

Décembre 2017
volume n°7 / numéro n°2
www.agronomie.asso.fr

Agronomie

environnement & sociétés

La revue de l'association française d'agronomie



Les ateliers Terrain,
Pour une démarche participative
en agronomie clinique

ASSOCIATION FRANÇAISE
D'AGRONOMIE

Enjeux et défis de l'irrigation et du drainage agricole en France : points de vue de l'Association Française pour l'Eau, l'Irrigation et le Drainage (AFEID)

S. BOUARFA - G. BELAUD - A. BOUTHIER
F. BRELLE - C. COULON - S. GENDRE
J.Y. GROSCLAUDE - B. LACROIX - B. MOLLE
D. ROLLIN - J. TOURNEBIZE
C. SERRA WITTLING - B. VINCENT

Contact auteurs : sami.bouarfa@irstea.fr

Introduction

L'irrigation et le drainage sont des pratiques anciennes. Depuis l'antiquité, agriculteurs, techniciens et ingénieurs ont développé des techniques destinées à adapter l'agriculture aux aléas climatiques en maîtrisant l'eau, par son stockage, son acheminement et l'arrosage des cultures lorsqu'elle est déficitaire, par son évacuation rapide hors du champ et hors du bassin versant lorsqu'elle est en excès. Ces techniques d'irrigation, d'une part, de drainage et d'assainissement (que l'on rassemblera dans le terme unique de drainage dans la suite du texte), d'autre part, se sont répandues à travers le monde et dans une grande partie du paysage agricole français où elles ont permis de sécuriser les rendements agricoles et d'implanter de nouvelles cultures là où les conditions naturelles ne l'autorisaient pas.

Indispensable dans certaines régions du monde, l'irrigation présente une productivité trois fois supérieure à l'agriculture pluviale. Présente sur 16 % des terres cultivées, soit environ 320 millions d'hectares, elle assure en effet 44 % de la production mondiale (HLPE, 2015 ; FAO AQUASTAT, 2016, Jamin et al., 2011). Cette performance est due pour une bonne part à l'assurance que procure l'irrigation face à l'aléa de sécheresse, qui a toujours existé mais qui croît avec le changement climatique. Cette évolution explique le regain d'intérêt pour l'irrigation, partout dans le monde, face à l'immense défi de nourrir plus de 9 milliards d'humains à l'horizon 2050, sur une planète dont les ressources en eau, en terre et en énergie sont finies.

En France, la superficie des terres agricoles aménagées en irrigation et en drainage s'est stabilisée après un fort développement jusqu'aux années 1990 pour le drainage et jusqu'aux années 2000 pour l'irrigation. Elle avoisine aujourd'hui 2,9 millions d'hectares de surfaces équipées en réseaux de drainage et 2,4 millions d'ha de surfaces équ-

pées pour l'irrigation. Ces dernières ont même décliné entre les deux Recensements Agricoles de 2000 et 2010 (AGRESTE 2012 ; Loubier et al., 2013). Aujourd'hui le monde agricole est confronté à un débat sociétal sur le bien-fondé du principe d'irriguer et de drainer les terres. Ces techniques sont accusées d'être indissociables d'une intensification agricole jugée prédatrice des ressources en eau et en terre, polluantes et perturbant les cycles naturels. Le nouveau défi de l'agriculture et des techniques associées est de répondre d'un côté aux enjeux alimentaires et de l'autre aux contraintes réglementaires environnementales sur la ressource en eau et la qualité des milieux aquatiques imposées par la Directive Cadre Européenne sur l'eau de 2000¹. Ces contraintes sont aussi un moyen de stimuler l'innovation et d'évoluer vers une cohabitation saine entre production agricole et environnement préservé dans les territoires.

Association à but non lucratif créée en 1952, l'Association Française pour l'Eau l'Irrigation et le Drainage (AFEID) est le comité français de la Commission Internationale des Irrigations et du Drainage (CIID) et participe à ses travaux au sein de groupes de travail, aux conférences annuelles, et contribue aux publications de la revue de la CIID *Irrigation and Drainage*. L'AFEID regroupe l'expertise française sur les questions d'eau pour l'alimentation et le développement des territoires ruraux. Ses membres sont des experts adhérents à titre individuel et des organisations : profession agricole, sociétés d'aménagement régional, organismes de recherche, agences de l'eau, bureaux d'études, associations, fondations, dont cinq membres fondateurs : ARVALIS - Institut du végétal, le Bas-Rhône Languedoc (BRL), la Compagnie d'Aménagement des Coteaux de Gascogne (CACG), l'Institut National de Recherche en Sciences et Technologies pour l'Environnement et l'Agriculture (IRSTEA) et la Société du Canal de Provence (SCP).

L'AFEID est un lieu d'échanges sur les questions de gestion de l'eau pour l'agriculture qui font controverse à l'échelle française et internationale. Elle contribue aux débats par l'organisation régulière de rencontres régionales ou nationales et de conférences internationales. La conférence internationale « *Innovover pour améliorer les performances de l'irrigation* », réunissant plus de 800 participants provenant de 65 pays² s'est tenue à Montpellier en octobre 2015 dans le cadre du cycle annuel des conférences de la CIID. Cette conférence est illustrative des sujets et des positions de l'AFEID sur les questions d'irrigation et de drainage. Cet article présente les sujets traités au sein de cette manifestation : la révolution technique du goutte à goutte, la réutilisation des eaux usées en agriculture, les liens entre irrigation et énergie, le drainage agricole et le génie écologique. Elle met l'accent sur leurs déclinaisons spécifiques en France, après une introduction de leurs enjeux internationaux. Si ces sujets sont d'abord de nature technique, ils soulèvent aussi des aspects économiques, sociaux, politiques et de gouvernance qui concluent l'article.

¹ European Union, Water framework directive (2000/60/CE), EU Off. J. (OJ L 327) (22 December, 2000)

² <https://icid2015.sciencesconf.org/>

Le goutte à goutte : un levier technique pour économiser l'eau en agriculture ?

Les systèmes d'irrigation localisée, principalement le « goutte à goutte », se propagent actuellement très rapidement au niveau mondial, encouragés par des incitations des gouvernements à « économiser l'eau » via des subventions publiques aux agriculteurs, souvent dans le cadre de vastes programmes de modernisation, mais aussi par le fait d'investissements privés des agriculteurs (Venot *et al.*, 2017). A titre d'exemple, le Maroc a lancé un grand programme de subvention et de modernisation des grands périmètres publics pour la conversion de plus de 450 000 ha de surfaces irriguées par les techniques d'irrigation de surface traditionnelles vers l'irrigation localisée. Aujourd'hui ces techniques demeurent cependant relativement marginales aussi bien à l'échelle internationale (3% des surfaces irriguées) qu'en France (6% des surfaces irriguées essentiellement pour l'arboriculture, y compris la vigne, où elle est autorisée en AOP, et le maraichage) (AGRESTE, 2008 ; FAO AQUASTAT, 2016 ; Arvalis 2017). Tandis qu'à l'échelle mondiale l'irrigation de surface reste très largement majoritaire couvrant environ 86% des superficies irriguées (les 11% restant étant couverts par l'irrigation par aspersion), la France se distingue avec 91% des surfaces couvertes par l'irrigation par aspersion (canons à enrouleurs, rampes pivotantes, rampes frontales, couverture intégrale) et 3% des surfaces irriguées par l'irrigation de surface.

En apportant l'eau au plus près de la plante la technique du goutte à goutte offre un grand potentiel d'économie d'eau. L'efficacité d'application (rapport entre les quantités d'eau atteignant le sol et celles sortant du matériel d'irrigation) mesurée en conditions contrôlées est d'au moins 90%. Elle permet par ailleurs d'associer apport d'eau et apport d'engrais sous forme soluble (fertigation), ce qui maximise leur assimilation par les plantes et réduit les quantités rejetées dans le milieu naturel. Cette technique requiert également une pression plus basse que les techniques par aspersion (sprinkler ou pivot) ce qui peut réduire sa consommation énergétique. Elle permet d'irriguer même en journées ventées. En outre, une fois en place sur la parcelle, l'irrigation au goutte à goutte est peu exigeante en temps de travail pour l'agriculteur irrigant. Il est possible d'automatiser le système afin de réduire encore le temps de travail alloué à l'irrigation (programmation automatique, à distance ou asservie à des logiciels de pilotage, sans toutefois négliger un temps minimal de surveillance de l'irrigation). Enfin, les cultures irriguées au goutte à goutte présentent souvent un meilleur état sanitaire, le feuillage moins humide limitant le développement de maladies cryptogamiques.

Une évaluation des économies d'eau réalisables à la parcelle via la modernisation des systèmes d'irrigation a été conduite sur le territoire français métropolitain à partir de références de consommation d'eau à la parcelle et de modélisation de l'évapotranspiration (Serra Wittling et Molle, 2017). Elle a permis de déterminer la nature des pertes en eau d'irrigation pour différents systèmes et de les quantifier. Elle a mis en évidence que des économies d'eau substantielles

peuvent être réalisées grâce à un changement de système d'irrigation (par exemple le passage du canon enrouleur vers le goutte à goutte) mais également grâce à l'amélioration de la conduite de l'irrigation en vue d'une diminution du drainage et de l'eau résiduelle dans le sol après récolte. Ainsi, sur les cas étudiés, l'efficacité globale d'irrigation (supplément de transpiration de la culture/eau d'irrigation appliquée à la culture) est généralement comprise entre 50 et 65%. Elle pourrait être augmentée de 15 à 20% par le seul changement de système et d'autant par l'optimisation du pilotage de l'irrigation.

Plusieurs facteurs limitent cependant le déploiement du goutte à goutte en grandes cultures. Il se heurte tout d'abord au coût nettement plus élevé de cette technique par rapport à l'aspersion (Lacroix *et al.*, 2015). La technique présente d'autre part des contraintes de pose et de dépose de gaines disposées à la surface du sol, en lien avec les travaux culturaux tel le désherbage mécanique. Le goutte à goutte enterré permet de résoudre ce problème, tout en diminuant un peu plus les pertes d'eau par évaporation du sol et en limitant la concurrence avec les adventices. Il est cependant mal adapté à certains sols, comme par exemple les sols de Groies en Poitou-Charentes caractérisés par une faible réserve utile et une forte perméabilité (Bouthier *et al.*, 2016), Il apparaît également vulnérable dans des systèmes de culture générateurs de compactations de sol du fait de passages d'engins lourds sur sol humide et ne résout pas les problèmes de coût. Par ailleurs, les systèmes de goutte à goutte sont particulièrement sensibles à la qualité de l'eau et au colmatage (intrusion racinaire, dépôt de particules ou précipitation chimique) et nécessitent de ce fait une maintenance accrue.

Afin de favoriser les économies d'eau, il apparaît donc important de soutenir, parallèlement aux investissements de matériels économes en eau, les améliorations du pilotage de l'irrigation via les capteurs et les outils numériques. L'innovation doit également être accompagnée au niveau institutionnel et organisationnel pour que les conditions d'appropriation et d'usage aillent dans le sens attendu. A titre d'exemple, dans les pays méditerranéens du nord et du sud (Espagne, Italie, Maghreb,...) qui ont fait la promotion des techniques de goutte à goutte pour économiser l'eau d'irrigation subventionnant le matériel, on constate des effets rebonds sur le terrain. Ainsi, la diffusion du goutte à goutte peut conduire à une hausse des superficies irriguées car elle libère du temps de travail pour les agriculteurs pour lesquels, de manière générale, la performance technique n'était pas la motivation principale (Benouniche *et al.*, 2014 ; Berbel et Mateos, 2014 ; Laib *et al.*, 2018). Bien qu'optimisant la productivité de l'eau à la parcelle, la diffusion du goutte à goutte a ainsi pu conduire à augmenter les prélèvements d'eau à l'échelle des bassins, par la hausse de la superficie irriguée.

Quel potentiel pour les eaux usées en agriculture ?

Les objectifs du développement durable insistent sur le lien à établir entre l'eau des villes et l'eau des champs par

l'intermédiaire du traitement et de la réutilisation des eaux usées (ODD N°6). La FAO évoque le chiffre de 173 milliards de m³ d'eaux usées traitées chaque année par les stations d'épuration, dont la moitié pourrait être réutilisée, ce qui correspondrait à 10% environ des volumes d'eau consommés en irrigation à l'échelle mondiale. Concernant les eaux usées non ou faiblement traitées, le potentiel est proche de 600 milliards de m³ (UN WATER, 2017). Actuellement, sur 320 millions d'ha équipés pour irriguer, 35 millions reçoivent des eaux usées, dont l'essentiel, soit 30 millions d'ha, faiblement ou pas traitées (Ecofilae, 2017). En particulier, le développement de l'agriculture péri-urbaine est souvent basé sur une utilisation croissante des eaux usées non traitées. L'usage actuel de ces eaux non traitées entraîne des risques sur la santé et l'environnement.

Si la France a développé de longue date une politique de traitement des eaux, la réutilisation de ces eaux usées y est très peu développée car elles sont utilisées pour soutenir les étiages des cours d'eau et des normes de qualité d'eau particulièrement strictes leur sont appliquées (CVT Allenvi, 2016 ; Molle et al., 2012). Parmi nos voisins européens, l'Espagne et l'Italie ont recours beaucoup plus massivement à cette solution. La réutilisation est d'abord agricole, souvent municipale (terrains de sports, espaces verts, zones humides) mais la recharge de nappe ou toute autre forme de stockage est aussi largement pratiquée pour utilisation en période de pénurie.

Le contexte est en cours d'évolution et autorise davantage d'expérimentations locales. A titre d'exemple l'agence de l'eau Rhône Méditerranée et Corse cofinance, avec les instituts de recherche et le secteur privé, un important programme de recherche et développement sur la réutilisation des eaux usées traitées, concernant aussi bien les procédés de traitements adaptés, que les multiples conditions de leurs usages (agriculture, municipalités, terrains de golfs..) (Beraud, 2015). Les questions actuelles concernent principalement (i) les pratiques agricoles et les matériels d'irrigation adaptés à la réutilisation, (ii) l'évaluation des conditions de la rentabilité des projets incluant les aspects non financiers, (iii) la perception sociale de la réutilisation, et (iv) les conditions institutionnelles de leur succès (Declercq et al., 2015). Les défis en matière de traitement concernent notamment le développement de procédés semi-intensifs pouvant être mis en œuvre à des échelles de petites collectivités rurales, à des coûts abordables, mais aussi la préservation et la valorisation des ressources en nutriments de ces eaux, sans perte de sécurité, dans une logique d'économie circulaire.

Limiter la consommation énergétique des systèmes irrigués

Comparés aux systèmes d'irrigation de surface qui fonctionnent avec l'énergie propre de l'eau, les systèmes modernes requièrent un complément d'énergie si la topographie n'est pas favorable. L'empreinte énergétique de l'irrigation et la part de l'énergie dans les charges d'exploitation augmentent constamment, de plus en plus d'agriculteurs et d'associations d'usagers de l'eau sont engagés dans des

recherches et des négociations actives pour réduire leur facture d'énergie (Belaud et al., 2018).

La première condition est de bien diagnostiquer les pertes énergétiques et donc les gains possibles (Gendre et al., 2015). Les mesures spécifiques d'économie d'énergie comprennent (i) l'optimisation de la conception et du fonctionnement des stations de pompage pour minimiser les investissements et les coûts énergétiques, (ii) l'identification et la rectification des points du réseau où les pertes de charge sont anormalement élevées et par conséquent responsables de surconsommation énergétique, (iii) la sectorisation des réseaux pour la rotation de l'eau par groupes de prises d'eau, selon la demande en énergie, ce qui permet d'utiliser des pompes de plus faible puissance. Les gains d'efficacité hydraulique sur les réseaux permettent également d'éviter le coût du pompage des volumes perdus. Pour aller plus loin, des solutions sont testées dès la conception des réseaux pour limiter au maximum la pression de service et utiliser des techniques telles que l'aspersion à pression réduite.

Une seconde voie possible pour limiter le poids de l'énergie dans les charges d'exploitation, tout en contribuant à la transition énergétique, consiste à produire de l'énergie à l'échelle de l'exploitation et des réseaux collectifs. L'énergie hydraulique, l'énergie solaire, éventuellement couplée à des productions agricoles pouvant bénéficier de l'ombrage, la géo-énergie, la bioénergie, l'optimisation du stockage de l'eau, sont d'autres options examinées et testées par les agriculteurs et les gestionnaires de réseaux de distribution pour réduire leur dépendance énergétique et leurs coûts.

Le futur du drainage face aux défis environnementaux et aux technologies émergentes

Le drainage agricole répond à des objectifs multiples de gestion des excès d'eau, de sels ou d'acidité des sols lorsque ceux-ci pénalisent la production agricole. Deux grandes familles de techniques visent à exercer ce contrôle : le drainage de surface qui consiste à modeler la surface du sol pour favoriser le ruissellement et le drainage souterrain par fossés ou par tuyaux enterrés qui permet un contrôle du niveau de la nappe superficielle temporaire ou permanente.

En France, le drainage souterrain a pour objectif principal de lever les contraintes d'engorgement des sols et de faciliter ainsi l'accès au champ pour la conduite des cultures en période d'excès d'eau hivernal ou printanier. A l'échelle de la parcelle agricole, ses effets sont bien connus. D'un point de vue agronomique, le drainage agricole permet des rendements réguliers et légèrement augmentés, en limitant les contraintes des excès d'eau hivernaux. Il permet aussi de restaurer la capacité d'infiltration d'un sol saturé et la diminution du ruissellement de surface.

Ses impacts à l'échelle plus large des bassins hydrographiques ou des nappes souterraines sont cependant plus mal connus et font l'objet de controverses. Les systèmes de drainage sont ainsi accusés d'augmenter la vulnérabilité des territoires drainés aux inondations par une accélération des écoulements. Cet effet sur les inondations n'est cependant

pas avéré car le dimensionnement du drainage étant fondé sur des pluies de faible période de retour, les ouvrages ne permettent pas l'évacuation rapide des fortes pluies et n'engendrent pas d'amplification des inondations (Henine et *al.*, 2012).

Sur le plan de la qualité des eaux, le drainage contribue à transférer certains pesticides (les plus solubles) appliqués en surface en collectant les flux infiltrés via la macroporosité biologique ou structurale. Dans le même temps, par son effet de réduction du ruissellement, le drainage limite l'exportation des pesticides les moins solubles transférés par ce biais. Il est par ailleurs important de rappeler que la quantité moyenne annuelle de pesticides exportée par les réseaux de drainage en contexte français est inférieure à 0,1% de la quantité épandue sur les sols agricoles (Tournebize et *al.*, 2017). Concernant la pollution azotée, les exportations de nitrate sont principalement le fait de reliquats non consommés par la culture précédente, en entrée d'hiver. La conduite de fertilisation d'une parcelle drainée étant similaire à celle d'une parcelle non drainée, sur sol non hydromorphe, la parcelle drainée apparaît ici plus comme un lysimètre géant, reflétant les pratiques agricoles, et ainsi un témoin facilement mesurable des effets des pratiques agricoles sur la ressource en eau que comme un amplificateur des phénomènes de lessivage (Tournebize et *al.*, 2008).

Aujourd'hui les travaux de recherche et d'expérimentation se portent vers les apports du génie écologique pour réfléchir aux conditions d'un drainage agricole durable pouvant jouer son rôle agronomique, tout en limitant ses impacts sur le régime et sur la qualité des eaux (Tournebize et *al.*, 2017). Les efforts se portent en particulier sur la gestion des eaux de drainage aux sorties des collecteurs. Les travaux de recherche s'orientent vers des solutions impliquant plus ou moins de technologies : bioréacteur, drainage contrôlé, ou zone tampon humide artificielle (ZTHA), l'objectif étant de réduire les flux de polluants (fertilisants et pesticides) entre les parcelles drainées et le milieu aquatique. Ces réflexions vont de pair avec l'idée de (re)constituer, restaurer, valoriser des éléments tampons tels que les zones tampons humides artificielles dans des régions agricoles où celles-ci ont été effacées au profit d'une agriculture intensive et aux dépens de la qualité des paysages et de la biodiversité.

L'ingénierie écologique de la restauration des zones tampons humides artificielles requiert d'approfondir les questions touchant à leur dimensionnement, à l'évaluation de la performance et à la quantification des effets indésirables pouvant être engendrés par l'exposition des milieux humides aux eaux agricoles (émissions de protoxyde d'azote, considéré comme un puissant gaz à effet de serre, de potentielles accumulations de pesticides dans le compartiment sédiment). En termes de dimensionnement, les résultats actuels convergent vers le chiffre de 1% de surface de bassin versant drainé consacré à la construction d'une ZTHA, nécessaire pour réduire les flux d'azote et de pesticides de respectivement 50% et 70% (Tournebize et *al.*, 2012 ; Kchouk et *al.*, 2015). En Amérique du Nord le drainage souterrain pour peu qu'il soit régulé (drainage contrôlé, bio réacteur, ZTHA) se dénomme désormais « système de gestion inté-

grée de l'eau ». L'aménagement du territoire apparaît ainsi, non pas comme un permis de polluer, mais comme un levier complémentaire des changements de pratiques agricoles visant à réduire la pression polluante, par la réduction des transferts de polluants. Par exemple le drainage permet l'agriculture biologique et les techniques simplifiées dans des territoires hydromorphes ou ces pratiques ne seraient pas possibles en son absence. Le génie écologique peut ainsi constituer une voie pour élargir et écologiser les concepts et les approches portés par le génie rural. Ces sujets sont abordés à l'échelle internationale, principalement en Europe du nord et en Amérique du nord (Stehle et *al.*, 2011).

Enfin, dans les pays du sud dont les agricultures sont irriguées, les enjeux du drainage souffrent aujourd'hui d'un certain manque de visibilité, en grande partie lié à la concentration des efforts sur les économies d'eau en irrigation. La mise en place du drainage pour limiter la salinisation des sols est ainsi de plus en plus difficile à justifier car une forme de consensus s'est établie autour de l'idée que la limitation des pertes en eau par une modernisation des équipements d'irrigation serait la voie exclusive à privilégier (Bouarfa et Kuper, 2013). Or, la question de la salinisation des sols, via l'apport massif de sels par les systèmes irrigués, voire aujourd'hui par l'usage d'eaux issues de stations de traitement, reste une question prégnante dans de nombreux pays arides et de nature à remettre en cause la durabilité de l'agriculture irriguée (Lagacherie et *al.*, 2017). L'AFEID peine à elle seule à inverser cette tendance. Les efforts conjugués des agronomes, pédologues et hydrauliciens sont nécessaires pour porter ces enjeux à la compréhension des politiques et donneurs d'ordre, en France et à l'étranger.

Conclusion

L'irrigation et le drainage jouent un rôle majeur dans l'agriculture actuelle en raison des évolutions du climat, dont les effets, déjà visibles aujourd'hui, sont appelés à se renforcer : augmentation des besoins en eau des plantes à cause de la transpiration liée à la chaleur et renforcement des événements extrêmes (sécheresses et inondations) menaçant les récoltes et donc la sécurité alimentaire mondiale. La déforestation pour l'extension des superficies cultivées contribuerait à une augmentation des émissions de gaz à effet de serre et à une dégradation de la biodiversité. Mais d'autres choix sont possibles, à faible coût et fort bénéfique environnemental. L'intensification durable à laquelle contribuent l'irrigation et le drainage peuvent permettre de produire plus sur les mêmes surfaces, dans des conditions agroécologiques.

Au plan économique, les territoires ruraux sont fortement dépendants de la vitalité de leur agriculture, qui y est un employeur majeur. En sécurisant la production, en assurant la survie du capital végétal lors des épisodes de sécheresse et d'inondations, l'irrigation et le drainage sont des facteurs de robustesse des exploitations agricoles, et par conséquent de maintien de l'activité agricole et de sa contribution à la vitalité des territoires. On s'interroge souvent sur le bien-fondé de l'emploi d'argent public pour développer l'irrigation, ou pour la consolider en construisant les résér-

voirs qui régulariseront des ressources en eau que les évolutions du climat vont rendre de plus en plus variables. L'alimentation de tous dépend de la bonne santé des campagnes, et il est donc économiquement pertinent d'investir dans l'irrigation. Il faut rappeler à cet égard que les agriculteurs investissent eux-mêmes pour une part significative, notamment lorsqu'il leur faut s'équiper en matériel d'irrigation économe en eau.

Cependant, quand les systèmes d'irrigation et les pratiques d'application de l'eau à la parcelle sont peu efficaces, ils peuvent conduire à des prélèvements d'eau excessifs. Si personne ne se préoccupe de leur gestion, certaines nappes phréatiques sont surexploitées et s'abaissent ou se dégradent : la Chine, l'Inde et le Maghreb sont confrontés à ce type de problèmes (Kuper et al., 2017). La prise de conscience de ces impacts par les responsables politiques remonte aux années 80 en France et dans les pays développés, suite aux trente glorieuses où les besoins d'équipements, les projets d'aménagement et les objectifs de croissance ont prévalu sur la préoccupation de la durabilité écologique. Les enjeux de la limitation des impacts environnementaux de l'agriculture irriguée sont aujourd'hui largement partagés à l'échelle internationale. Mais pratiquée de façon responsable et raisonnée, l'irrigation et le drainage peuvent être aujourd'hui respectueux de l'environnement. Des progrès notables ont été faits. Les avancées technologiques ont permis de réduire fortement la quantité d'eau nécessaire pour bien irriguer, c'est-à-dire apporter aux plantes l'eau qu'il leur faut quand elles en ont besoin. L'irrigation peut elle-même rendre des services environnementaux comme la limitation des pertes en azote par un meilleur contrôle de la fertilité, la valorisation des eaux usées des villes ou des industries ou contribuer à l'agroécologie par l'amélioration de la santé des sols. A titre d'exemple les techniques d'irrigation innovantes telles que le goutte à goutte enterré, peuvent présenter un fort intérêt dans les conditions de semis direct et constituer ainsi des systèmes où économie d'eau et d'intrants se combinent à des objectifs de qualité des sols. L'irrigation peut également contribuer à la santé des sols par l'ajout de biostimulants, d'activateurs de sols, et stimulateur de croissance. Enfin, les nouvelles approches d'ingénierie écologique appliquées au drainage agricole peuvent également permettre le maintien ou la (re)création de zones tampons humides pour l'amélioration de la qualité de l'eau et le maintien de la biodiversité. L'intérêt est de raisonner de manière cohérente les enjeux d'eau et les enjeux de qualité et de santé des sols, fondement de l'agroécologie.

Sur le plan de la gouvernance, de nouveaux modèles se développent pour davantage responsabiliser le monde agricole vis-à-vis d'une ressource précieuse. Mais il est clair que la concertation entre acteurs des territoires doit à l'avenir être renforcée et professionnalisée pour tout nouveau projet de sécurisation de l'irrigation. La profession agricole et les décideurs se doivent d'être transparents vis-à-vis de la société sur les besoins réels de l'agriculture irriguée en termes de ressource en eau (quels sont les besoins de nouvelles réserves et où ?) et en termes économiques (à quelle hauteur faut-il les subventionner ?). En retour, la société doit

être en capacité de prendre part aux débats sur la place des aménagements et de l'agriculture irriguée dans les territoires. Les projets de territoire en cours de construction sont une opportunité pour l'établissement d'un tel dialogue.

Références

- AGRESTE. 2008. Enquête sur la structure des exploitations agricoles en 2007. Agreste Chiffres et Données Agriculture n°201 – octobre 2008. http://agreste.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/cd201_integral.pdf.
- AGRESTE. 2012. Irrigation - Des surfaces irrigables en baisse à partir de 2000. Numéro 292, 4p. ISSN: 1760-7132. <http://agreste.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/primeur292.pdf>.
- Aigrain P, Brugière F, Duchêne E, Garcia de Cortazar-Atauri I, Gautier J, Giraud-Héraud E, Hannin H, Ollat N, Touzard JM. 2016. Travaux de prospective sur l'adaptation de la viticulture au changement climatique : quelles séries d'évènements pourraient favoriser différentes stratégies d'adaptation ? 39th World Congress of Vine and Wine ; BIO Web of Conferences 7, 03016 (2016). DOI: 10.1051/bioconf/20160703016.
- ARVALIS - Institut du végétal. 2017. Matériels d'irrigation des grandes cultures, Editions Arvalis, Juin 2017.
- Belaud G, Mateos L, Aliod R, Buisson MC; Faci E; Gendre S, Ghinassi G, Gonzales Perea R, Lejars C, Maruejols F, Zapata N. 2018. Irrigation and energy: issues and challenges", Irrigation and Drainage, special issue ICID Conference 2015. (in press).
- Benouniche M, Kuper M, Hammani A, Boesveld H. 2014. Making the user visible: analysing irrigation practices and farmers' logic to explain actual drip irrigation performance. *Irrig Sci* (2014) 32: 405. <https://doi.org/10.1007/s00271-014-0438-0>.
- Beraud J. 2015. Wastewater reuse : alternative resource for agriculture in Provence? 26th Euro-mediterranean Regional Conference and Workshops. 12-15 October 2015, Montpellier, France. « Innovate to improve Irrigation performances » <https://icid2015.sciencesconf.org/59056/document>.
- 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* 128: 25-34.
- Bouarfa S, Kuper M. 2012. Groundwater in irrigation systems: from menace to mainstay. *Groundwater Governance Special Issue, Irrigation and Drainage*, 61(1), 1-13.
- Bouthier A., Deschamps T., Moynier JL., Plantecoste L. 2016. Irrigation : le goutte à goutte évalué en terres de groies, *Perspectives Agricoles* 435.
- CVT Allenvi. 2016. Réutilisation des eaux usées traitées « Water reuse ». Analyse stratégique collective. Juillet 2016. 221p.
- Declercq R, Loubier S, Condom N, Molle B. 2015. Socio-economic interests of treated wastewater reuse in agriculture: Clermont-Ferrand case study cost-benefit analysis. 26th Euro-mediterranean Regional Conference and Workshops.

- 12-15 October 2015, Montpellier, France. « Innovate to improve Irrigation performances », <https://icid2015.sciencesconf.org/60949/document>.
- Ecofilae. 2017. Réutilisation des eaux usées pour l'irrigation agricole en zone péri-urbaine de pays en développement : pratiques, défis et solutions opérationnelles. Rapport du COSTEA 63p AFD-AFEID. www.comite-costea.fr.
- FAO AQUASTAT. 2016. Zones équipées pour l'irrigation et pourcentage des terres cultivées. <http://www.fao.org/nr/aquastat>.
- Gendre S, Dejean C, Georges J, Deumier JM. 2015. Diagnostic des installations d'irrigation : connaître le système pour l'améliorer. 26th Euro-mediterranean Regional Conference and Workshops. 12-15 October 2015, Montpellier, France. « Innovate to improve Irrigation performances ». Workshop Irrigation and energy. <https://icid2015.sciencesconf.org/65705/document>.
- Griffon M. 2017. Éléments théoriques en agroécologie : l'intensivité écologique. OCL 24(3): D302.
- Hannah L, et al. (2013) Climate change, wine, and conservation. Proc Natl Acad Sci USA 110(17):6907-6912.
- Henine H, Chaumont C, Tournebize J, Augéard B, Kao, C, Nedelec Y. 2012. Le rôle des réseaux de drainage agricole dans le ralentissement dynamique des crues : interprétation des données de l'observatoire « Orgeval ». Issue *Le bassin de l'Orgeval : 50 ans de recherche au service des acteurs de terrain*, 2012, Special issue 3, p. 16-23. www.set-revue.fr/le-role-des-reseaux-de-drainage-agricole-dans-le-ralentissement-dynamique-des-crues-interpretation.
- HLPE, 2015. L'eau, enjeu pour la sécurité alimentaire mondiale. Rapport du Groupe d'experts de haut niveau sur la sécurité alimentaire et la nutrition du Comité de la sécurité alimentaire mondiale, FAO, Rome 2015, 150p, www.fao.org/3/a-av045f.pdf.
- Jamin JY, Bouarfa S, Poussin JC, Garin P, 2011. Les agricultures irriguées face à de nouveaux défis. Cahiers Agricultures 20, 10-15.
- Kchouk S, Vincent B, Imache A, Tournebize J, Billy C, Bouarfa S. 2015. Les zones tampons humides artificielles pour réduire les pollutions des nappes par les pesticides issus des réseaux de drainage : une innovation en marche ? 26th Euro-mediterranean Regional Conference and Workshops. 12-15 October 2015, Montpellier, France. « Innovate to improve Irrigation performances ». Workshop on future of drainage under environmental challenges and emerging technologie. <https://icid2015.sciencesconf.org/70288/document>.
- Lacroix B, Berrodier M, Gendre S, Molle B, Dejean C, Deumier JM, Fontaine B, Bouthier A. 2015. Quel intérêt du goutte-à-goutte pour l'irrigation des grandes cultures en France ? 26th Euro-mediterranean Regional Conference and Workshops. 12-15 October 2015, Montpellier, France. « Innovate to improve Irrigation performances ». Theme 1: Drip irrigation for water saving: the winning formula? <https://icid2015.sciencesconf.org/75846/document>.
- Lagacherie P, Álvaro-Fuentes J, Annabi M, Bernoux M, Bouarfa S, Douaoui A, Grünberger O, Hammani A, Montanarella L, Mrabet R, Sabir M, Raclot D. 2017. Managing Mediterranean soil resources under global change: expected trends and mitigation strategies. Regional Environmental Change <https://doi.org/10.1007/s10113-017-1239-9>.
- Laib K, Hartani T, Bouarfa S, Kuper M, Mailhol JC. 2018. Connecting drip irrigation performance to farmers' practices: the case of greenhouse horticulture in the Algerian Sahara. Irrigation and drainage (*in press*).
- Loubier S, Campardon M, Morardet S. 2013. L'irrigation diminue-t-elle en France ? Premiers enseignements du recensement agricole de 2010. Sciences Eaux & Territoires, 2013/2 (11), p. 12-19. <https://www.cairn.info/revue-sciences-eaux-et-territoires-2013-2-page-12.htm>.
- Molle B, Brelle F, Bessy J, Gatel D. 2012. Which water quality for which uses? Overcoming over-zealous use of the precautionary principle to reclaim wastewater for appropriate irrigation uses. Groundwater Governance Special Issue, *Irrigation and Drainage*, 61(1), 87-94.
- Kuper M, Leduc C, Massuel S, Bouarfa S. 2017. Topical Collection: Groundwater-based agriculture in the Mediterranean. *Hydrogeol J* 25: 1525. <https://doi.org/10.1007/s10040-017-1598-9>.
- Serra-Wittling C, Molle B. 2017. Evaluation des économies d'eau à la parcelle réalisables par la modernisation des systèmes d'irrigation. Rapport IRSTEA. Etude réalisée avec le soutien du Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation. 149p.
- Stehle S, Elsaesser D, Gregoire C, Imfeld G, Niehaus E, Passeport E, Payraudeau S, Schafer RB, Tournebize J, Schulz R. 2011. Pesticide risk mitigation by vegetated treatment systems: a meta-analysis. *J. Environ. Qual.*, 40 (4) (2011), pp. 1068-1080.
- Tournebize J, Arlot MP, Billy C, Birgand F, Gillet JP, Dutertre A. 2008. Quantification et maîtrise des flux de nitrate: de la parcelle drainée au bassin versant. *Ingénieries* (2008), pp. 5-25.
- Tournebize J, Gramaglia C, Birmant F, Bouarfa S, Chaumont C, Vincent B. 2012 Co-Design of Constructed Wetlands to Mitigate Pesticide Pollution in a Drained Catch-Basin: A Solution to Improve Groundwater Quality. *Groundwater Governance Special Issue. Irrigation and Drainage*, 61(1) 75-86.
- Tournebize J, Chaumont C, Mander U. 2017. Implications for constructed wetlands to mitigate nitrate and pesticide pollution in agricultural drained watersheds. *Ecological Engineering*, Volume 103, Part B, June 2017, Pages 415-425.
- UN WATER. 2017. Les eaux usées une ressource inexploitée in : Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau 2017. Paris, UNESCO. <http://unesdoc.unesco.org/images/0024/002475/247551f.pdf>.
- Venot JP, Kuper M, Zwarteveen M, 2018. Drip Irrigation for Agriculture. *Untold Stories of Efficiency, Innovation and Development*, 2018 - Routledge, 358 pages.