

La modernisation des systèmes d'irrigation en France : quelles économies d'eau possibles à l'échelle de la parcelle ?

Quel est le potentiel réel d'économie d'eau à la parcelle résultant du changement de matériel d'irrigation ou de l'adoption d'outils de pilotage dans un contexte donné ?

Pour répondre à cette question, les auteurs de cet article ont compilé plus de quatre-vingt-treize références d'essais expérimentaux de consommation d'eau représentatifs d'un large éventail de conditions pédo-climatiques et de cultures en France métropolitaine. Leurs résultats montrent que les économies d'eau potentiellement réalisables en passant de l'aspersion à un système localisé d'irrigation sont limitées, voire impossibles, lors des années très sèches. Au contraire, le pilotage de l'irrigation à l'aide de sondes d'état hydrique du sol permet des économies d'eau moins dépendantes des conditions climatiques.

Quelles stratégies pour économiser l'eau en irrigation ?

En raison de la rareté de l'eau qui s'intensifie avec le changement climatique dans la plupart des pays, les économies d'eau deviennent de plus en plus d'actualité. La politique de l'Union européenne en matière de ressource en eau vise les économies et une gestion durable. Par l'intermédiaire du Fonds européen agricole pour le développement rural (FEADER), elle soutient les investissements dans des équipements qui améliorent l'efficacité de l'irrigation. Dans ce contexte, « un investissement dans l'amélioration d'une installation d'irrigation existante ou d'un élément d'une infrastructure d'irrigation n'est admissible que s'il ressort d'une évaluation *ex ante* qu'il est susceptible de permettre des économies d'eau d'un minimum compris entre 5 % et 25 %, selon les paramètres techniques de l'installation ou de l'infrastructure existante » (Union européenne – 2013 ; article 46, point 4).

Des économies d'eau d'irrigation peuvent être réalisées en réduisant les pertes, pertes dont la définition et l'estimation varient selon les approches (Seckler *et al.*, 2003 ; Jensen, 2007 ; Perry, 2007 ; Lankford, 2012 ; Van Halsema et Vincent, 2012). La première approche, liée au concept d'« efficacité classique », considère le

rapport entre l'eau utilisée de manière bénéfique par la culture (évapotranspiration) et l'eau fournie. La seconde, appelée approche « néoclassique », prend en compte la part de l'eau apportée potentiellement disponible pour une réutilisation en aval. L'approche classique est appropriée à l'échelle de la parcelle et considère que l'eau quittant la parcelle est perdue (Hsiao, 2007), tandis que l'approche néoclassique est pertinente pour la gestion de la ressource à l'échelle du bassin, car elle valorise les volumes d'eau drainée utiles pour la recharge des nappes (Richter *et al.*, 2017).

Dans le contexte réglementaire européen mentionné ci-dessus, les économies d'eau sont essentiellement considérées à l'échelle de la parcelle ou de l'exploitation, conformément à l'approche « d'efficacité classique ». Dans ce cas, l'ensemble du parcours de l'eau d'irrigation au niveau de la parcelle peut être décrit dans un « schéma en cascade » (Serra-Wittling et Molle, 2017) divisé en six étapes depuis l'entrée de la parcelle jusqu'aux racines des plantes : l'eau entrant dans la parcelle, l'eau appliquée (c'est-à-dire à la sortie de la buse ou du goutteur), l'eau atteignant la surface du sol, l'eau stockée dans la zone racinaire, l'eau réellement évapotranspirée, l'eau absorbée et réellement transpirée qui participe à l'élaboration du rendement des cultures (figure 1). Entre

chaque étape, des pertes d'eau d'irrigation peuvent se produire, à savoir les fuites dans le matériel, l'évaporation directe dans l'air et la dérive due au vent en aspersion, le ruissellement et le drainage liés à une application excessive ou non uniforme, l'eau résiduelle dans le sol après récolte représentant un stockage d'eau excessif, la transpiration des mauvaises herbes, l'évaporation du sol (pour une revue complète, voir Hsiao *et al.*, 2007). L'efficacité globale de l'irrigation est alors définie comme le rapport entre l'eau d'irrigation transpirée et l'eau d'irrigation entrant dans la parcelle.

Il existe plusieurs leviers pour économiser l'eau en limitant les pertes d'eau d'irrigation (BIO Intelligence Service, 2012 ; Jensen *et al.*, 2014), notamment la gestion des sols et des cultures (culture sans labour, paillage, gestion des mauvaises herbes), et l'amélioration de l'irrigation par les technologies (application efficiente de l'eau) et la gestion (pilotage, irrigation déficitaire).

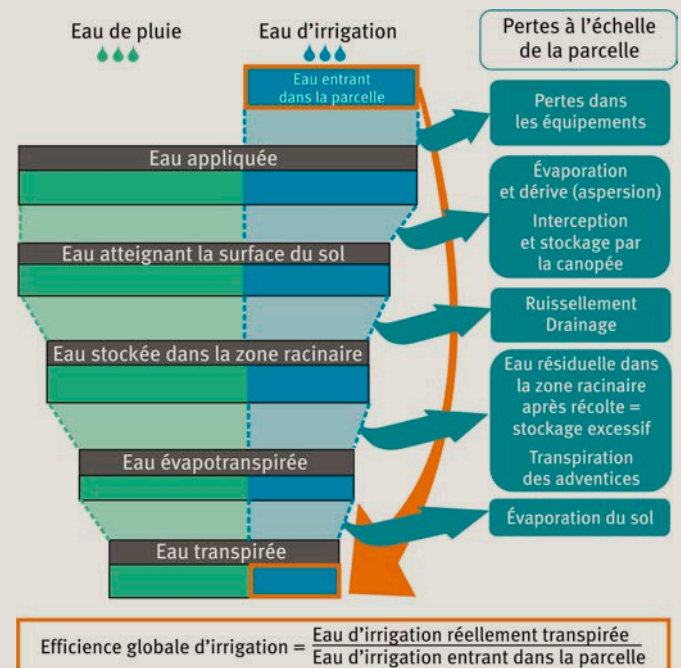
La modernisation de l'irrigation au niveau technologique peut être réalisée en ajoutant certains dispositifs à un système existant. Par exemple, un système d'irrigation à débit variable (VRI, pour *Variable Rate Irrigation*) peut être adapté sur pivots (Zhao *et al.*, 2017) ou un contrôleur peut être utilisé pour gérer les vitesses de rotation du canon sur un enrouleur (Ghinassi et Pezzola, 2014). Une autre façon de tirer parti de la technologie consiste à adopter des systèmes plus efficaces, c'est-à-dire à passer de l'irrigation gravitaire ou par aspersion à l'irrigation localisée (goutte-à-goutte de surface, goutte-à-goutte enterré ou micro-aspersion). Tous les systèmes localisés permettent d'éliminer la dérive et l'évaporation directe qui se produisent normalement en aspersion. Ils réduisent également le ruissellement et le drainage, car ils diminuent les quantités d'eau appliquées (généralement proches mais en dessous de la saturation du sol), permettent un meilleur contrôle de ces quantités et fournissent des débits plus faibles (en général inférieures à la conductivité hydraulique saturée du sol). L'irrigation au goutte-à-goutte élimine également l'interception par la canopée. Le goutte-à-goutte enterré réduit considérablement l'évaporation du sol (Bonachela *et al.*, 2001). Enfin, l'amélioration de l'uniformité de la distribution spatiale de l'irrigation contribue également à une plus grande efficacité et à la réduction des pertes en eau, sauf dans des conditions spécifiques (pentes marquées, profondeurs ou types de sol inégaux) où il est préférable d'appliquer des doses différentes aux différentes parties des parcelles. En général, les systèmes d'irrigation localisée ne permettent de réaliser des économies d'eau que si une uniformité satisfaisante est obtenue. Citons quelques valeurs moyennes d'efficacité communément adoptées à l'échelle de la parcelle sur une saison culturale, tenant compte de l'évaporation directe, de la dérive, de l'interception par le couvert végétal, du ruissellement et des pertes par drainage (mais pas de l'évaporation du sol) : 65% (55 à 75%) pour l'enrouleur, 75% (60 à 85%) pour la couverture intégrale, 80% (75 à 90%) pour le pivot traditionnel, 85% (70 à 95%) pour la micro-aspersion et le goutte-à-goutte de surface, et 90% (75 à 95%) pour le goutte-à-goutte enterré (Howell, 2003).

Parmi les améliorations qui peuvent être apportées à la gestion de l'irrigation, on peut citer le choix de l'heure d'irrigation (jour ou nuit) (Molle *et al.*, 2012 ; Caverro

et al., 2016), l'irrigation déficitaire régulée (Geerts et Raes, 2009) et le pilotage de l'irrigation. Ce dernier consiste à ajuster la fréquence et les quantités d'irrigation selon une stratégie d'irrigation optimisée par des modèles (Evet et Tolk, 2009 ; Li *et al.*, 2018 ; Malik *et al.*, 2019, parmi beaucoup d'autres), ou selon les conditions climatiques et l'état hydrique de la plante (Jones, 2004) ou du sol. Les capteurs les plus couramment utilisés pour suivre le statut hydrique du sol sont les sondes capacitatives (Evet *et al.*, 2012) et les sondes tensiométriques (Bianchi *et al.*, 2017). Ces sondes sont utilisées pour piloter l'irrigation en fonction du statut hydrique réel du sol, ce qui permet d'éviter la sur-irrigation et, par conséquent, de réduire le ruissellement, le drainage et l'eau résiduelle dans le sol après la récolte.

Bien qu'il soit reconnu que l'amélioration de la technologie et de la gestion de l'irrigation est susceptible de générer des économies d'eau, dans la pratique, on sait peu de choses sur le potentiel d'économies d'eau que l'on peut réellement atteindre à l'échelle de la parcelle. L'objectif de cette étude était d'évaluer les économies d'eau d'irrigation réalisables en passant de l'aspersion à un système d'irrigation localisée ou en utilisant des sondes d'état hydrique du sol. Pour ce faire, nous avons utilisé le contexte français métropolitain comme cas d'étude et compilé toutes les études disponibles menées en France. Nous avons choisi de nous concentrer sur les économies d'eau réalisées grâce au changement de matériel d'irrigation ou grâce à l'adoption de sondes d'état hydrique du sol pour le pilotage de l'irrigation. Nous avons analysé comment ces économies d'eau sont influencées par le contexte climatique. De plus, une démarche de modélisation avec le modèle de culture Optirrig a servi à quantifier les pertes en eau d'irrigation et l'efficacité globale de l'irrigation à l'échelle de la parcelle.

1 Étapes du parcours de l'eau d'irrigation à l'échelle de la parcelle et pertes d'eau d'irrigation.



Méthodologie : collecte de références sur les économies d'eau

Collecte de données

Nous avons compilé toutes les études disponibles, menées sur le territoire métropolitain français au cours des trente dernières années, afin de comparer la consommation en eau soit entre deux systèmes d'irrigation différents (aspersion ou système localisé), soit entre deux modes de pilotage différents (sans et avec sondes d'état hydrique du sol), mais toujours dans le même contexte (même année, même sol, même culture). Toutes ces études sont basées sur des essais expérimentaux de terrain réalisés par les chambres d'agriculture, les instituts techniques, les instituts de recherche, les stations expérimentales ou les organismes régionaux de gestion de l'eau. Elles ont été menées soit dans des stations expérimentales, soit par des agriculteurs encadrés par un conseiller technique en irrigation. Les données produites par ces études sont le plus souvent non publiées et se trouvent dans des rapports de littérature grise. Elles proviennent de vingt-cinq sites différents, principalement des régions françaises ayant les plus grandes surfaces irriguées (figure 2), et concernent les grandes cultures, l'arboriculture et le maraîchage. Au total, quatre-vingt-treize références de consommation d'eau d'irrigation à l'échelle de la parcelle ont été collectées. Soixante-dix d'entre elles concernent la comparaison entre deux systèmes d'irrigation : un système d'aspersion (canon enrouleur, rampe sur enrouleur, pivot ou couverture intégrale) et un système localisé (goutte-à-goutte de surface, goutte-à-goutte enterré ou micro-asperseur). Vingt-trois références comparent la consommation d'eau de deux modes de pilotage : sans et avec sondes d'état hydrique

du sol. Aucune des données ne fait référence à l'irrigation gravitaire, celle-ci n'étant plus très répandue en France. Chaque référence permet d'évaluer l'économie d'eau réalisée entre le système le plus consommateur d'eau et celui qui en consomme le moins. Nous n'avons sélectionné que les données décrivant les économies d'eau réalisées sans perte significative de rendement ou de qualité : une réduction de rendement allant jusqu'à 10% a été tolérée. L'ensemble de la base de données est accessible dans l'article de Serra- Wittling *et al.* (2019).

Création de la base de données

Chaque référence contient :

- des données générales concernant le contexte agro-pédo-climatique,
- des données spécifiques décrivant les situations comparées (deux systèmes d'irrigation différents ou deux modes de pilotage différents, c'est-à-dire sans et avec sonde d'état hydrique du sol), les quantités d'eau d'irrigation et les rendements associés,
- des variables calculées à partir des données brutes précédentes.

Données générales

Année, localisation, réserve utile du sol (RU), type de culture (grande culture, maraîchage, arboriculture), précipitations cumulées (P) et évapotranspiration de référence de Penman-Monteith (ET_o) cumulée. P et ET_o ont été obtenues soit à partir de la station météorologique du site expérimental lui-même, soit à partir de la station météorologique la plus proche d'INRAE (Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement) ou de Météo France. P et ET_o sont cumulées sur la saison culturale, c'est-à-dire depuis la date moyenne de semis (ou de plantation ou de mise à fruit) jusqu'à la date moyenne de récolte.

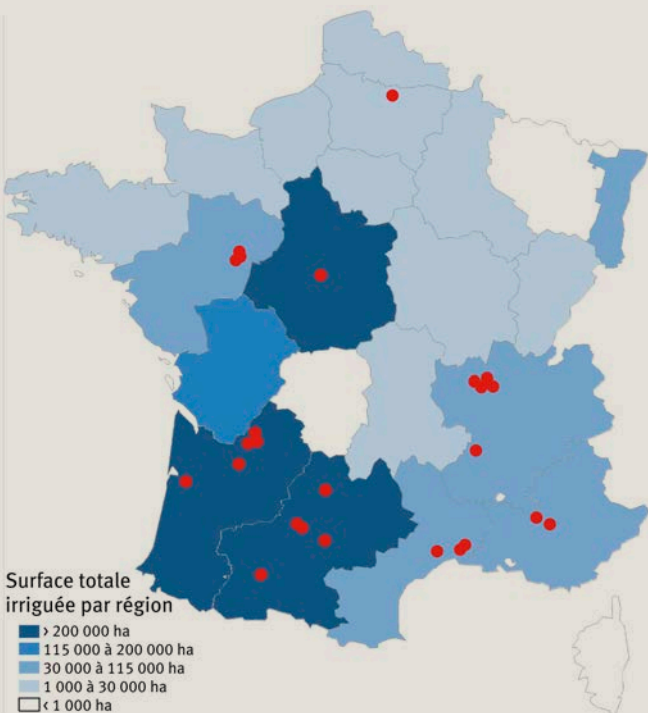
Données spécifiques de comparaison entre deux situations d'irrigation

Les systèmes d'irrigation 1 et 2 sont comparés (le système 1 étant le plus consommateur d'eau, et le système 2 le moins consommateur). Dans tous les cas, le système d'irrigation 1 est un système d'irrigation par aspersion (canon enrouleur, rampe sur enrouleur, pivot ou couverture intégrale) et le système d'irrigation 2 est un système d'irrigation localisée (goutte-à-goutte de surface – GGS, goutte-à-goutte enterré – GGE ou micro-aspersion – MA). Deux systèmes de pilotage sont également comparés. Le premier est basé soit sur les pratiques traditionnelles des agriculteurs, soit sur les bulletins hebdomadaires de conseil en irrigation, soit sur des évaluations de l'évapotranspiration maximale (ETM), et n'utilise aucun dispositif de pilotage. Le second utilise des capteurs de sol (sondes tensiométriques ou capacitatives) pour ajuster la dose d'irrigation à la teneur en humidité du sol. Pour chaque système d'irrigation ou de pilotage, la quantité totale d'eau d'irrigation appliquée pendant la saison culturale avec le système 1 (Irr1) et le système 2 (Irr2) est enregistrée, ainsi que les rendements associés.

Variables calculées

Le déficit hydrique de la saison culturale (DH, sans unité) est calculé ainsi : $DH = ET_o / P$, où ET_o (mm) est l'évapotranspiration potentielle cumulée et P (mm) le cumul des précipitations sur la saison culturale. Les valeurs de DH

2 Surfaces irriguées en France (2010) et localisation des vingt-cinq sites expérimentaux sur lesquels les données ont été collectées.



supérieures à 1 représentent des situations avec un déficit hydrique effectif pour les cultures, nécessitant donc une irrigation. Les valeurs de DH égales ou inférieures à 1 ne nécessitent généralement pas d'irrigation et ne sont donc pas prises en compte dans cette étude. DH doit être considéré comme un indicateur de la sécheresse climatique, mais pas comme un besoin quantifié d'eau d'irrigation.

L'économie d'eau (EE en %) obtenue en utilisant le système 2 par rapport au système 1, ou en utilisant un capteur de sol par rapport à aucun capteur de sol, est évaluée par $[(Irr1 - Irr2) / Irr1] \times 100$, où Irr1 (mm) et Irr2 (mm) sont les quantités totales d'eau d'irrigation appliquées pendant la saison culturale avec les systèmes 1 et 2 respectivement. On distingue les économies d'eau obtenues en comparant deux systèmes d'irrigation (EE-SI) et celles obtenues en comparant deux modes de pilotage, avec et sans sondes d'état hydrique du sol (EE-SP).

Modélisation des pertes en eau

Modèle de culture Optirrig

Le module « Efficience » récemment développé du modèle Optirrig permet de simuler les volumes d'eau d'irrigation à chaque étape du parcours de l'eau d'irrigation, du canal aux racines des plantes. Dans cette étude, il a été utilisé au niveau de la parcelle (voir également l'article de Cheviron et al, 2020, dans ce même numéro). Il évalue l'efficience globale de l'irrigation (rapport entre l'eau d'irrigation transpirée et l'eau d'irrigation entrant dans la parcelle) ainsi que les volumes successifs d'eau d'irrigation perdus depuis l'entrée de la parcelle jusqu'aux racines (évaporation directe et dérive due au vent en aspersion, drainage, évaporation du sol et eau résiduelle du sol après la récolte).

Étude de cas

L'essai expérimental a été réalisé avec du maïs, en 2009, sur une parcelle agricole de la plaine de l'Ain (30 km à l'est de Lyon, France). Le sol alluvial a une réserve utile de 60-80 mm. L'irrigation a été pilotée à l'aide de tensiomètres. Le système d'irrigation était un enrouleur avec un diamètre du tube de 100 mm et une longueur de 400 m. Pendant la saison culturale, sept irrigations ont eu lieu avec des hauteurs d'eau de 30 à 35 mm. Le système localisé était un goutte-à-goutte enterré (GGE)

avec un espacement des goutteurs de 30 cm, un débit de 1,14 l. h⁻¹, un espacement latéral des lignes de 150 cm et une profondeur de 50 cm. Cinquante-cinq irrigations de 2,5 à 3,75 mm ont été réalisées. Les volumes d'irrigation ont été suivis pour les deux systèmes pendant la saison, ainsi que les rendements. On a fait l'hypothèse qu'aucune perte d'eau d'irrigation ne se produit dans la parcelle, de sorte que toute l'eau entrant dans la parcelle s'écoule par la buse ou le goutteur. Les quantités d'eau d'irrigation perdues ont été simulées à l'aide du module « Efficience » d'Optirrig.

Résultats et discussion : évaluation des stratégies d'économie d'eau

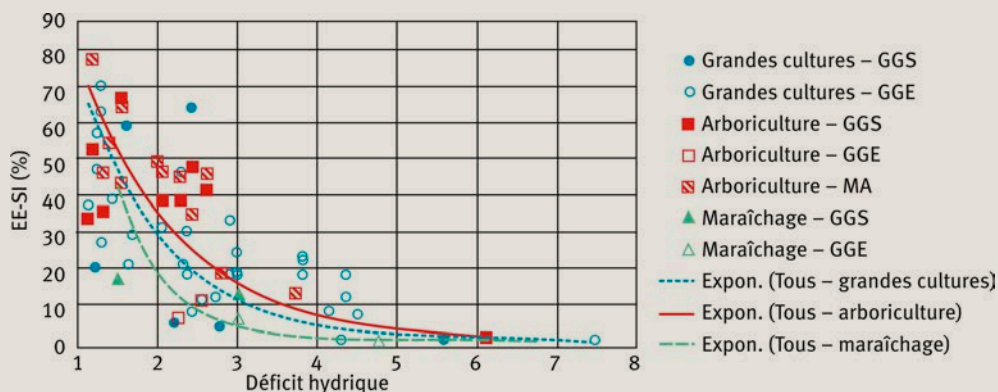
Économies d'eau réalisées grâce aux systèmes d'irrigation (EE-SI)

Comme le montre la figure 3, l'économie d'eau observée entre deux systèmes d'irrigation (EE-SI), avec le goutte-à-goutte de surface (GGS), le goutte-à-goutte enterré (GGE) ou la micro-aspersion (MA) au lieu de l'aspersion, varie de 0 à 77 %, ce qui témoigne d'une grande variabilité.

Les systèmes d'irrigation localisée (GGS, GGE ou MA) peuvent, dans une plus ou moins grande mesure, contribuer à réduire la quantité d'eau appliquée pendant la saison culturale par rapport aux systèmes d'aspersion (canon enrouleur, pivot, couverture intégrale). Ces économies d'eau s'expliquent par la plus grande efficience d'application des systèmes localisés qui réduisent les pertes se produisant en aspersion par dérive et évaporation directe, interception du couvert végétal, ruissellement, drainage et évaporation du sol. Les économies d'eau d'irrigation peuvent également être attribuées à l'utilisation plus efficace de l'eau de pluie avec les systèmes localisés. En effet, étant donné que l'intervalle entre les irrigations par aspersion varie entre trois et dix jours (selon la région, le climat, le sol), et que les prévisions météorologiques sont beaucoup moins précises au-delà de trois-quatre jours, des précipitations peuvent se produire entre deux irrigations par aspersion, entraînant ainsi un gaspillage d'eau d'irrigation.

EE-SI (%) tend à diminuer lorsque le déficit hydrique augmente (figure 3). Il apparaît que, pour un déficit

3 Économies d'eau (EE-SI) réalisées entre un système d'aspersion et un système d'irrigation localisée, en fonction du déficit hydrique de la saison culturale. Courbes exponentielles (Expon.) pour chaque type de culture. GGS : goutte-à-goutte de surface, GGE : goutte-à-goutte enterré, MA : micro-aspersion.



► hydrique supérieur à 4,5, EE-SI est toujours nul, quel que soit le système d'irrigation ou le type de culture. Cela peut s'expliquer par la réduction des pertes par drainage lors de l'aspersion en année sèche. Lors des années humides, l'eau de pluie peut remplir partiellement la réserve d'eau du sol, de sorte qu'une partie des quantités d'eau d'irrigation appliquées en aspersion peut être perdue par percolation profonde ou par stockage dans le profil à la fin de la saison, contrairement aux systèmes automatisés localisés où de petites quantités d'eau sont appliquées quotidiennement. Lors des années sèches, toute l'eau d'irrigation contribue à la reconstitution des réserves en eau du sol, de sorte qu'aucune perte ne se produit et que l'efficacité globale d'irrigation des systèmes d'aspersion augmente et se rapproche de celle des systèmes localisés, réduisant ainsi les économies d'eau observées entre les deux systèmes.

Économies d'eau réalisées grâce au pilotage avec sondes d'état hydrique du sol (EE-SP)

Dans tous les cas, les quantités d'eau sont plus faibles lorsque l'irrigation est gérée avec des sondes d'état hydrique sol. Les valeurs de EE-SP observées varient entre 8% et 68% (figure 4). En effet, les sondes de sol permettent de prendre, en temps réel, des décisions qui complètent les stratégies de pilotage, où les changements de dates et de doses d'irrigation sont effectués en fonction du statut hydrique réel du sol. Il en résulte une réduction de la sur-irrigation et donc une diminution des pertes dues au ruissellement, à la percolation profonde et à l'eau résiduelle du sol après la récolte. Les sondes de sol peuvent également contribuer à optimiser l'utilisation des précipitations, car l'irrigation peut être démarrée plus tard dans la saison et arrêtée plus tôt. Dans le cas de l'irrigation par aspersion, la première, et parfois aussi la dernière, irrigation de la saison, peut être supprimée, ce qui permet une économie d'eau consistante.

Contrairement à EE-SI, EE-SP ne semble pas dépendre des conditions climatiques car le déficit hydrique n'a pas d'effet significatif sur EE-SP. Comme le pilotage avec les

sondes de sol est basée non pas sur les quantités totales de précipitations depuis le début de la saison culturale, mais sur leur effet réel sur l'état hydrique du sol (tension ou teneur en eau), il est compréhensible que les économies d'eau liées au pilotage par sondes ne dépende pas du déficit hydrique de l'année. Cependant, il faudrait davantage de données pour confirmer cette tendance et des expériences complémentaires sont nécessaires pour vérifier si les sondes de sol sont susceptibles de permettre des économies d'eau lors des années d'extrême sécheresse ($DH > 4,5$).

D'où proviennent les économies d'eau observées ? Étude de cas

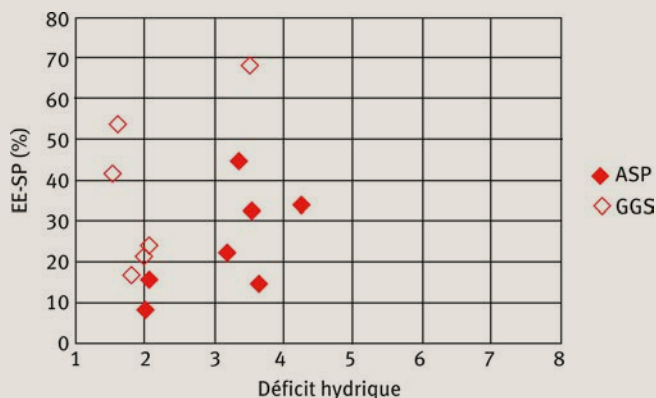
Les quantités d'eau d'irrigation appliquées sont de 230 et 153 mm pour l'aspersion et le GGE respectivement, de sorte que le GGE permet une économie d'eau de 34% par rapport à l'aspersion (EE-SI) (figure 5). Les rendements de maïs obtenus sont équivalents pour les deux systèmes : 13,3 et 13,1 T.ha-1 pour l'aspersion et le GGE respectivement.

La modélisation avec Optirrig permet de quantifier la partie de l'eau d'irrigation réellement utilisée pour la transpiration des cultures et les volumes perdus. La transpiration réelle représente 49% de l'eau d'irrigation totale pour le système d'aspersion et 68% pour le GGE, ce qui confirme que le GGE a une efficacité globale d'irrigation bien meilleure (près de 20% supérieurs) que l'enrouleur, grâce à la réduction des pertes d'eau avec le GGE.

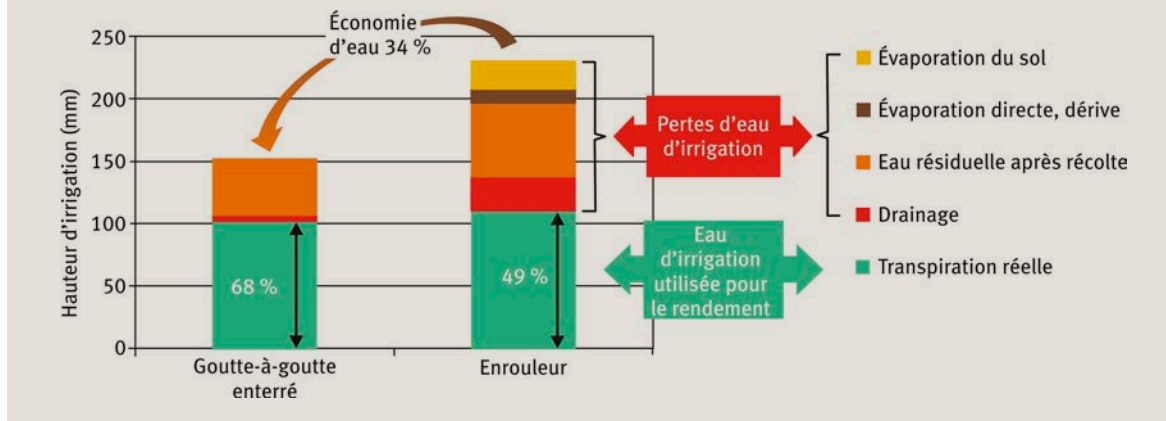
Avec l'enrouleur, la perte en eau d'irrigation par évaporation directe dans l'air et par dérive due au vent a été arbitrairement fixée à 5% de la quantité totale d'eau entrant dans la parcelle (Molle *et al.*, 2012). En principe, ces pertes ne se produisent pas en goutte-à-goutte car la totalité de l'eau sortant du goutteur est censée atteindre le sol. L'évaporation du sol ne se produit pas avec le GGE car l'eau d'irrigation appliquée à 50 cm de profondeur ne peut pas s'évaporer du sol. Avec l'enrouleur, cette perte représente 22 mm, soit 9% de l'eau entrant dans la parcelle. La principale perte d'eau d'irrigation est l'eau stockée dans le sol à la récolte : 59 mm avec l'enrouleur et 46 mm avec le GGE, soit 50% des pertes totales avec l'enrouleur et 94% pour le GGE. Ce stock d'eau final dans le sol restera inutilisé, car aucune culture ne sera semée directement après le maïs. Pour l'approvisionnement en eau de la culture suivante, on peut supposer que les précipitations hivernales seront suffisantes pour assurer le remplissage de la réserve du sol. Le drainage est une autre perte importante d'eau d'irrigation avec l'enrouleur (27 mm) car il représente 11% de l'eau totale appliquée, soit 22% des pertes totales d'eau d'irrigation. Seuls 3 mm d'eau d'irrigation sont perdus par le drainage avec le GGE. Le drainage est plus important avec l'irrigation par aspersion car les quantités d'eau appliquées (30-35 mm) sont plus élevées qu'avec le GGE (2,5-3,75 mm). Certaines pertes d'eau d'irrigation énumérées ci-dessus sont liées à la technologie d'irrigation elle-même et dépendent du type de système utilisé (aspersion ou irrigation localisée). Elles sont appelées « pertes techniques ». L'évaporation directe ou la dérive due au vent et l'évaporation du sol sont uniquement liées à l'irrigation par aspersion. Les pertes par drainage et stockage excessif dans le profil sont plus élevées avec l'irrigation par asper-

4 Économies d'eau réalisées en utilisant des sondes d'état hydrique du sol (EE-SP) pour piloter l'irrigation en plein champ, en fonction du déficit hydrique de la saison culturale.

ASP : irrigation par aspersion, GGS : goutte-à-goutte de surface.



5 Simulation avec le modèle de culture Optirrig des quantités d'eau d'irrigation transpirées par la culture ou perdues, pour le maïs irrigué en goutte-à-goutte enterré (GGE) ou par aspersion (canon enrouleur).



sion car les quantités d'eau appliquées sont plus importantes. D'autres pertes (appelées « pertes tactiques ») sont plutôt liées à la gestion et au pilotage de l'irrigation (dates et doses). La dérive due au vent avec l'aspersion peut être limitée en évitant les jours ou les heures ventés. Retarder l'irrigation après une pluie importante devrait réduire les pertes par drainage. Le stockage excessif de l'eau d'irrigation dans le sol pourrait être évité en réduisant ou en supprimant la (ou les) dernière(s) irrigation(s). La réduction des pertes en eau, et donc l'économie d'eau grâce au GGE par rapport à l'aspersion, sont possibles à la fois par les améliorations techniques et tactiques.

Conclusion

Cette étude a compilé toutes les études de terrain disponibles menées sur le territoire métropolitain français au cours des trente dernières années, concernant les économies d'eau réalisées avec des systèmes d'irrigation localisée (goutte-à-goutte de surface, goutte-à-goutte enterré ou micro-aspersion) par rapport aux systèmes d'aspersion (canon enrouleur, rampe sur enrouleur, pivot ou couverture intégrale), ainsi qu'avec un pilotage avec des sondes d'état hydrique du sol (tensiométriques ou capacitatives) par rapport à la gestion traditionnelle avec bilan hydrique. Une approche de modélisation réalisée sur un cas d'étude a permis de quantifier les pertes d'eau d'irrigation contribuant aux économies d'eau observées. Notre travail montre que :

- les systèmes d'irrigation localisée, ainsi que les sondes d'état hydrique du sol, sont des solutions très efficaces pour économiser l'eau à l'échelle de la parcelle et ainsi augmenter la productivité de l'eau d'irrigation. Toutefois, il n'est pas raisonnable de généraliser les valeurs d'économies d'eau réalisées car elles sont très variables et dépendent de plusieurs facteurs ;
- la réduction des pertes en eau, et donc les économies d'eau réalisées grâce aux systèmes localisés par rapport aux systèmes d'aspersion, proviennent autant d'améliorations techniques que tactiques. Par conséquent, pour promouvoir les économies d'eau, il semble judicieux d'encourager, parallèlement aux investissements dans

des équipements économes en eau, l'amélioration des pratiques des irrigants et, en particulier, l'adoption d'outils de pilotage de l'irrigation ;

- les économies d'eau obtenues avec les systèmes d'irrigation localisée sont fortement dépendantes des conditions climatiques, contrairement à celles obtenues avec les sondes d'état hydrique du sol. Ce résultat doit être considéré avec attention dans la perspective du changement climatique. En ce qui concerne les économies d'eau et la limitation des prélèvements d'eau, il est important de garder à l'esprit que les économies d'eau potentiellement réalisables en passant d'un système d'aspersion à un système d'irrigation localisée sont optimales dans des conditions de déficit hydrique modéré. Elles deviennent limitées, voire impossibles, lors des années très sèches. Au contraire, la gestion de l'irrigation à l'aide de sondes de sol permet des économies d'eau potentielles moins dépendantes des conditions climatiques.

Enfin, il est important de rappeler que les économies d'eau au niveau de la parcelle n'impliquent pas nécessairement des économies d'eau à long terme à l'échelle du territoire (Grafton *et al.*, 2018). L'adoption d'équipements d'irrigation plus efficaces entraîne souvent une augmentation des prélèvements d'eau en raison de changements de cultures et de types de rotation, ou de l'extension des surfaces irriguées. C'est ce que l'on appelle l'« effet de rebond » (Pfeiffer et Lin, 2014 ; Berbel *et al.*, 2015). Pour réduire les prélèvements d'eau, l'amélioration de l'efficacité de l'irrigation doit être simultanément liée à des mesures qui diminuent la quantité d'eau que les agriculteurs sont autorisés à prélever. ■

Les auteurs

Claire SERRA-WITTLING, Bruno MOLLE
et Bruno CHEVIRON

G-EAU, INRAE, AgroParisTech, Cirad, IRD, Montpellier
SupAgro, Univ Montpellier,
361 Rue Jean-François Breton, BP 5095,
F-34196 Montpellier Cedex 5, France.

- ✉ claire.serra-wittling@inrae.fr
- ✉ bruno.molle@inrae.fr
- ✉ bruno.cheviron@inrae.fr

EN SAVOIR PLUS...

- 📄 **BIO INTELLIGENCE SERVICE**, 2012, Water saving potential in agriculture in Europe: findings from the existing studies and application to case studies. Final report prepared for European Commission DG ENV, 234 p., https://ec.europa.eu/environment/water/quantity/pdf/BIO_Water%20savings%20in%20agriculture_Final%20report.pdf
- 📄 **HSIAO, T.C., STEDUTO, P., FERERES, E.**, 2007, A systematic and quantitative approach to improve water use efficiency in agriculture, *Irrigation Science*, vol. 25, p. 209-231, <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s00271-007-0063-2.pdf>
- 📄 **SERRA-WITTLING, C., MOLLE, B.**, 2017, Évaluation des économies d'eau à la parcelle réalisables par la modernisation des systèmes d'irrigation. Rapport d'étude réalisée avec le soutien du Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation, IRSTEA, 149 p., <http://www.g-eau.fr/index.php/fr/umr-geau/actualites/item/758-etude-irstea-2017-sur-l-evaluation-des-economies-d-eau-potentielles-a-la-parcelle-realisables-par-la-modernisation-des-systemes-d-irrigation-c-serra-wittling-et-b-molle>
- 📄 **SERRA-WITTLING, C., MOLLE, B., CHEVIRON, B.**, 2019, Plot level assessment of irrigation water savings due to the shift from sprinkler to localized irrigation systems or to the use of soil hydric status probes. Application in the French context, *Agricultural Water Management*, vol. 223, 105682, <https://hal.inrae.fr/hal-02609656/document>

BIBLIOGRAPHIE COMPLÉMENTAIRE

- 📄 **BERBEL, J., GUTIÉRREZ-MARTÍN, C., RODRÍGUEZ-DÍAZ, J.A., CAMACHO, E., MONTESINOS, P.**, 2015, Literature review on rebound effect of water saving measures and analysis of a Spanish case study, *Water Resources Management*, vol. 29, p.663-678.
- 📄 **BIANCHI, A., MASSERONI, D., THALHEIMER, M., OLIVERA DE MEDICI, L., FACCHI, A.**, 2017, Field irrigation management through soil water potential measurements: a review, *Italian Journal of Agrometeorology*, n° 2, p. 25-38.
- 📄 **BONACHELA, S.F., ORGAZ, F., VILLALOBOS, F.J., FERERES, E.**, 2001, Soil evaporation from drip-irrigated olive orchards, *Irrigation Science*, vol. 20, p. 65-71.
- 📄 **CAVERO, J., FACI, J.M., MARTÍNEZ-COB, A.**, 2016, Relevance of sprinkler irrigation time of the day on alfalfa forage production, *Agricultural Water Management*, vol. 178, p. 304-313.
- 📄 **EUROPEAN UNION**, 2013, Regulation (EU) No 1305/2013 of the European Parliament and of the Council of 17 December 2013 on support for rural development by the European Agricultural Fund for Rural Development (EAFRD) and repealing Council Regulation (EC) No 1698/2005, *Official Journal of the European Union L*, n° 347, p. 487-548.
- 📄 **EVETT, S.R., SCHWARTZ, R.C., CASANOVA, J.J., HENG, L.K.**, 2012, Soil water sensing for water balance, ET and WUE, *Agricultural Water Management*, vol. 104, p. 1-9.
- 📄 **EVETT, S.R., TOLK, J.A.**, 2009, Introduction: Can water use efficiency be modeled well enough to impact crop management?, *Agronomy Journal*, vol. 101, p. 423-425.
- 📄 **GEERTS, S., RAES, D.**, 2009, Deficit irrigation as an on-farm strategy to maximize crop water productivity in dry areas, *Agricultural Water Management*, vol. 96, p. 1275-1284.
- 📄 **GHINASSI, G., PEZZOLA, E.**, 2014, *Controlling sprinkler rotation speed to optimize water distribution uniformity of travelling rain guns*, 2014 ASABE and CSBE/SCGAB Annual International Meeting, Montreal, Quebec Canada, July 13-16, 2014.
- 📄 **GRAFTON, R.Q., WILLIAMS, J., PERRY, C.J., MOLLE, F., UDALL, B., GARRICK, D., RINGLER, C., WHEELER, S.A., ALLEN, R.G., WANG, Y., STEDUTO, P.**, 2018, The paradox of irrigation efficiency. Higher efficiency rarely reduces water consumption, *Science*, vol. 361, p. 748-750.
- 📄 **HOWELL, T.A.**, 2003, Irrigation Efficiency, in: STEWART, B.A., HOWELL, T.A. (Eds.), *Encyclopedia of Water Science*, Marcel Dekker, New York, p. 467-472.
- 📄 **JENSEN, C.R., ORUM, J.E., PEDERSEN, S.M., ANDERSEN, M.N., PLAUBORG, F., LIU, F., JACOBSEN, S.E.**, 2014, A short overview of measures for securing water resources for irrigated crop production, *Journal of Agronomy and Crop Science*, vol. 200, p. 333-343.
- 📄 **JENSEN, M.E.**, 2007, Beyond irrigation efficiency, *Irrigation Science*, vol. 25, p. 233-245.
- 📄 **JONES, H.G.**, 2004, Irrigation scheduling: advantages and pitfalls of plant-based methods, *Journal of Experimental Botany*, vol. 55, p. 2427-2436.
- 📄 **LANKFORD, B.**, 2012, Fictions, fractions, factorials and fractures; on the framing of irrigation efficiency, *Agricultural Water Management*, vol. 108, p. 27-38.
- 📄 **LI, J.**, 2018, Increasing crop productivity in an eco-friendly manner by improving sprinkler and micro-irrigation design and management: A review of 20 years' research at the IWHR, China, *Irrigation and drainage*, vol. 67, p. 97-112.
- 📄 **MALIK, W., ISLA, R., DECHMI, F.**, 2019, DSSAT-CERES-maize modelling to improve irrigation and nitrogen management practices under Mediterranean conditions, *Agricultural Water Management*, vol. 213, p. 298-308.
- 📄 **MOLLE, B., TOMAS, S., HENDAWI, M., GRANIER, J.**, 2012, Evaporation and wind drift losses during sprinkler irrigation influenced by droplet size distribution, *Irrigation and drainage*, vol. 61, p. 240-250.
- 📄 **PERRY, C.**, 2007, Efficient irrigation; inefficient communication; flawed recommendations, *Irrigation and drainage*, vol. 56, p. 367-378.
- 📄 **PFEIFFER, L., LIN, C.Y.C.**, 2014, Does efficient irrigation technology lead to reduced groundwater extraction? Empirical evidence, *Journal of Environmental Economics and Management*, vol. 67, p. 189-208.
- 📄 **RICHTER, B.D., BROWN, J.D., DIBENEDETTO, R., GORSKY, A., KEENAN, E., MADRAY, C., MORRIS, M., ROWELL, D., RYU, S.**, 2017, Opportunities for saving and reallocating agricultural water to alleviate water scarcity, *Water Policy*, vol. 19, n° 5, p. 886-907.
- 📄 **SECKLER, D., MOLDEN, D., SAKTHIVADIVEL, R.**, 2003, The concept of efficiency in water resources management and policy, in: KIJNE, J.W., BARKER, R., MOLDEN, D. (Eds.), *Water productivity in agriculture: Limits and opportunities for improvement*, CAB International.
- 📄 **VAN HALSEMA, G.E., VINCENT, L.**, 2012, Efficiency and productivity terms for water management: A matter of contextual relativism versus general absolutism, *Agricultural Water Management*, vol. 108, p. 9-15.
- 📄 **ZHAO, W., LI, J., YANG, R., LI, Y.**, 2017, Yields and water-saving effects of crops as affected by variable rate irrigation management based on soil water spatial variation (in Chinese, with English abstract), *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 33, p. 1-7.



Irrigation par aspersion en plein champ.