

## Efficiency de l'irrigation et économie d'eau : effet d'échelle et effet rebond

**Améliorer l'efficacité de l'eau d'irrigation dans les exploitations agricoles présente de nombreux avantages tant sur les plans économiques qu'environnementaux. Cependant, comme le démontre l'auteur de cet article, cela peut induire des effets négatifs, dont notamment des « effets rebonds » bien connus dans le domaine des économies d'énergie, qui peuvent induire en erreur les politiques visant à accroître la disponibilité de l'eau à l'échelle des bassins versants.**

### L'efficacité de l'irrigation est associée à une échelle d'analyse spécifique

La préservation de l'eau d'irrigation peut être abordée à différentes échelles et avec des objectifs différents. L'agriculteur peut avoir un approvisionnement en eau limité, chercher à réduire ses coûts énergétiques ou encore être confronté à des capacités de drainage limitées. L'efficacité de l'irrigation à l'échelle de l'exploitation peut être améliorée par diverses solutions techniques pour réduire la consommation d'eau. L'irrigation goutte-à-goutte ou l'irrigation de précision à débit variable en sont des exemples. Cependant, les performances du système sont affectées par le degré de réutilisation des flux de retour, qui dépend de l'agencement hydraulique du système et des performances des unités élémentaires d'irrigation (Mateos, 2008). Un accroissement des performances d'irrigation des unités aura plus d'effet sur l'efficacité du système si les unités sont disposées en parallèle que si elles sont en série (figure 1). Dans un système en série, il y a une seule source d'eau en tête. Cette source alimente l'unité amont qui, à son tour, alimente l'unité aval suivante, et ainsi de suite. L'efficacité de l'irrigation du système augmente rapidement à mesure que le nombre d'unités d'irrigation augmente (la taille des unités doit diminuer puisque chaque unité consomme une partie de son approvisionnement en eau sous forme d'évapotranspiration) (figure 1). Ainsi, une augmentation de l'efficacité de l'unité a peu d'effet sur l'efficacité du système si le nombre d'unités en série est supérieur à trois. Au contraire, dans un système en parallèle, où toutes les unités reçoivent l'eau directement d'une source d'eau commune (par exemple, une rivière ou un canal d'irrigation),

l'excès d'eau d'irrigation reçue par une unité d'irrigation s'écoule hors du système. Dans ce cas, l'efficacité de l'irrigation du système est égale à celle des unités individuelles et une meilleure efficacité au niveau de l'unité d'irrigation aurait un effet équivalent sur l'efficacité du système (figure 2). La situation la plus courante, cependant, est une disposition intermédiaire (mixte), où les flux de retour des unités d'irrigation peuvent être utilisés de différentes manières. En fonction de la circulation de l'eau et du degré de réutilisation, l'efficacité de l'irrigation du système augmentera avec le nombre d'unités à un rythme ou à un autre (figure 1). En résumé, les solutions techniques de conservation de l'eau au niveau des exploitations ne se traduisent pas nécessairement par des économies d'eau à l'échelle du bassin versant (Mateos, 2008). Mateos *et al.* (2000) et Vivas *et al.* (2016) ont donné des exemples de cas réels où l'efficacité globale de l'irrigation était nettement supérieure à l'efficacité des unités d'irrigation individuelles. Dans le premier cas, il a été démontré qu'une efficacité d'irrigation à l'échelle de l'exploitation comprise entre 60 et 70 % peut conduire à une efficacité globale supérieure à 90 % avec un taux de réutilisation des eaux de drainage optimal, comme dans le cas du périmètre irrigué de Tululake dans le nord de la Californie. Vivas *et al.* (2016) ont démontré que les systèmes d'irrigation de montagne développés à l'époque médiévale dans le sud de l'Espagne intégraient déjà une telle notion de gestion intégrée de l'eau. Le corollaire est que les politiques favorisant les performances d'irrigation à l'échelle de l'exploitation peuvent ne pas aboutir à l'augmentation attendue de la disponibilité de l'eau à l'échelle du bassin.

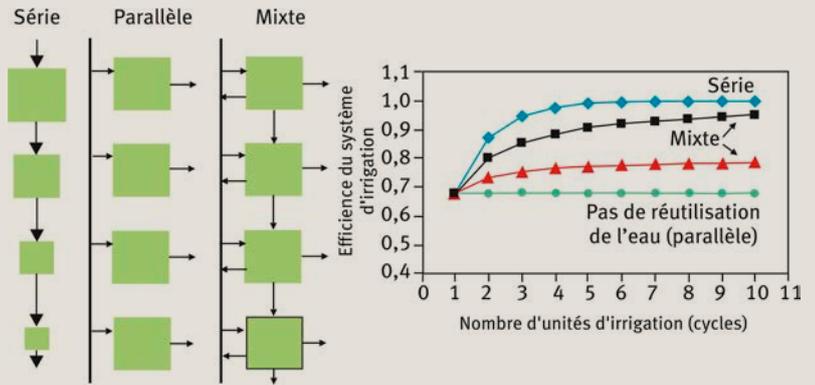
**Les effets rebond résultant  
d'une meilleure efficacité d'irrigation**

La figure 2 montre la relation entre le coefficient de déficit (défini comme la proportion de la zone racinaire du sol qui n'est pas mouillée pendant l'irrigation), l'efficacité d'application et l'uniformité de la distribution (UD) ainsi que la trajectoire d'un processus de modernisation de l'irrigation (UD = 70 % à UD = 95 %) découlant de cette relation. L'introduction de l'irrigation sous pression dans les exploitations (c'est-à-dire des systèmes localisés ou par aspersion) a amélioré l'uniformité de distribution et donc permis une plus grande efficacité d'application avec moins de déficit. Les systèmes modernes, qui peuvent appliquer l'eau avec une uniformité de distribution supérieure à 90 %, ont un potentiel d'efficacité d'application approchant 100 % tout en irrigant toute la zone des racines (figure 2).

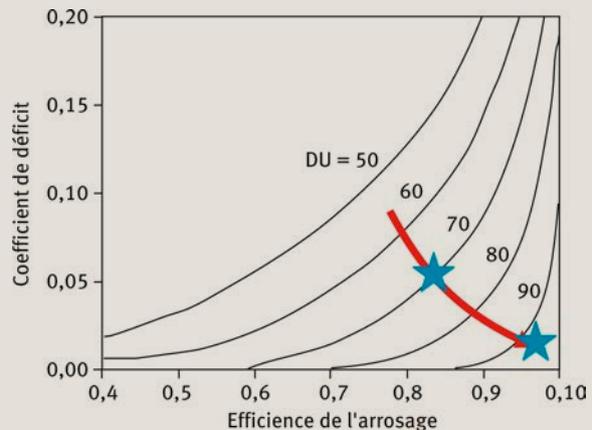
Cependant, l'introduction de systèmes d'irrigation qui dispensent l'eau de manière plus uniforme peut en fait augmenter l'évapotranspiration et donc l'épuisement de la ressource en eau des bassins versants. La figure 3 présente la réponse du rendement à l'irrigation et à l'évapotranspiration dans deux conditions, représentant la situation avant et après la modernisation (c'est-à-dire l'introduction de systèmes d'irrigation sous pression qui ont augmenté l'uniformité de la distribution, UD, de 70 % à 95 %). La réponse du rendement à l'évapotranspiration est généralement une fonction linéaire. Cependant, la réponse à l'irrigation est une courbe, avec une courbure qui augmente à mesure que l'uniformité de la distribution diminue. Pour un rendement donné, la distance horizontale entre la droite (la réponse à l'évapotranspiration) et la courbe représente les pertes en eau. Celles-ci sont nettement plus importantes pour la courbe UD = 70 % que pour la courbe UD = 95 % (figure 3), ce qui est le résultat attendu de la modernisation des systèmes d'irrigation. Cependant, la figure 2 indique que le coefficient de déficit avant modernisation était considérablement supérieur à zéro, ce qui signifie que l'évapotranspiration des cultures dans ces conditions était légèrement limitée (figure 3). Par conséquent, si la modernisation a entraîné une diminution de l'utilisation de l'eau, elle a également engendré une augmentation de l'évapotranspiration, la principale utilisation de l'eau dans les systèmes agricoles irrigués. Il s'agit là de l'une des facettes de ce que l'on appelle « l'effet rebond » (Berbel et Mateos, 2014).

De plus, si le foncier n'est pas un facteur limitant, une amélioration de l'efficacité de l'irrigation peut provoquer une expansion de la surface irriguée en utilisant les « économies d'eau ». Ce serait la réponse des agriculteurs qui cherchent à maximiser leur profit. La figure 4 présente la réponse en matière de revenus et de coûts de l'eau appliquée et indique le bénéfice maximal dans des conditions de limitation de l'eau du foncier (English, 1990). Il est à noter que le bénéfice maximal sous des conditions limitantes du foncier est plus important que sous des conditions limitantes en eau et qu'il est obtenu avec plus d'eau appliquée. Par conséquent, si l'agriculteur possède des terres arides qui ne peuvent pas être irriguées en raison de la limitation des ressources en eau, une amélioration de l'efficacité de l'irrigation pourrait

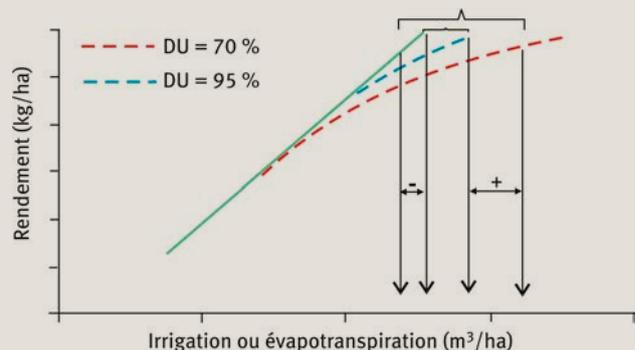
1 Disposition idéale des unités d'irrigation (carrés verts) dans un système d'irrigation (projet, bassin) : en série, en parallèle et mixte. Efficacité du système d'irrigation en fonction du nombre de cycles (ou unités d'irrigation) et de la disposition des unités d'irrigation : en série (losanges bleus), en parallèle (cercles verts), et deux exemples de systèmes mixtes avec différents types et degrés de réutilisation (carrés noirs et triangles rouges). Adapté de Mateos (2008).



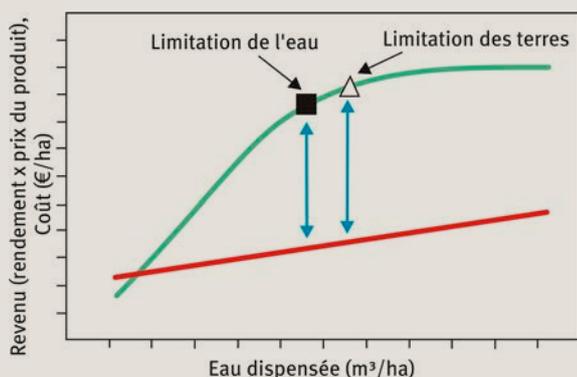
2 Relation entre le coefficient de déficit (défini comme la proportion de la zone racinaire du sol qui n'est pas mouillée pendant l'irrigation), l'efficacité d'application et l'uniformité de la distribution (UD, %) dans les systèmes d'irrigation d'une exploitation et la trajectoire d'amélioration de UD = 70 % à UD = 95 %.



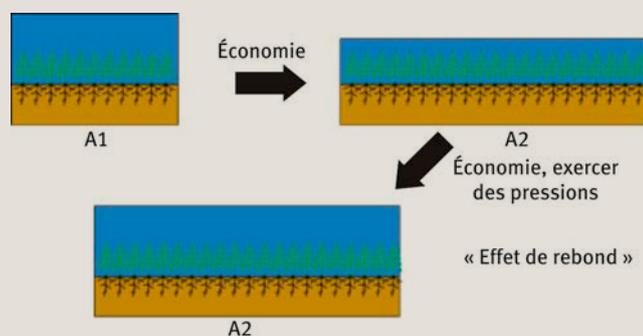
3 Réponse du rendement à l'évapotranspiration et à l'irrigation avec une uniformité de distribution, UD, de 70 % et de 95 %. La droite verte représente la réponse du rendement à l'évapotranspiration et les lignes pointillées bleues et rouges représentent la réponse du rendement à l'irrigation avec une uniformité de distribution (UD) de 95 % et 70 %, respectivement. Les accolades représentent la différence entre l'eau appliquée et l'eau évapotranspirée pour des scénarios d'irrigation modernisée idéale (UD = 95 %) et traditionnelle (UD = 70 %), respectivement. Le signe positif (+) indique une réduction de l'eau d'irrigation (gain positif) due à la modernisation ; le signe négatif (-) indique une augmentation de l'évapotranspiration (gain négatif) due à la modernisation.



④ Réponses en matière de revenus (courbe verte) et de coûts (ligne rouge) à l'eau appliquée dans des conditions de limitation en eau et de limitation en foncier. Le carré noir et le triangle blanc indiquent le revenu en fonction de l'eau appliquée qui donne un bénéfice maximum dans les situations de limitation de l'eau et des terres, respectivement. Les flèches bleues indiquent les bénéfices maximaux respectifs.



⑤ Représentation de la spirale négative de l'extension des terres irriguées grâce aux « économies d'eau » résultant de l'amélioration de l'efficience de l'irrigation et de « pressions » pour obtenir des ressources en eau supplémentaires. Des raisons économiques conduisent à transformer les terres arides en terres à irrigation déficitaire pour utiliser les économies d'eau dues à la modernisation (première flèche de la figure). Les bénéfices augmenteraient en réduisant le degré de déficit, ce qui permettrait aux agriculteurs de faire pression pour obtenir des ressources en eau supplémentaires (deuxième flèche de la figure).



libérer une partie de l'eau et permettre l'extension de la surface irriguée et donc du bénéfice. Cette extension impliquerait une augmentation de l'évapotranspiration, la deuxième facette de « l'effet rebond ». En outre, le rendement et le bénéfice augmentant, si une quantité supplémentaire d'eau d'irrigation était allouée à la nouvelle zone irriguée, les agriculteurs seraient tentés de faire pression dans le but d'obtenir davantage de ressources en eau. C'est le début d'une spirale qui peut expliquer l'augmentation constante des surfaces irriguées (figure 5) observée dans de nombreuses régions, par exemple en Espagne. Cette troisième facette de « l'effet rebond » est probablement la principale cause de la surexploitation des ressources en eau observée dans le monde.

### Conclusions

- L'effet d'une meilleure efficience des unités d'irrigation sur l'efficience de l'irrigation à l'échelle des bassins versants dépend fortement de la disposition hydrologique des unités d'irrigation.
- Dans les bassins fermés, l'eau est conservée uniquement en réduisant l'évapotranspiration.
- L'amélioration de l'efficience de l'irrigation peut entraîner une augmentation de la consommation d'eau (« effet rebond »).
- Il serait tentant d'investir les « économies d'eau » dans l'extension de la surface irriguée, ce qui augmente encore la consommation d'eau (« effet rebond »).
- Toutefois, il existe de bonnes raisons d'améliorer l'efficience de l'irrigation à l'échelle de l'exploitation qui n'ont pas été abordées dans le présent article. ■

### L'auteur

**Luciano MATEOS**  
Institut d'agriculture durable,  
CSIC, Cordoue, Espagne.  
✉ [luciano.mateos@ias.csic.es](mailto:luciano.mateos@ias.csic.es)

### EN SAVOIR PLUS...

- BERBEL, J., MATEOS, L., 2014, Does investment in irrigation technology necessarily generate rebound effects? A simulation analysis based on an agro-economic model, *Agricultural Systems*, vol. 128, pp. 25-34, <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2014.04.002>
- ENGLISH, M., 1990, Deficit irrigation. I: analytical framework, *J. Irrig. Drain. Eng.*, vol. 116, pp. 399-412, [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(1990\)116:3\(399\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(1990)116:3(399)).
- MATEOS, L., 2008, Identifying a new paradigm for irrigation system performance, *Irrigation Science*, vol. 27, pp. 25-34, <https://doi.org/10.1007/s00271-008-0118-z>
- MATEOS, L., YOUNG, C.A., WALLENDER, W.W., CARLSON, H.L., 2000, Simulating spatially distributed water and salt balances, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, vol. 126, pp. 288-295, [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(2000\)126:5\(288\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(2000)126:5(288))
- VIVAS, G., GIRÁLDEZ, J.V., MATEOS, L., 2016, Water management in an ancestral irrigation system in southern Spain: a simulation analysis, *Irrigation Science*, vol. 34, pp. 343-360, <http://doi.org/10.1007/s00271-016-0507-7>



Canal d'irrigation en Espagne.