;
- les déperditions sous forme de pertes de charge dans la distribution sont très variables d'une situation à l'autre, mais ceci reflète la diversité des situations topographiques ; il s'agit en général de pertes difficilement réductibles.

On voit également l'intérêt de disposer d'indicateurs, qui permettent de situer chaque installation par rapport à d'autres. Par ailleurs, la décomposition par poste permet de repérer les points faibles sur lesquels on peut améliorer les performances.

Enfin, ces considérations ne doivent pas faire oublier qu'en irrigation, le coût de l'investissement reste un critère important : à titre indicatif, il faut trois mille à quatre mille euros par hectare pour une installation de couverture intégrale, contre mille à deux mille euros par hectare

2 Performances énergétiques de différentes installations d'irrigation

| Caractéristiques des systèmes étudiés | | | | Mesures hydrauliques et de puissance | | | | Énergie consommée | | | Efficience énergétique | |
|---------------------------------------|-----------------|----------|------------------|--------------------------------------|----------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------|--------|-----------|---|--|
| N° | Type d'appareil | Région | Source d'énergie | Débit m ³ /h | Pression pompe (bar) | Pression parcelle (bar) | Puissance consommée (kW) | Station de pompage | Réseau | Matériel. | Efficience énergie électrique et thermique kWh/m ³ | Efficience énergie primaire kWh/m ³ |
| 1 | Enroul. | Ariège | Électr. | 33,9 | 10,0 | 5,6 | 16,57 | 41 % | 2 % | 57 % | 0,49 | 1,57 |
| 2 | Enroul. | Ariège | Électr. | 37,3 | 10,0 | 5,9 | 18,22 | 41 % | 7 % | 52 % | 0,49 | 1,57 |
| 3 | Enroul. | Ariège | Électr. | 39,8 | 10,0 | 5,0 | 21,68 | 45 % | 14 % | 41 % | 0,54 | 1,75 |
| 4 | Enroul. | Ariège | Électr. | 36,9 | 9,0 | 4,5 | 18,90 | 48 % | 10 % | 42 % | 0,51 | 1,65 |
| 5 | Enroul. | Ain | Électr. | 43,6 | 8,5 | 4,1 | 19,75 | 46 % | 28 % | 26 % | 0,45 | 1,46 |
| 6 | Enroul. | Ain | Électr. | 40,1 | 8,5 | 3,6 | 18,18 | 46 % | 32 % | 22 % | 0,45 | 1,46 |
| 7 | Enroul. | Ain | Therm. | 62,1 | 8,8 | 4,0 | 80,13 | 80 % | 2 % | 18 % | 1,29 | 1,67 |
| 8 | Enroul. | Ain | Therm. | 46,0 | 10,0 | 4,0 | 65,39 | 80 % | 3 % | 18 % | 1,42 | 1,84 |
| 9 | Enroul. | Bas-Rhin | Therm. | 72,9 | 9,0 | 4,8 | 125,52 | 85 % | 0 % | 15 % | 1,72 | 2,23 |
| 10 | Enroul. | Bas-Rhin | Therm. | 87,2 | 9,0 | 6,0 | 132,37 | 83 % | 1 % | 16 % | 1,52 | 1,97 |
| 11 | Pivot | Ariège | Électr. | 91,3 | 4,8 | 4,0 | 26,99 | 48 % | 14 % | 38 % | 0,30 | 0,95 |
| 12 | Pivot | Ariège | Électr. | 118,5 | 8,0 | 4,1 | 49,33 | 44 % | 29 % | 27 % | 0,42 | 1,34 |
| 13 | Pivot | Ain | Électr. | 45,0 | 12,5 | 6,0 | 29,30 | 45 % | 28 % | 27 % | 0,65 | 2,10 |
| 14 | Pivot | Bas-Rhin | Therm. | 111,0 | 4,0 | 4,0 | 77,88 | 83 % | 1 % | 16 % | 0,70 | 0,91 |

Partenaires :

Ariège : SPSMS (Syndicat des producteurs de semences maïs et sorgho) de l'Ariège et SIAHBVA (Syndicat intercommunal d'aménagement hydraulique de la Basse Vallée de l'Ariège).

Ain : ASIA de l'Ain (Association syndicale d'irrigation de l'Ain).

Bas-Rhin : Chambre d'agriculture de l'Ain.

► pour un enrouleur ; pour un pivot, où le facteur d'échelle joue très fortement, le coût à l'hectare se situe entre mille euros et deux mille cinq cents euros.

Enfin, il est clair que le choix d'un équipement d'irrigation résulte d'un compromis entre plusieurs critères parfois difficilement compatibles, et on sent bien l'intérêt d'étudier les performances énergétiques non pas isolément, mais dans le cadre d'approches globales telles que les analyses de cycle de vie (ACV).

En conclusion

Dans le contexte actuel, la pratique de l'irrigation est incontournable pour beaucoup d'exploitations agricoles. La nécessité d'intensifier la production et les progrès techniques de ces dernières décennies ont permis son développement, mais son avenir doit tenir compte des inquiétudes qui pèsent sur les ressources qu'elle mobilise : l'eau et l'énergie. Pour l'agriculteur, c'est un coût et des contraintes supplémentaires qui se mettent en place ; pour l'environnement, c'est la perspective d'une raréfaction des ressources à long terme.

Pour mieux maîtriser les performances des systèmes d'irrigation, il y a deux types d'actions à poursuivre. La première est de promouvoir des diagnostics sur les installations d'irrigation, afin d'expliquer et de corriger les situations où l'on constate de mauvaises performances hydrauliques ou énergétiques. La deuxième consiste à poursuivre l'acquisition de références, afin de permettre

aux irrigants de mieux se situer en matière de performances de leurs systèmes, mais aussi pour sensibiliser l'ensemble des acteurs à l'empreinte « eau » ou l'empreinte « énergie » des productions agricoles. C'est dans cet esprit que s'est mis en place le volet irrigation du projet Casdar Eden (2012-2014) avec comme partenaires techniques Irstea, Arvalis, la Chambre d'agriculture de Haute-Garonne (CA31), le Compagnie d'aménagement des coteaux de Gascogne (CACG) et la Chambre d'agriculture du Lot-et-Garonne (CA47) et la participation financière du ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt (Direction générale de l'enseignement et de la recherche, Mission Développement agricole et rural) et de l'Agence de l'eau Adour-Garonne. ■

Les auteurs

Jacques GRANIER

Irstea, centre de Montpellier, UMR G-EAU
Gestion de l'eau, acteurs et usages
361 rue J.F. Breton, BP 5095
34196 Montpellier Cedex 5
✉ jacques.granier@irstea.fr

Jean-Marc DEUMIER

ARVALIS-Institut du végétal
6 chemin de la côte vieille, 31450 Baziège
✉ jm.deumier@arvalisinstitutduvegetal.fr

EN SAVOIR PLUS...

- 📖 **CasDAR Eau Midi-Pyrénées**, 2011, *Connaissance adaptation et amélioration de la gestion quantitative de l'eau avec des collectifs d'irrigants de Midi-Pyrénées par le développement et l'utilisation de méthodes et d'outils adaptés*, Principaux résultats du projet CasDAR Eau Midi-Pyrénées (2007-2008), 8 p.
- 📖 **DEUMIER, J.-M., LACROIX, B., MARSAC, S., GEORGES, J., BAQUE, T., FOURCADE, M., LONGUEVAL, C., WEBER, J.-J., GRANIER, J., CHAMPOLIVIER, L., BERGEZ, J.-E.**, 2012, Connaissance, adaptation et amélioration de la gestion quantitative de l'eau avec des collectifs d'irrigants de Midi-Pyrénées, *Innovations Agronomiques*, n° 25, p. 165-178.
- 📖 **DEUMIER, J.-M., JACQUIN, C., BERRODIER, M., LACROIX, B., BOUTHIER, A.**, 2008, La mise en œuvre de pratiques innovantes en vue de mieux valoriser la ressource en eau chez les agriculteurs, *Innovations Agronomiques*, n° 2, p. 83-92.
- 📖 **HEREDIA, M., BONNET, J.-F., GOOSSENS, X.**, 2008, Indicateurs énergétiques pour les exploitations agricoles : apports du diagnostic énergétique, cas de l'irrigation, in : *Symposium ECOTECHS 2008*, Montoldre, 11 p.
- 📖 **HUET, L., GRANIER, J.**, 2010, *Caractérisation du couple eau-énergie de divers systèmes d'irrigation en France*, 43 p.
- 📖 **MOLLE, B., TOMAS, S., HENDAWI, M., GRANIER, J.**, 2011, Evaporation and wind drift losses during sprinkler irrigation influenced by droplet size distribution, *Irrigation and Drainage*, n° 61, p. 240-250.
- 📖 **WEBER, J.-J., GRANIER, J.**, 2012, Optimiser l'efficience de l'eau du transport à l'application, *Perspectives agricoles*, n° 387.



Le choix d'un équipement d'irrigation résulte d'un compromis entre plusieurs critères parfois difficilement compatibles.