

Synthèse

Adaptation de l'irrigation au changement climatique dans l'Union européenne : les actions engagées par les États membres pour économiser l'eau

Comment ont évolué les prélèvements d'eau pour l'irrigation dans l'Union européenne ?

Quels dispositifs ont été mis en œuvre dans les États membres pour économiser l'eau ?

Quels ont été les résultats les plus probants et avec quelles pratiques innovantes ?

Lors du colloque « Économies d'eau en irrigation » organisé en novembre 2019 à Montpellier, des experts européens ont fait le bilan. Leurs témoignages variés montrent qu'à l'échelle européenne, les économies d'eau sont possibles grâce à l'amélioration de l'efficacité globale de l'irrigation, en combinant des technologies (infrastructures, systèmes d'application, outils de planification) et des pratiques plus performantes.

Comment le changement climatique affecte les besoins en eau des cultures en Europe ?

Le déficit hydrique des cultures est défini comme la différence entre les besoins en eau spécifiques à chaque culture et l'eau apportée par les précipitations. Il représente le besoin net en eau d'irrigation pour la pleine satisfaction des besoins des cultures. Le changement climatique entraîne une diminution des précipitations combinée à une augmentation de la demande en eau des cultures. Comme le montre la figure 1a, le déficit en eau des cultures de maïs a augmenté de 1995 à 2015 dans de larges régions d'Europe du Sud et de l'Est pour atteindre plus de 50 %, alors qu'une diminution a été estimée pour certaines régions d'Europe du Nord-Ouest.

Les hausses de température projetées entraîneront une augmentation de l'évapotranspiration qui accroîtra la demande en eau des cultures dans toute l'Europe. L'évolution prévue du déficit hydrique des cultures de maïs grain est illustrée sur la figure 1b. Les simulations sont basées sur le modèle de culture WOFOST, qui inclut également l'effet de l'augmentation des concentrations de CO₂ sur l'efficacité d'utilisation de l'eau pour le maïs. Les simulations montrent une augmentation du déficit hydrique des cultures dans de vastes régions d'Europe, en particulier en Europe centrale. Cela pourrait conduire à irriguer des cultures qui étaient jusqu'à présent conduites en pluvial et à étendre les systèmes d'irrigation dans des régions actuellement dépourvues d'infrastructures d'irrigation. Toutefois, cette expansion

pourrait être limitée par les réductions projetées de la disponibilité en eau et l'augmentation de la demande d'autres secteurs. Des mesures adaptatives, ainsi qu'une gestion intégrée de l'eau, souvent à l'échelle des bassins versants, sont nécessaires.

Comment évoluent les prélèvements d'eau pour l'irrigation ?

L'agriculture est responsable d'environ 70 % du prélèvement total d'eau douce dans le monde, principalement par l'irrigation (FAO, 2015). En Europe, l'irrigation est actuellement concentrée au bord de la Méditerranée. Le taux de prélèvement d'eau est estimé à 24 % pour l'ensemble de l'Union européenne (Agence européenne pour l'environnement, 2009), bien que de fortes variations régionales soient apparentes (figure 2).

En Europe du Nord (Danemark, Estonie, Finlande, Islande, Irlande, Lettonie, Lituanie, Norvège, Suède, Royaume-Uni), l'agriculture irriguée n'est que peu développée et se limite généralement à la production horticole en été. Les prélèvements pour l'agriculture ont doublé entre 1990 et 2000, passant de 1 500 à 3 300 Mm³, puis ont diminué jusqu'à 480 Mm³ en 2015, ce qui représente moins de 3 % des prélèvements totaux.

En Europe de l'Est (Bulgarie, République tchèque, Hongrie, Pologne, Roumanie, Slovaquie), le prélèvement d'eau pour l'agriculture était de près de 14 000 Mm³ en 1990, lorsque l'irrigation jouait un rôle important dans l'agriculture collectivisée à grande échelle sous le régime

soviétique. Avec l'effondrement de l'URSS, une diminution générale de la superficie irriguée s'est amorcée en raison de facteurs économiques et de la structure inadap- tée des anciens systèmes d'irrigation au nouveau modèle d'agriculture privée (FAO, 2016). Les prélèvements d'eau sont tombés à 3 300 Mm³ et sont restés stables depuis 2000, représentant environ 12 % des prélèvements totaux.

Dans les pays occidentaux (Autriche, Belgique, Suisse, Allemagne, France, Liechtenstein, Luxembourg, Pays- Bas), l'irrigation est principalement pratiquée en com- plément des précipitations naturelles, qui sont par ail- leurs généralement suffisantes pour une agriculture productive. Dans ces pays, les agriculteurs investissent dans le matériel d'irrigation principalement pour réduire les risques et augmenter les rendements de certaines

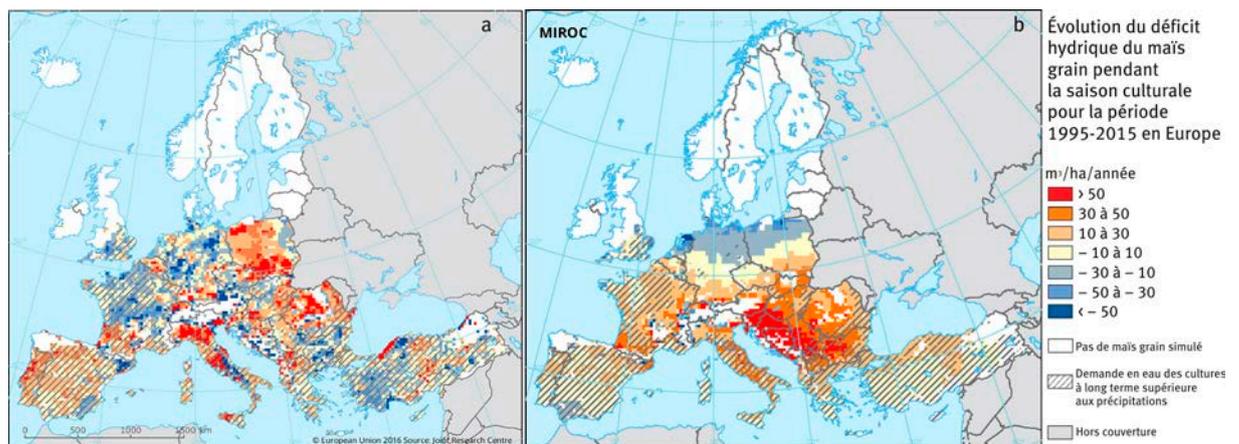
cultures telles que le maïs, les légumes et les cultures industrielles. Il est à noter que l'Agence européenne pour l'environnement a inclus la France dans le groupe « Europe de l'Ouest », même si ce groupe correspond mieux au Nord de la France qu'au Sud qui appartiendrait davantage aux « pays du Sud ». Les prélèvements d'eau pour l'irrigation ont régulièrement diminué, passant de 7 000 Mm³ en 1990 à 3 400 Mm³ en 2015, représentant alors 4 % des prélèvements totaux dans cette zone (12 % en France (Gleick, 2014)).

Les pays du Sud de l'Europe (Albanie, Bosnie-Herzégovine, Chypre, Grèce, Espagne, Croatie, Italie, Monténé- gro, Malte, Portugal, Serbie et Slovénie) se caractérisent par un climat méditerranéen aux conditions semi-arides qui rend l'agriculture irriguée beaucoup plus produc- tive que l'agriculture pluviale. Dans la plupart des cas,

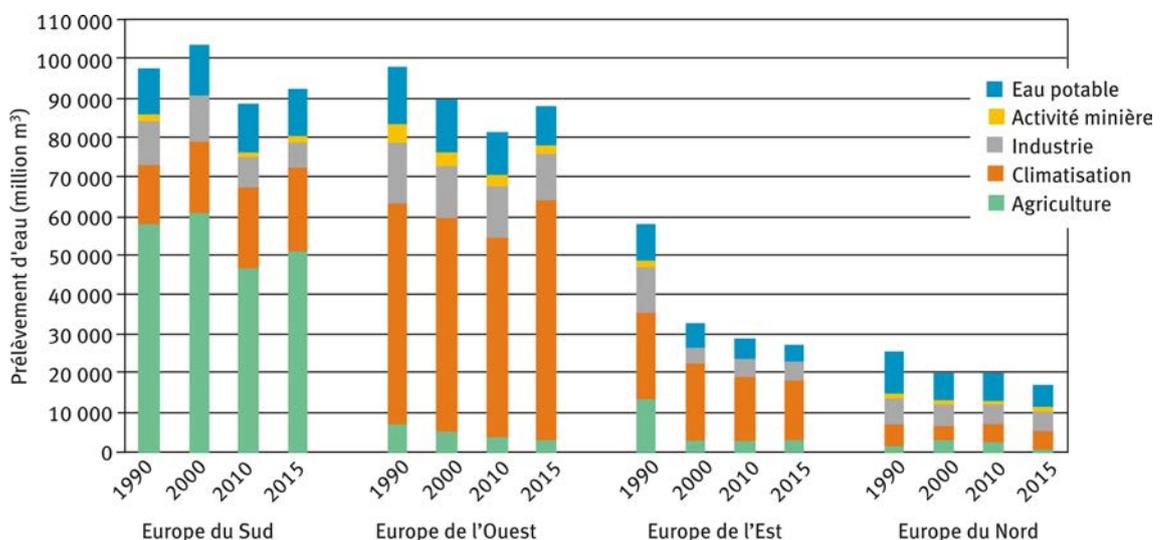
1 Déficit hydrique du maïs grain pendant la saison culturale en Europe.

a. Tendence pour la période 1995-2015. La couleur rouge indique une augmentation de l'écart entre les besoins en eau des cultures et l'eau disponible, la couleur bleue indique une réduction du déficit.

b. Taux de changement annuel projeté pour la période 2015-2045 avec le modèle MIROC (Model for Interdisciplinary Research On Climate). (Agence européenne pour l'environnement, 2016).



2 Évolution des prélèvements d'eau par secteur économique depuis les années 1990 (Agence européenne pour l'environnement, 2019).



L'irrigation est une caractéristique de l'agriculture établie de longue date et elle est souvent le principal utilisateur d'eau. Avec environ 60 000 Mm³, les prélèvements pour l'irrigation représentaient généralement près de 60 % du volume total prélevé en 1990 et 2000, et environ 55 % en 2010 et 2015 (46 000 et 51 000 Mm³, respectivement), atteignant 73 % au Portugal et 89 % en Grèce (Gleick, 2014).

Dans l'ensemble, malgré l'intensification du déficit hydrique des cultures dans de nombreuses zones d'Europe, on observe une diminution des prélèvements d'eau pour l'irrigation dans toutes les régions entre 1990 et 2015 (75 %, 69 %, 51 % et 12 % pour l'Europe de l'Est, du Nord, de l'Ouest et du Sud, respectivement). Elle est plus faible, mais réelle, dans les régions où le déficit en eau des cultures est très prononcé (Europe du Sud). Cette réduction du prélèvement d'eau d'irrigation peut avoir des causes diverses, telles que des stratégies historiques/politiques, le choix des cultures ou l'amélioration des technologies d'irrigation. Cette dernière sera détaillée ci-dessous et comprend le passage de systèmes d'irrigation de surface à des systèmes d'irrigation sous pression, la modernisation des réseaux de distribution existants, le développement de systèmes plus efficaces, l'amélioration des pratiques d'irrigation, l'adoption de méthodes d'automatisation et de pilotage.

Comment économiser l'eau en améliorant la technologie et la gestion de l'irrigation ?

Économies d'eau potentielles aujourd'hui et demain

Il existe plusieurs leviers pour économiser l'eau en irrigation, tels que la modernisation du réseau de transport pour réduire les fuites, les pratiques de gestion des sols et des cultures (culture sans labour, paillage, gestion des mauvaises herbes), et l'amélioration des technologies (systèmes d'irrigation plus efficaces) et de la gestion de

l'irrigation (pilotage, irrigation déficitaire). En ce qui concerne les améliorations à l'échelle de la parcelle, on sait que les systèmes d'irrigation localisés (micro-aspiration, goutte à goutte de surface et enterré) peuvent contribuer à réduire la quantité d'eau appliquée par rapport aux systèmes par aspersion (canon enrouleur, pivot, rampe), et que l'adoption d'outils de pilotage tels que les sondes de sol peut contribuer à économiser l'eau, bien que les économies d'eau observées soient très variables selon les situations (Serra-Wittling et al., 2019).

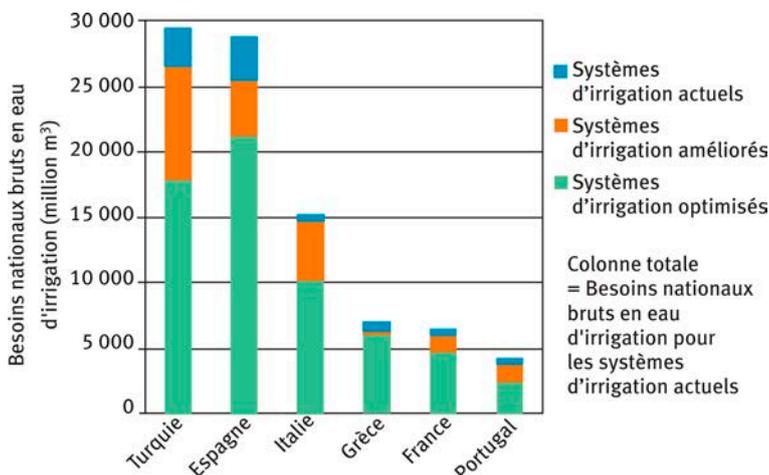
Le cas particulier de la région méditerranéenne

Fader et al. (2016) ont étudié les économies d'eau d'irrigation potentiellement réalisables grâce à des systèmes d'application et de transport plus efficaces, dans le contexte spécifique de la région méditerranéenne (figure 5). Ils ont comparé les besoins bruts en eau d'irrigation (BBEI) pour les systèmes utilisés actuellement, pour un scénario amélioré (amélioration de l'infrastructure de transport et des dispositifs d'application) et pour un scénario optimisé (transport de l'eau par canalisations combiné au goutte-à-goutte). Le BBEI est le prélèvement d'eau pour l'irrigation et est obtenu en divisant le besoin net en eau d'irrigation (BNEI) par l'efficacité globale du système. Ainsi, la différence entre BBEI et BNEI représente les pertes d'eau d'irrigation au niveau du système d'adduction et de la parcelle. Les résultats de ce travail montrent que la région méditerranéenne pourrait économiser actuellement 35 % de l'eau en améliorant nettement les systèmes d'irrigation et l'infrastructure de transport (scénario optimisé). Une amélioration mineure (scénario amélioré) pourrait entraîner une économie d'eau de 10 %. Certains pays (Turquie, Espagne) ont un potentiel d'économie plus élevé que d'autres (Grèce, France, Portugal). Les auteurs concluent que les incitations politiques en faveur des technologies économes en eau ainsi que le développement de systèmes d'adduction d'eau efficaces peuvent contribuer à réduire les prélèvements d'eau dès aujourd'hui mais aussi dans la perspective du changement climatique.

Allemagne. Diversifier les cultures : un levier pour l'adaptation au changement climatique, en plus de l'amélioration du pilotage de l'irrigation¹

En Allemagne, 373 000 ha ont été utilisés pour l'irrigation en 2010, ce qui représente 3 % de la superficie totale cultivée et 1 % de la superficie totale du pays (FAOSTAT, 2019). L'irrigation est pratiquée principalement pour assurer le rendement et le niveau de qualité. Dans les sols sableux légers des régions du nord et de l'est de l'Allemagne, la capacité de rétention en eau du sol est faible et les précipitations annuelles ne suffisent pas pour alimenter de manière optimale les céréales, les pommes de terre et les légumes. Dans le sud de l'Allemagne, les sols argileux et limoneux à forte capacité de rétention peuvent nécessiter un apport d'eau supplémentaire lorsque les précipitations sont faibles et pour les cultures plus sensibles au stress hydrique, comme les betteraves sucrières, les pommes de terre et les légumes (Drastig et al., 2016a).

5 Besoins nationaux bruts en eau d'irrigation (BBEI) dans quelques pays méditerranéens européens pour les systèmes d'irrigation actuels, les systèmes d'irrigation améliorés et les systèmes d'irrigation optimisés. Moyenne sur la période 2000-2009 (adapté de Fader et al., 2016).



1. Voir la présentation de Katrin DRASTIG ici :

<https://watersaving.sciencesconf.org/293112>

Au cours de la période 1902-2010, les précipitations annuelles moyennes ont augmenté d'environ 1 mm/an, alors que les températures annuelles ont augmenté de 0,01 °C par an. Toutefois, aucune tendance significative à la hausse ou à la baisse de la demande en eau d'irrigation modélisée (mm/an) n'a été observée (ligne bleue sur la figure 4) (Drastig *et al.*, 2016a). Simultanément, la demande volumétrique nette d'eau d'irrigation (Mm³/an) a diminué (aire bleue dans la figure 4) en raison d'un changement radical dans le choix des cultures et des superficies cultivées (moins de pommes de terre et d'avoine). Ainsi, le choix des cultures en Allemagne a eu un impact plus important sur la demande en eau d'irrigation que le changement climatique.

Au cours des dix dernières années (2008-2018), l'agriculture allemande a dû faire face à une demande relativement plus élevée en eau d'irrigation pour cinq années extrêmement sèches, ce qui a conduit à repenser les systèmes de production. Les améliorations technologiques, telles que le goutte-à-goutte de surface, le goutte-à-goutte enterré, l'irrigation de précision, les logiciels de pilotage de l'irrigation sont considérées comme des technologies innovantes permettant d'économiser l'eau. En Allemagne, six systèmes de pilotage de l'irrigation sont actuellement utilisés, mais, parmi les 13 700 agriculteurs irrigants, moins de 10% ont adopté des outils de pilotage (Baroni *et al.*, 2019). Toutefois, l'adaptation au changement climatique impliquera non seulement une amélioration des systèmes d'irrigation par le biais du pilotage, mais aussi une plus grande diversification des cultures (Drastig *et al.*, 2016b).

Des systèmes de transport et d'application plus efficaces

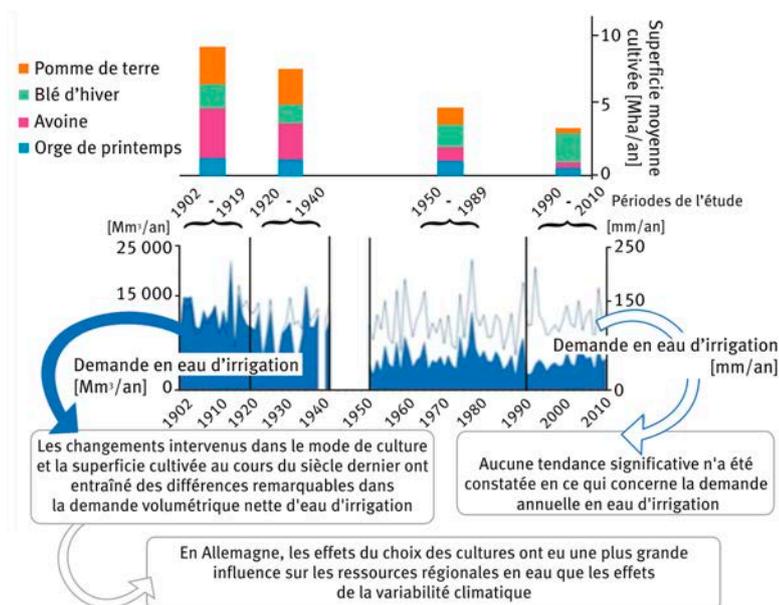
Espagne. Économies d'eau grâce à un vaste programme de modernisation de l'irrigation depuis la fin des années 1990²

L'Espagne occupe la première place dans l'Union européenne avec 3,77 Mha de surface irriguée, soit 22 % de la surface totale cultivée. L'irrigation en Espagne doit relever les défis de la rentabilité agricole, du changement climatique, du déficit en eau dans certaines régions où l'agriculture est le principal moteur de l'activité économique, des questions environnementales telles que la réduction de la pollution en nutriments, et enfin des défis sociaux tels que l'amélioration des conditions de vie et de travail des irrigants. C'est pourquoi, à la fin des années 1990, l'Espagne a lancé un gigantesque programme de modernisation des systèmes d'irrigation en améliorant les infrastructures, en mettant en œuvre de nouvelles technologies telles que l'irrigation localisée et en proposant de nouvelles méthodes de gestion de l'irrigation. 1,5 Mha ont été modernisés, grâce à près de 3 000 millions d'euros d'investissements publics. Aujourd'hui (figure 5), l'irrigation gravitaire et l'irrigation par aspersion représentent chacune près d'un quart de la surface irriguée. L'irrigation localisée représente 52 % de la surface irriguée, principalement pour les oliveraies, les vignobles, les plantations d'agrumes, les vergers et les légumes. Ce programme de modernisation a permis de réduire la consommation d'eau du secteur agricole :

en 2002, le secteur agricole représentait 80% de l'eau totale consommée en Espagne, alors qu'actuellement ce chiffre est tombé à environ 65 %. **Les économies d'eau dues à la modernisation sont estimées à 3 096 Mm³/an.**

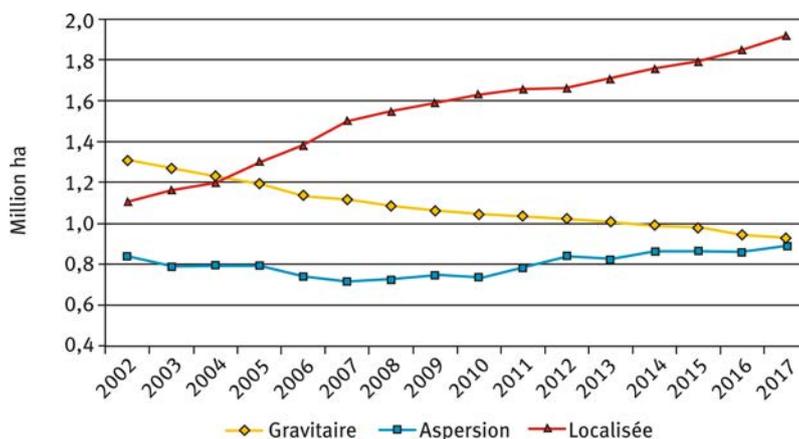
Ce processus de modernisation, qui est encore en cours, est soutenu par le programme européen de développement rural mis en œuvre par le biais de 17 différents programmes régionaux de développement rural en Espagne. Les investissements soutenus par la sous-mesure « Modernisation des infrastructures publiques d'irrigation » sont éligibles si les irrigants s'engagent à (1) inclure un système de comptage de l'eau, (2) collecter les données nécessaires aux indicateurs d'irrigation (pour faciliter l'évaluation des investissements publics), (3) déterminer les économies d'eau potentielles, qui

4 Modélisation de la demande en eau d'irrigation de l'agriculture allemande entre 1902 et 2010 (Drastig *et al.*, 2016a).



5 Évolution des systèmes d'irrigation en Espagne.

Source : ESYRCE (enquête annuelle sur les surfaces cultivées et les rendements réalisée par le ministère espagnol de l'Agriculture, de la Pêche et de l'Alimentation).



2. Voir la présentation de Inmaculada BRAVO DOMINGUEZ ici : <https://watersaving.sciencesconf.org/297731>

▶ doivent être supérieures aux valeurs seuils établies dans le cadre du développement rural national, et (4) déterminer éventuellement l'économie d'eau effective (si la masse d'eau prélevée est déclarée comme n'atteignant pas le bon état quantitatif).

Hongrie. Soutien aux systèmes d'irrigation efficients en eau par le programme de développement rural³

En Hongrie, trois opérations ont été identifiées dans le domaine de la gestion de l'eau dans le cadre du programme de développement rural : (1) investissements d'amélioration, (2) investissements visant à améliorer la rétention de l'eau ou l'efficacité de son utilisation, (3) augmentation de la surface des zones irriguées. En ce qui concerne l'amélioration de l'efficacité de l'utilisation de l'eau, le projet doit comporter des investissements visant à améliorer durablement l'utilisation de l'eau dans l'agriculture, à appliquer des systèmes d'irrigation efficients sur le plan de l'eau (et de l'énergie) et à réduire les pertes d'eau. Les éléments suivants sont soutenus :

- technologies d'irrigation efficients, amélioration de l'efficacité de l'eau dans les installations d'irrigation ; amélioration et reconstruction d'infrastructures d'irrigation efficients et d'installations connexes ;
- nouvelles installations d'irrigation, ainsi que mise en place de nouveaux services d'eau d'irrigation ;
- technologies d'irrigation à haut rendement énergétique et amélioration de l'efficacité énergétique des installations d'irrigation ;
- soutien supplémentaire pour les jeunes agriculteurs.

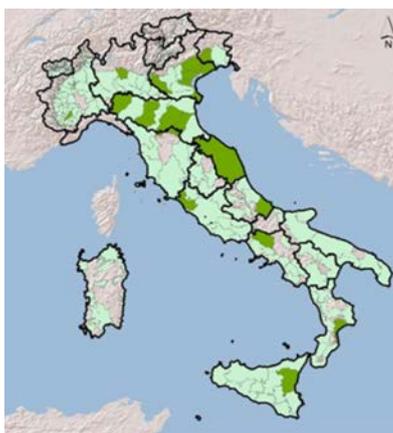
Comme exemple de projet soutenu, citons l'achat de nouveaux équipements d'irrigation, similaire au projet présenté à la figure 6. Le demandeur souhaitait renouveler son ancien système d'irrigation par un système linéaire et efficients en termes de consommation d'eau. La nouvelle machine devait couvrir la totalité des 46 ha de surface irriguée. La demande de subvention comprenait un GPS, un programmeur, des tuyaux et des compteurs d'eau. Le montant demandé était de 72 141 euros. **L'économie d'eau d'irrigation a été estimée à 20 % et l'économie d'énergie à 80 %.**

3. Voir la présentation de Attila NAGY ici : <https://watersaving.sciencesconf.org/293780>

6 Photos d'un projet similaire à celui soutenu par le programme de développement rural hongrois (source : YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=XyMfK8QK85M>)

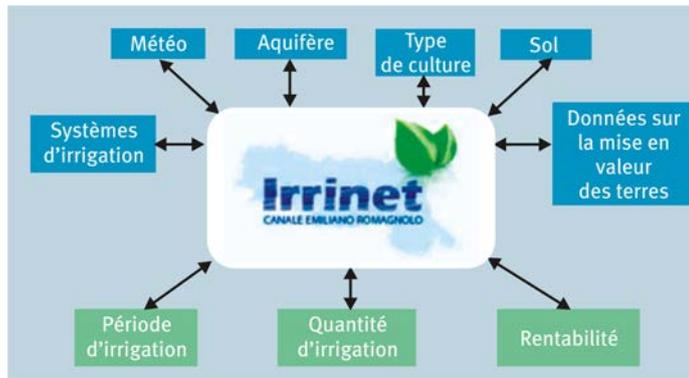


7 Entités d'irrigation ayant des projets d'investissement financés en Italie (SIGRIAN, 2019). Économies d'eau potentielles réalisables grâce à ces investissements dans les différents districts hydrographiques.



| District hydrographique | Économies d'eau potentielles réalisables grâce à des investissements/prélèvements pour l'agriculture (%) |
|----------------------------|--|
| Alpes orientales | 1,75 % |
| Fleuve Po | 0,22 % |
| Les Appennins du Nord | 19,09 % |
| Les Appennins centraux | 1,48 % |
| Les Appennins du Sud | 5,47 % |
| Sardaigne - Sicile | 6,42 % |
| Total pour l'Italie | 0,66 % |

8 Entrées et sorties du système IRRINET (source : Plateforme européenne d'adaptation au climat Climate-ADAPT, 2019b).



9 Région Emilia-Romagna en Italie (source: Wikipedia, 2020).



Italie. Amélioration des réseaux de distribution et installation de compteurs pour économiser l'eau⁴

Conformément à la politique européenne de développement rural 2014-2020, l'Italie combine un programme national de développement rural (PDR) et 21 PDR régionaux. Au niveau du PDR national, la sous-mesure 4.3 vise à économiser l'eau pour la protection de l'environnement et l'adaptation au changement climatique. Elle soutient les investissements d'irrigation collectifs et hors exploitation pour les consortiums de mise en valeur des terres (« *consorzi di bonifica* ») et les organismes publics responsables de la gestion de l'eau agricole. Au niveau des PDR régionaux, la sous-mesure 4.3 est accessible aux groupements d'exploitations agricoles; en outre, la sous-mesure 4.1 soutient les investissements dans les exploitations agricoles.

Après les procédures d'évaluation et de sélection, 35 projets ont été financés par le PDR national auprès de 19 agences d'irrigation, représentant environ 273 millions d'euros. Quarante-vingt-deux pour cent du financement ont concerné le Centre-Nord de l'Italie, en particulier le district du bassin du Pô et le district du bassin des Alpes orientales. Les principales actions financées sont liées aux investissements sur les réseaux de distribution existants et à l'installation de compteurs, et seulement de façon marginale sur les nouvelles réalisations. Elles pourraient permettre d'**économiser environ 139 millions de m³ d'eau, ce qui correspond à 0,66 % des prélèvements collectifs nationaux** (figure 9) (SIGRIAN, 2019). En 2020, grâce à des ressources financières supplémentaires, 15 autres projets ont été financés pour 14 agences d'irrigation (Fonds national de cohésion et de développement) et 16 projets pour 11 agences d'irrigation (fonds supplémentaires du PDR national), garantissant une augmentation des économies d'eau d'environ **168 millions de m³** (fonds supplémentaires du PDR national – environ 97 millions de m³; Fonds de cohésion et de développement – environ 71 millions de m³).

L'évaluation *ex ante* des économies d'eau potentielles s'est avérée limitée en raison, entre autres, de la grande variabilité des contextes d'irrigation et du manque d'homogénéité de la méthodologie utilisée pour cette évaluation. Cependant, au niveau des exploitations agricoles, certaines régions, notamment la Vénétie, proposent une méthodologie intéressante pour calculer les économies d'eau en tenant compte de l'amélioration d'efficacité des équipements. Dans tous les cas, une évaluation ex post de l'économie d'eau réellement réalisée sera possible car les bénéficiaires ont désormais l'obligation de disposer ou d'installer des compteurs, et de collecter et transmettre les volumes d'irrigation prélevés à SIGRIAN (<https://sigrian.crea.gov.it/>) dont les données sont accessibles à toutes les autorités compétentes.

Des outils de pilotage et automatisation

Italie. IRRINET - IRRIFRAME : un exemple de service de conseil en irrigation pour les économies d'eau⁵

Au cours des trente-cinq dernières années, les terres irriguées ont varié entre 2,5 et 2,9 Mha, faisant de l'Italie le deuxième pays de l'UE avec la plus grande surface irriguée après l'Espagne. Plus de 20 % de la surface agricole utilisée est irriguée. L'irrigation par aspersion couvre près de 40 % de la surface totale irriguée, la micro-irrigation représente environ 20 % et l'irrigation de surface 40 % (généralement pour le riz cultivé dans le Nord).

Le sixième recensement général de l'agriculture en Italie a estimé que les économies d'eau permises par les services de conseil en irrigation étaient d'environ 10 % (Institut national italien des statistiques, 2014). Parmi les services de conseil disponibles aujourd'hui, IRRIFRAME (anciennement IRRINET) est basé sur un modèle de bilan hydrique visant à gérer l'irrigation des cultures à l'échelle de la parcelle. La structure du modèle (figure 8) comprend le sol, avec son bilan hydrique; la plante, avec son développement; et l'atmosphère, avec son régime thermique, les précipitations et la demande évaporative.

4. Voir la présentation de Silvia BARALLA ici : <https://watersaving.sciencesconf.org/293315>

5. Voir la présentation de Graziano GHINASSI ici : <https://watersaving.sciencesconf.org/293716>

Le service web IRRINET a été développé avec un financement public par le CER (Canale Emiliano Romagnolo, un consortium de l'eau situé dans la région d'Emilie-Romagne) depuis 1999. L'Association nationale des consortiums de mise en valeur des terres (ANBI) a développé IRRIFRAME, un service informatique similaire sur le modèle d'IRRINET.

Le service IRRINET concerne actuellement plus de 12 000 exploitations, couvrant près de 22 % de la surface irriguée de la région Emilie-Romagne (figure 9). Au cours de la saison d'irrigation 2017, 28 500 SMS IRRINET ont été envoyés et 147 000 programmations d'irrigation ont été produites. **On estime que l'application IRRINET a permis en 2017 une économie d'eau annuelle d'environ 90 Mm³, ce qui correspond à 20 % de la demande agricole totale de la région d'Émilie-Romagne, sans diminuer les rendements** (Plateforme européenne d'adaptation au changement climatique Climate-ADAPT, 2019a).

Ile de la Réunion. Mise en place d'outils de télégestion pour économiser l'eau d'irrigation dans un contexte pédoclimatique particulier⁶

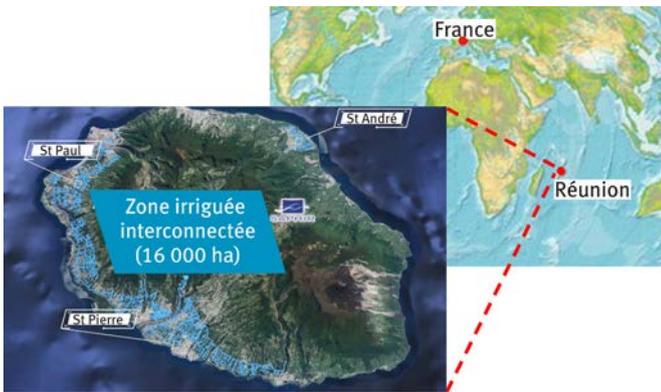
La Réunion est un département français d'outre-mer situé dans l'océan Indien. Principalement concentrée le long du littoral, la superficie totale cultivée est de 43 000 ha, soit moins de 20 % de la surface totale de l'île. Environ 16 000 ha sont irrigués (figure 10). La canne à sucre représente la principale activité économique industrielle et couvre 57 % de la surface cultivée. Sauf dans les montagnes, où la pluviométrie est suffisante, les champs de canne à sucre sont irrigués, soit par aspersion en couverture intégrale, soit en goutte à goutte enterré. Pour les légumes et les fruits, les principaux systèmes d'irrigation sont le goutte-à-goutte et la micro-aspersion.

Plusieurs obstacles entravent le développement d'une irrigation optimisée. Une ressource en eau suffisante, la sécurisation grâce à l'interconnexion des réseaux hydro-agricoles, ainsi que le faible prix de l'eau d'irrigation ne favorisent pas les économies d'eau. Le débit à l'entrée des parcelles contraint souvent à irriguer pendant la journée, avec une forte évapotranspiration. De plus, la grande variabilité des microclimats fait qu'il est difficile pour les irrigants de connaître exactement le besoin en eau de leurs cultures. De nombreux outils performants pour la programmation de l'irrigation sont aujourd'hui disponibles, mais très peu sont utilisés en raison du manque de formation ou de volonté des irrigants.

Face à ces défis, des solutions variées sont mises en œuvre pour favoriser les économies d'eau : amélioration et modernisation du matériel d'irrigation au niveau des parcelles, promotion de l'irrigation au goutte-à-goutte enterré dans les parcelles de canne à sucre appropriées, développement de l'automatisation, conseil individuel aux irrigants, formation aux méthodes et outils de pilotage de l'irrigation, subventions publiques telles que le FEADER. Ainsi, la SAPHIR (Société d'aménagement des périmètres hydro-agricoles de la Réunion) déploie des outils pour automatiser le contrôle à distance de l'irrigation. Fin 2019, une trentaine de contrôleurs ont été installés (figure 11). Ils permettent de réaliser des progrès significatifs dans le suivi et la collecte des volumes d'irrigation appliqués, de fournir un service de conseil direct à l'irrigation, de réagir immédiatement en cas de dysfonctionnement. Cependant, la mise en œuvre de ces solutions peut s'avérer difficile dans les très grandes parcelles ou dans les parcelles sans alimentation électrique. Jusqu'à présent, ces dispositifs ne tiennent pas compte des données météorologiques.

6. Voir la présentation de Stéphane GUILLOT ici : <https://watersaving.sciencesconf.org/294525>

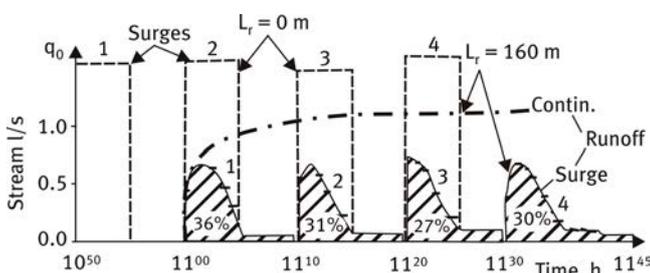
10 Superficie irriguée à La Réunion (source : SAPHIR).



11 Contrôleur d'irrigation pour automatiser l'irrigation à distance (photo : SAPHIR).



12 Irrigation par vagues : lames d'eau délivrées en tête de raie et ruissellement en fin de raie. Le ruissellement sous irrigation continue traditionnelle est représenté par la ligne pointillée (Varlev et al., 1998).



Des pratiques d'irrigation innovantes

Bulgarie. L'irrigation par vagues intermittentes au lieu de l'irrigation traditionnelle à la raie pour des économies d'eau consistantes⁷

L'irrigation a été l'une des politiques clés pour augmenter la productivité agricole sous le régime soviétique. Compte tenu de l'augmentation de productivité liée à l'irrigation dans les régions continentales à étés chauds et secs, l'extension des zones irriguées constituait un objectif important (Dwyer *et al.*, 2000). En Bulgarie, l'irrigation permet une augmentation de la productivité des cultures de 1,6 à 2,1 fois le rendement des cultures pluviales (Popova, 2012). En outre, l'irrigation atténue la variabilité des rendements au cours des différentes années climatiques, ce qui est une condition préalable à un développement économique stable et sans risque (Popova *et al.*, 2014). Le pourcentage de terres irriguées est passé de 14% de la surface agricole en 1960 à 27% en 1989 (Dwyer *et al.*, 2000). En 1990, 700 000 ha étaient irrigués (Varlev, 2012). Au début des années 1990 a débuté la période de transition d'une économie planifiée centrale à une économie de marché, accompagnée de graves difficultés économiques. L'agriculture irriguée a été confrontée à une crise profonde avec une diminution de la production agricole, une détérioration des infrastructures d'irrigation et de drainage dans les exploitations, ainsi qu'un effondrement des marchés (Zhovtonog *et al.*, 2005). Au cours des trente dernières années, 800 stations de pompage ont été démolies, tandis que 80 sont restées pour l'irrigation. Actuellement, seulement 30 000 ha sont encore irrigués (Varlev, 2012). La relation traditionnelle entre la science et la pratique a été perdue, ainsi qu'une partie considérable des connaissances acquises sur l'irrigation et de l'expérience.

En raison de la grande capacité de rétention en eau des sols et des pentes de terrain appropriées (de 0,3 à 3%), l'irrigation à la raie est particulièrement bien adaptée aux conditions bulgares. L'irrigation à la raie a fait l'objet d'études scientifiques détaillées au cours de la période 1970-2000 (Popova et Kuncheva, 1996 ; Varlev *et al.*, 1998). L'uniformité de la distribution de l'eau et l'efficacité de l'application, l'érosion du sol et le lessivage de l'azote vers les eaux souterraines ont été étudiés dans plusieurs régions. En conséquence, des technologies originales améliorées, économes en eau et respectueuses de l'environnement ont été développées et mises en pratique pour l'irrigation à la raie et la fertilisation, comme : l'irrigation « par vagues », l'irrigation « à la raie alternée » avec fertilisation dans des « sillons secs » et autres (Varlev *et al.*, 1998 ; figure 12 ; Varlev, 2011 ; Popova, 2016).

Lors de l'irrigation traditionnelle (continue) à la raie, des pertes d'eau importantes ont lieu par ruissellement et drainage profond (Varlev, 2011). Une alternative à l'irrigation à la raie traditionnelle est l'irrigation par vagues, définie comme des cycles marche/arrêt de la lame d'eau en tête de raie. L'avancement de la lame comporte deux étapes. Au cours de la première étape (phase d'avancement de la lame), l'irrigation par vagues, par rapport à l'irrigation traditionnelle à la raie, permet d'économiser 20 à 30% de l'eau fournie grâce à une meilleure uniformité d'avance-

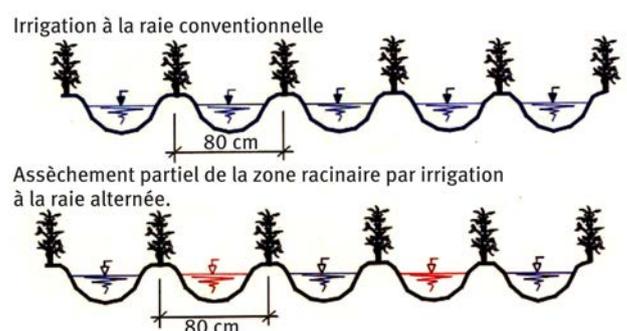
ment de la lame. Au cours de la deuxième étape (phase de post-avancement), l'irrigation par vagues réduit les pertes par ruissellement et permet d'économiser 10 à 15% d'eau. En combinant les deux phases, les économies d'eau réalisées grâce à l'irrigation par vagues s'élèvent à 30 à 45% par rapport à l'irrigation à la raie en continu (Varlev *et al.*, 1998 ; Varlev *et al.*, 2011).

Turquie. L'assèchement partiel de la zone racinaire (Partial Root Drying, PRD) : une technique d'irrigation durable pour une utilisation efficiente de l'eau et pour des économies d'eau sans baisse de rendement⁸

En Turquie, 65% de la surface agricole totale est irriguée par irrigation de surface, 19% par aspersion (cultures de plein champ telles la betterave, la pomme de terre et l'arachide) et 16% par goutte-à-goutte (vergers, vignobles, légumes et serres). Un effort concerté est fait par l'État pour équiper les nouvelles installations d'irrigation de technologies modernes telles les canalisations fermées pour le transport de l'eau au lieu des canaux ouverts, et les méthodes de micro-irrigation économes en eau plutôt que l'irrigation de surface (irrigation à la raie ou par submersion).

Le projet IRRISPLIT, financé par la Commission européenne (ICA3-CT-1999-00008), visait à évaluer les effets du PRD (assèchement partiel de la zone racinaire) sur la croissance végétative et la production de cultures fruitières dans la région méditerranéenne. La pratique du PRD consiste à mouiller une moitié de la zone d'enracinement et à laisser l'autre moitié sèche, ce qui permet d'utiliser une quantité réduite d'eau d'irrigation. Les côtés mouillés et secs sont intervertis lors des irrigations successives (figure 13). Le PRD peut être réalisé avec une irrigation alternée à la raie ou au goutte-à-goutte. Elle est adoptée et pratiquée par certains agriculteurs de la région égéenne en Turquie, en particulier dans les champs de maïs et de coton irrigués à partir de ressources en eau souterraine et/ou dans les zones où l'eau est rare. Le PRD (par raie alternative) double presque l'efficacité de l'utilisation de l'eau sans réduction significative du rendement du coton (Kirda *et al.*, 2007a).

13 Principe de la pratique de l'assèchement partiel de la zone racinaire (Partial Root Drying, PRD) par irrigation à la raie alternée. Une moitié de la zone racinaire est mouillée et l'autre moitié est laissée sèche. Les côtés mouillés et secs sont intervertis lors des irrigations successives (illustré par Topcu).



7. Voir la présentation de Zornitsa POPOVA ici : <https://watersaving.sciencesconf.org/291861>

8. Voir la présentation de Sevilyay TOPÇU ici : <https://watersaving.sciencesconf.org/297729>

► Topcu *et al.* (2007) ont montré que **la pratique du PRD peut économiser jusqu'à 50 % de l'eau d'irrigation sans réduction significative du rendement des tomates cultivées en serre** sous irrigation au goutte à goutte. La teneur plus élevée en ABA (acide abscissique) dans les tissus foliaires en PRD indique que l'ABA est un moyen important de signalisation chimique qui régule le contrôle des stomates et permet aux plantes d'utiliser une eau peu abondante.

Pour la mandarine, la réduction du rendement en fruits avec le PRD n'a été que marginale et non significative par rapport à l'irrigation traditionnelle sur deux saisons (Kirda *et al.*, 2007b). Cependant, l'efficacité de l'utilisation de l'eau d'irrigation (IWUE, en $\text{kg ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$) a été multipliée par près de trois. Les résultats suggèrent que des économies d'eau d'irrigation pouvant atteindre 70%, par rapport à la pratique traditionnelle, sont réalisables pour les fruits grâce à la pratique du PRD.

Plantation d'orangers irriguées par un système goutte à goutte à Antalya (Turquie).



© batuhan toker - Adobe Stock

Ces exemples divers et variés montrent que de nombreuses tentatives sont réalisées pour économiser l'eau, aussi bien dans les pays ayant une longue histoire d'irrigation que dans les pays où un besoin d'irrigation est apparu récemment. À l'échelle de l'Union européenne, les économies d'eau sont possibles grâce à l'amélioration de l'efficacité globale de l'irrigation, en combinant des technologies (infrastructures, systèmes d'application, outils de pilotage) et des pratiques plus performantes. ■

Les auteurs

Claire SERRA-WITTLING

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

Silvia BARALLA

Conseil pour la recherche et l'économie agricoles (CREA), Centre de recherche pour les politiques agricoles et la bioéconomie, Via Po, 14 00198 Rome, Italie.

✉ silvia.baralla@crea.gov.it

Inmaculada BRAVO DOMINGUEZ

Ministère de l'agriculture, de la pêche et de l'alimentation de l'Espagne, Direction générale du développement rural, de l'innovation et de la formation agroalimentaire, Unité irrigation et infrastructures rurales, Gran Vía de San Francisco, 4-6, 3ª planta, 28005 Madrid, Espagne.

✉ ibravo@mapa.es

Katrin DRASTIG

Institut Leibniz pour l'ingénierie agricole et la bioéconomie (ATB), équipe de recherche « AgroHyd », département 2, « Évaluation des technologies et cycles de vie », Max-Eyth-Allee 100, 14469 Potsdam, Allemagne.

✉ kdrastig@atb-potsdam.de

Graziano GHINASSI

Département des sciences et technologies agricoles, environnementales, alimentaires et forestières (DAGRI), Université de Florence, Via San Bonaventura 13, 50145 Firenze, Italie.

✉ graziano.ghinassi@unifi.it

Stéphane GUILLOT

SAPHIR (Société d'Aménagement des Périmètres Hydroagricoles de l'île de la Réunion), 4 route ligne Paradis, 97454 Saint-Pierre, La Réunion, France.

✉ s.guillot@saphir.re

Attila NAGY and Viktor NAGY

Ministère de l'Agriculture, Kossuth Tér 11, 1055 Budapest, Hongrie.

✉ attila.nagy2@me.gov.hu

✉ viktor.nagy@am.gov.hu

Zornitsa POPOVA

Institut N. Poushkarov de science du sol, agrotechnologie et protection des plantes, Département de physique, érosion et biote du sol, 7, Shosse Bankya Str, Sofia 1331, Bulgarie.

✉ zornitsa_popova@abv.bg

Sevilay TOPÇU

(Professeur émérite) Université de Çukurova, Faculté d'agriculture, Département des structures agricoles et de l'irrigation, 01330 Saricam-Adana, Turquie.

✉ stopcu@cu.edu.tr

EN SAVOIR PLUS...

- BARONI, G., DRASTIG, K., LICHTENFELD, A.-U., JOST, L., CLAAS, P., 2019, Assessment of Irrigation Scheduling Systems in Germany: Survey of the Users and Comparative Study, *Irrigation and drainage*, vol. 68, p. 520-530, <https://doi.org/10.1002/ird.2337>
- DRASTIG, K., PROCHNOW, A., LIBRA, J., KOCH, H., ROLINSKI, S., 2016a, Irrigation water demand of selected agricultural crops in Germany between 1902 and 2010, *Science of the Total Environment*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.06.206>
- DRASTIG, K., LIBRA, J., KRAATZ, S., KOCH, H., 2016b, Relationship between irrigation water demand and yield of selected crops in Germany between 1902 and 2010: a modeling study, *Environmental Earth Sciences*, vol. 75, 1427.
- DWYER, J., 2000, *The environmental impacts of irrigation in the European Union*, A report of the Environment Directorate of the European Commission, 147 p.
- EUROPEAN CLIMATE ADAPTATION PLATFORM CLIMATE-ADAPT, 2019a, *IRRINET: IT irrigation system for agricultural water management in Emilia-Romagna, Italy*, <https://climate-adapt.eea.europa.eu/metadata/case-studies/irrinet-it-irrigation-system-for-agricultural-water-management-in-emilia-romagna-italy>
- EUROPEAN CLIMATE ADAPTATION PLATFORM CLIMATE-ADAPT, 2019b, *Input and output of the IRRINET system*, https://climate-adapt.eea.europa.eu/metadata/case-studies/irrinet-it-irrigation-system-for-agricultural-water-management-in-emilia-romagna-italy/irrinet_figure-3.png/view
- EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY, 2009, *Water resources across Europe – Confronting water scarcity and drought*, EEA Report, EEA, Copenhagen, Denmark, p. 55.
- EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY, 2016, *Crop water demand*, <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/water-requirement-2/assessment>
- EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY, 2019, *The development of water abstraction since the 1990s*, https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/water-abstractions-for-irrigation-manufacturing-3#tab-chart_1
- FADER, M., SHI, S., VON BLOH, W., BONDEAU, A., CRAMER, W., 2016, Mediterranean irrigation under climate change: more efficient irrigation needed to compensate for increases in irrigation water requirements, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, vol. 20, p. 953-973.
- FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2015, *FAO Statistical Pocket Book*, World, food and agriculture, Rome.
- FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2016, AQUASTAT website, http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries_regions/profile_segments/EuropeEastern-IrrDr_eng.stm
- FAOSTAT, 2019, <http://www.fao.org/nr/aquastat/>
- GLEICK, P.H., 2014, *The World's Water. The Biennial Report on Freshwater Resources*, vol. 8, Island Press Washington, DC.
- KIRDA, C., TOPCU, S., CETIN, M., DASGAN, H.Y., KAMAN, H., TOPALOGLU, F., DERICI, M.R., EKICI, B., 2007a, Prospects of partial root zone irrigation for increasing irrigation water use efficiency of major crops in the Mediterranean region, *Ann Appl Biol*, vol. 150, p. 281-291.
- KIRDA, C., TOPALOGLU, F., TOPCU, S., KAMAN, H., 2007b, Mandarin yield response to partial root drying and conventional deficit irrigation, *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, vol. 31, p. 1-10.
- POPOVA Z., KUNCHEVA R., 1996, Modeling in Water Losses Evaluation for Nonhomogeneous Furrow Set. American Society of Civil Engineering (ASCE), *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, vol. 22 (1), p. 1-6.
- POPOVA, Z., 2012, Drought vulnerability and irrigation demand assessed through model simulations, in: POPOVA, Z. (ed.), *"Risk Assessment of Drought in Agriculture and Irrigation Management through Simulation models"*, Part III. Vulnerability of agriculture to drought, p. 120-140, published by N.Pushkarov ISSAPP (in Bg with extended Résumé and figures' titles in En), 242 p.
- POPOVA, Z., IVANOVA, M., MARTINS, D., PEREIRA, L.S., DONEVA, K., ALEXANDROV, V., KERCHEVA, M., 2014, Vulnerability of Bulgarian agriculture to drought and climate variability with focus on rainfed maize systems, *Natural Hazards*, vol. 74 (2), p. 865-886, <https://link.springer.com/article/10.1007/s11069-014-1215-33>
- POPOVA, Z., 2016, Risk assessment of non-uniformity in irrigation and fertilization under climate uncertainties in the Sofia Field, *Bulgarian Journal of Soil Science BJSS*, Year 1: Issue 2, p. 170-186, <http://www.bsss.bg/journal.html>
- 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>
- SIGRIAN, 2019, *Beneficiaries NRDP- Sub measure 4.3*, <https://sigrian.crea.gov.it/index.php/en/home-3/>
- TOPCU, S., KIRDA, C., DASGAN, Y., KAMAN, H., CETIN, M., YAZICI, A., BACON, M.A., 2007, Yield response and N-fertiliser recovery of tomato grown under deficit irrigation, *Europ. J. Agronomy*, vol. 26, p. 64-70.
- VARLEV, I., POPOVA, Z., GOSPODINOV, I., 1998, Furrow surge irrigations as a water saving technique, in: PEREIRA, L.S., GOWING, J., eds, *"Water and the Environment: Innovation Issues in Irrigation and Drainage"*, E & FN Spon, New York, <https://bit.ly/3iA8H0l>
- VARLEV, I., 2011, *Surge and Traditional furrow irrigation. A Practical Guide*, SSA, 44 p.
- VARLEV, I., 2012, State of irrigation in Bulgaria in 2011 and measures to overcome the crises, in: POPOVA, Z. (ed.), *"Risk Assessment of Drought in Agriculture and Irrigation Management through Simulation models"*, Part II Development of Irrigation Scheduling System for precise Irrigation, p. 40-50.
- ZHOVTONOG, O., DIRKSEN, W., ROEST, K., 2005, Comparative assessment of irrigation sector reforms in Central and Eastern European countries of transition, *Irrigation and Drainage*, vol. 54, p. 487-500.