Alternatives Rurales(5)
www.alternatives-rurales.org- Octobre 2017
https://doi.org/10.60569/5-a2

La micro-irrigation et les ressources en eau au Maroc : un coûteux malentendu

François Molle [1], Oumaima Tanouti [2]

[1] Directeur de recherche, G-EAU, IRD, Univ Montpellier, Montpellier, France.
[2] Doctorante à l'Université de Nanterre Paris X, UMR-G-Eau, Montpellier.

Contact : francois.molle@ird.fr

Résumé

Depuis une dizaine d'années, le Maroc a engagé un plan ambitieux d'investissements dans le domaine de l'agriculture. Dans un contexte où le potentiel de mobilisation de ressources supplémentaires est marginal et où le déstockage annuel des nappes est de l'ordre d'un milliard de m³, l'expansion et l'intensification de la production agricole irriguée sont officiellement compensées par des actions d'économie de l'eau. Cet article remet en cause la réalité de ces économies tant au niveau de la parcelle qu'à celui du bassin, met en exergue les contradictions entre politiques sectorielles de l'eau et de l'agriculture, et souligne que les gains de productivité actuels doivent être évalués en regard d'un déstockage accru des ressources souterraines et d'une plus grande vulnérabilité à la sécheresse.

Mots clés : micro-irrigation, goutte-à-goutte, intensification, intégration sectorielle

Introduction

L'économie marocaine est dominée par le secteur des services, avec une part de 55% du Produit National Brut en 2011, contre 30 % pour l'industrie et 15 % pour l'agriculture. Toutefois, l'importance du secteur agricole est sans doute mieux illustrée par le fait qu'il emploie de 39 à 44 % de la population active du pays selon les sources (Nations unies, 2014 ; Haut-Commissariat au Plan, 2015). La place capitale de ce secteur pour l'emploi lui confère donc un rôle essentiel dans un contexte de crise économique larvée et de période post-printemps arabe. Le Maroc affiche une superficie cultivée de l'ordre de 8,6 millions d'hectares, dont 1,46 millions (17%) sont irrigués de manière pérenne.[1] Cette superficie comprend en particulier 683 000 ha dans le secteur de la grande hydraulique, répartis entre neuf Offices de Mise en Valeur Agricole, et 441 430 ha d'irrigation « privée », basée le plus souvent sur l'utilisation des eaux souterraines (Conseil Economique, Social et Environnemental, 2014).

[1] https://anafideafeid.sciencesconf.org/

Mettant fin à plus d'une décennie de sous-investissement dans l'agriculture, le Plan Maroc Vert (PMV) a, dès 2008, annoncé des objectifs ambitieux : une contribution au Produit National Brut de 274 milliards de dirhams, la création de 1,15 millions d'emplois d'ici à 2020 et le triplement des revenus de 3 millions de personnes en milieu rural. Ces objectifs sont liés à une intensification mais aussi à une expansion de l'agriculture irriguée au Maroc. Mais pour réaliser de tels objectifs, il convient de mobiliser des ressources en eau supplémentaires dans un contexte où ces ressources sont déjà surexploitées, dans de nombreux bassins et au niveau de tous les aquifères du pays. Le PMV a donc absorbé en 2008 le Plan national d'économie d'eau en irrigation (PNEEI), lancé en 2007 dans la continuité du Programme national de subvention à l'irrigation localisée de 2002 dont l'objectif initial était la reconversion à la micro irrigation de 114 000 ha. Les objectifs sont revus à la hausse et considèrent dès lors la reconversion de 550 000 ha sur 15 ans, à un coût de 37 milliards de dirhams. Alors que dans les années 1990, le taux de subvention à la micro-irrigation du Fonds de Développement Agricole était de l'ordre de 17%, ce taux est passé à 30%-40% en 2002, puis à 60% en 2006 à l'occasion de la création des guichets uniques au sein des ORMVA et DPA avant qu'en 2008, le PMV ne le porte à 80% pour les exploitations de plus de 5 ha, et à 100% (avec un plafond) pour les exploitations de moins de 5 ha, faisant partie de la GH, ou s'inscrivant dans un projet d'agrégation.

Cet article ne se penche pas sur la performance technique ou financière du PMV en général, ni sur l'intensification agricole en particulier. Il tente d'analyser dans quelle mesure la modernisation enclenchée dans le secteur agricole est compatible avec les ressources en eau du Maroc et examine en particulier l'impact du goutte-à-goutte sur les bilans hydriques à différentes échelles. Il identifie une contradiction de fond et une incohérence entre des politiques agricoles exclusivement axées sur la productivité et ce qui devrait être une gestion durable et prudente de la ressource en eau.

Les effets de la micro-irrigation

Au Maroc, et de manière plus générale, au niveau mondial, l'impact de l'introduction de la micro irrigation sur le bilan hydrique, à la fois à l'échelle de la parcelle et au niveau du système ou du bassin, fait l'objet de recherches largement concordantes qui remettent en question l'image simpliste d'une technologie qui permet des économies d'eau. Cette section analyse successivement les différents effets induits par une conversion au goutte-à-goutte, en faisant le point sur la littérature disponible concernant le Maroc et en la confrontant à l'expérience internationale.

Effets au niveau de la parcelle et de l'exploitation

Volumes appliqués à la parcelle

Les retours d'eau par drainage superficiel ou infiltration à travers le profil du sol sont en règle générale largement réduits par l'introduction de la micro irrigation. Les expérimentations de la FAO (2012) dans les Doukkala ont, par exemple, montré que les agriculteurs adoptant le goutte-à-goutte diminuaient les apports à la parcelle de 14% à 50% (selon les cultures pratiquées). Mais des études plus détaillées dans la plaine du Saïss et d'autres régions ont montré que la sur-irrigation était fréquente, avec des efficiences d'irrigation à la parcelle entre 25% et 90% (Benouniche et al. 2014b). En l'absence de

contraintes sur la ressource, les agriculteurs préfèrent apporter un excès d'eau afin d'éviter tout stress et pertes de rendement potentielles (ibid.). Des variations du même ordre ont été trouvées au niveau de l'irrigation privée dans la région de Berrechid (46% à 78%), du Gharb (48% à 88%) et la Chaouia côtière (38% à 89%), par différentes études citées par Benouniche et al. (2014b).

Les agriculteurs adoptent en général la micro-irrigation comme élément d'un « package » d'intensification quand ils ont accès à une ressource fiable (le plus souvent les eaux souterraines) et pour son impact sur la productivité et ses économies en main d'œuvre. Benouniche et al. (2014a) ont également montré que les agriculteurs peuvent également adopter l'irrigation par goutte-à-goutte comme un moyen d'améliorer leur statut social. Il n'y a en fait "aucune pression sociale pour irriguer avec soin, pour économiser l'eau ; seul l'État relie explicitement l'utilisation du goutte-à-goutte aux économies d'eau". Fofack et al. (2015) confirment que "l'acquisition d'un puits ou d'un forage est devenue un facteur de reconnaissance sociale par les autres membres du douar, un signe d'indépendance et d'autonomie".

Sraïri (2015) considère que les taux de subvention à la micro irrigation très élevés (de 80% à 100%) ont accéléré l'adoption de cette technologie mais pas sa maîtrise technique. Dans les Doukkala, la FAO (2012) a observé que des agriculteurs habitués à l'irrigation gravitaire irriguaient en goutte-à-goutte jusqu'à ce que l'eau s'accumule de manière visible dans les cuvettes autour des arbres. De nombreux problèmes de filtration et de bouchage des goutteurs ont également été observés (FAO, 2001). Une évaluation de projet menée par la Banque mondiale (World Bank, 2009) reconnaît que la technologie est fréquemment mal mise en œuvre en ce qui concerne sa dimension technique, en particulier le nettoyage des goutteurs, le changement des lignes de distribution, ou la maîtrise de la fertigation. Certes, en théorie, la maîtrise technique peut être améliorée par le conseil agricole, mais en pratique cela reste le plus souvent un vœu pieux. Les exploitations d'agriculture commerciale, qui constituent sans doute une majorité des superficies en irrigation localisée, ont une conduite de l'irrigation localisée plus proche du fonctionnement théorique.

Consommation en eau réelle

La consommation en eau au niveau de la parcelle est décrite par le terme d'évapotranspiration (ET), qui indique que l'eau est consommée par l'évaporation du sol (E) et la transpiration des plantes (T)(principalement des plantes cultivées mais aussi des adventices).

On pense souvent que l'évaporation du sol et la transpiration des adventices sont réduites par le fait que le goutte-à-goutte apporte l'eau de manière très localisée et réduit donc de manière très substantielle la zone du sol humide sujette à l'évaporation. On oublie cependant que cette réalité est compensée par le fait que 1) le système racinaire des oliviers traditionnels est très étendu, latéralement et verticalement (et donc récupère une grande partie des eaux infiltrées dans le profil du sol); et 2) que l'irrigation gravitaire est menée avec une fréquence très inférieure à celle de la micro irrigation.

Dans les périmètres de grande hydraulique au Maroc, par exemple, des oliviers pourront ainsi être irrigués en gravitaire une ou deux fois par mois alors qu'en goutte-à-goutte la fréquence sera beaucoup plus élevée (tous les deux ou trois jours par exemple). En d'autres termes, avec le goutte-à-goutte, la superficie sujette à l'évapotranspiration est beaucoup plus faible, mais celle-ci est humide pendant

beaucoup plus de temps. Ces deux phénomènes se compensent dans des proportions qui dépendent de paramètres comme la texture du sol, la couverture du sol par les cultures en place, et la densité des goutteurs.[2]

Même dans les cas où l'évaporation du sol (E) se trouve diminuée, ce gain se trouve en réalité souvent compensé par une augmentation de la transpiration (T): en effet, la transpiration de la plante, dont dépend de manière directe le rendement de la culture, augmente généralement du fait d'une meilleure alimentation de la plante (plus fréquente) qui évite les périodes de déficit et de stress plus courantes en irrigation gravitaire. Une mesure fine des différents termes du bilan et de la valeur globale de l'ET, qui vont varier chaque année en fonction des conditions climatiques, est très difficile à mettre en place.

Ces difficultés ont pu être contournées en utilisant des bilans énergétiques faits à partir d'images satellites, en comparant des champs d'une même culture irrigués par gravitaire ou en goutte-à-goutte. Une étude menée dans le Tadla, par exemple, a comparé 12 parcelles d'agrumes (cinq irriguées par gravité et sept en goutte-à-goutte) et n'a trouvé des différences d'évapotranspiration (c'est-à-dire de consommation en eau) que de 1% (Riverside, 2010).

Une étude similaire menée dans l'État du New Mexico aux Etats-Unis, a trouvé des consommations en eau (ET) dans les champs irrigués en goutte-à-goutte supérieures de 8% à 16% à celles trouvées pour des champs irrigués en gravitaire, selon le type de culture (Intera, 2013). En Californie, on a également trouvé que des champs d'amandiers irrigués en goutte-à-goutte présentaient des consommations en eau supérieures de 10 à 15% par rapport aux champs irrigués par d'autres méthodes (Burt et al., 2001). D'autres ont trouvé que pour la viticulture et l'arboriculture, cultures assez espacées pour lesquelles on pourrait s'attendre à une réduction significative du terme (E), la réduction de l'évapotranspiration n'était que de 6% en moyenne (Thorenson et al., 2013), une économie non négligeable.

Dans tous les cas, selon les types de sols, de culture et de conduite de l'irrigation, les variations d'ET ne dépassent pas 10 à 15%, dans un sens ou dans l'autre. On peut donc retenir qu'en ordre de grandeur, l'ET est en moyenne très peu affectée par le changement de techniques d'irrigation (une « hypothèse de neutralité » également retenue par Perry et Steduto, 2017, après avoir examiné la littérature mondiale à ce sujet) : c'est la distribution entre E (diminuée) et T (accrue) qui est modifiée, l'hypothèse de l'augmentation de T étant fortement corroborée par les augmentations substantielles, voire spectaculaires, de rendement qui sont rapportées.

Changements de culture induits

La discussion ci-dessus considérait un changement de technologie sans changement de culture. En pratique, le passage au goutte-à-goutte s'accompagne très souvent d'une intensification ou d'un changement complet d'assolement. On observe souvent que les agriculteurs introduisent une rangée supplémentaire d'arbres entre les lignes de leurs vergers, irriguent des cultures intercalaires, voire arrachent leurs arbres pour planter de nouvelles variétés avec des densités bien plus élevées. Dans le Souss, par exemple, on a pu observer que la densité des plantations de clémentine était passée de 200 à 500, voire 800 arbres par hectare (BRLi et Agroconcept, 2013). Ces ajustements permettent une bien meilleure productivité

[2] Pour plus de détails, voir Burt et al. (2001) et Perry et al. (2009).

mais s'accompagnent évidemment d'une plus grande consommation d'eau à l'hectare.[3]

De même, le passage au goutte-à-goutte est le plus souvent associé à une reconversion au maraichage ou à l'arboriculture, avec en général des besoins en eau croissants. L'étude de la FAO (2012) dans les Doukkala, qui a identifié une réduction des apports à la parcelle, a également constaté que les consommations par hectare au niveau de l'exploitation peuvent augmenter de 20 % à cause d'un changement d'assolement. Kuper et al. (2012) ont également montré que dans le Tadla, l'utilisation des eaux souterraines avait ouvert la voie à l'utilisation du goutte-à-goutte ainsi qu'à une intensification et diversification des cultures. Le même phénomène a été observé dans le Saïss (Kuper et al., 2017) (Voir également la Figure 1 pour une illustration du phénomène dans le Haouz). L'ampleur de l'expansion de l'arboriculture associée au passage au goutte-à-goutte est bien illustrée dans le cas du Gharb, pour lequel on planifie une réduction de 127 000 ha de la superficie cultivée en céréales au profit de l'olivier intensif, des agrumes et autres arbres fruitiers, du fourrage et de la betterave à sucre : des cultures aux besoins en eau plus importants (Agence de bassin hydraulique du Sébou, 2011).[4]

[3] Selon le Ministère de l'agriculture, l'objectif de reconversion des systèmes d'irrigation est fixé à 550 000 ha. Par rapport à cet objectif, en 2014 déjà, 400 000 ha sont déjà reconvertis contre 150 000 ha en 2008. Alors que le PIB agricole moyen a dépassé les 100 milliards DH/an contre une moyenne de 75 milliards DH/an avant 2008 (MAPM, 2014).

[4] Ces changements de densité culturale et d'assolement induits par le goutte-à-goutte ont également été observés dans de nombreux systèmes irrigués espagnols. Voir par exemple González-Cebollada (2015), Sese-Minguez et al. (2017), Berbel et al. (2014).

Expansion des superficies irriguées

Un autre effet induit par le passage au goutte-à-goutte est la possibilité pour certains agriculteurs, notamment ceux dont la capacité de mobilisation en eau est définie par la capacité de leurs puits ou forages, de profiter de la réduction des doses apportées à l'hectare pour utiliser le volume ainsi dégagé pour augmenter les superficies irriguées. Ce phénomène très général a été observé dans des pays comme l'Espagne, la Jordanie, la Tunisie, l'Inde, le Pakistan, Israël, la Chine ou les États-Unis (voir Molle, 2017, pour des références précises).

Au Maroc, Tanouti et Molle (2013) ont observé certains cas dans le Haouz (voir Figure 1), tandis que Jobbins et al. (2015) en font état à Chichaoua et dans le Souss-Massa, et BRLi et Agroconcept (2013) dans le Souss. À l'exception d'une étude sur une zone de 4 000 ha dans le Saïss (Kuper et al., 2017), et d'une autre par van der Kooij et al. (2015), montrant en particulier une expansion dans des zones pluviales, ce phénomène n'a pas été étudié de manière systématique. Nous pouvons néanmoins, à partir de ces différentes observations, faire l'hypothèse qu'il s'agit d'un phénomène assez fréquent dans l'ensemble du Maroc.

En résumé, les processus d'intensification au niveau de la parcelle, les changements d'assolement induits, et les phénomènes d'expansion des superficies irriguées associés à la reconversion de l'irrigation traditionnelle en goutte-à-goutte vont tous dans le sens d'une augmentation des quantités d'eau consommée par l'irrigation.

Effets au niveau des bassins versants et des aquifères

Il convient maintenant de se pencher sur la réalité des économies en eau au niveau des bassins et des aquifères. Au Maroc, les

grandes plaines irriguées sont en général les zones les plus déficitaires (à part le Gharb et les bassins du nord). Qu'elles aient fait l'objet d'aménagements de grande hydraulique, qui ne peuvent maintenant fournir en moyenne que 60 % des besoins en eau (El Gueddari et Arrifi, 2009), ou qu'elles soient directement exploitées à travers des puits et forages, ces plaines montrent actuellement toutes des bilans déficitaires: il s'agit en particulier de la plaine du Saïss, du Tadla, du Haouz, du Souss-Massa et du Draa, sans compter les petites nappes côtières. Le niveau d'eau dans ces nappes est un excellent indicateur de la surexploitation des ressources en eau. Alors que les bassins correspondants sont exploités à 90%[5] (FAO, 2014), toute augmentation d'évapotranspiration se traduit en grande partie par un déstockage équivalent des nappes.

Or, au niveau du Maroc et de l'aveu même de la Ministre chargée de l'eau, le déstockage global est de l'ordre d'un milliard de mètres cubes par an (Maroc.ma, 2014), un déstockage très probablement sous-estimé si l'on s'en tient à l'absence d'actualisation des chiffres sur l'irrigation privée. Bien que l'imprécision de nombreux termes du bilan hydrique ne permette pas des calculs très précis, Tanouti et Molle (2016) ont montré, par exemple, que le déstockage de la nappe du Haouz dépasse probablement le double de la valeur officiellement annoncée, soit 105 millions de mètres cubes par an (Mm^3/an). Les prélèvements diffus par les puits et forages privés sont extrêmement difficiles à estimer et peu d'efforts sont faits dans ce sens : il est frappant de voir que cette irrigation privée était estimée à 441 430 ha en 2004 (Oubalkace, 2007), et que cette valeur est encore utilisée de nos jours (par exemple dans le rapport de 2014 du Conseil Economique, Social et Environnemental). Cette baisse des nappes est antérieure au développement du goutte-à-goutte mais devrait être aggravée par celui-ci.

Le PNEEI vise une "économie globale de l'ordre de 826 Mm^3/an" (MAPM, 2007a) et distingue la grande hydraulique basée sur la mobilisation d'eaux superficielles de l'irrigation privée qui dépend principalement des eaux souterraines et des puits et forages individuels. En grande hydraulique, les objectifs du PNEEI sont une amélioration de l'efficience d'irrigation à la parcelle de 40% et une diminution de 30% des apports d'eau dans les zones qui seront converties à l'irrigation localisée collective (soit environ 220 000 ha). Les économies d'eau escomptées dans les zones de grande hydraulique sont estimées à 514 Mm^3/an. Les études techniques reconnaissent toutefois que ces zones sont déficitaires et le resteront et que "l'économie d'eau ne permettra pas par conséquent de dégager un excédent, mais qu'on aura par contre un usage plus productif des 514 Mm^3/an qui étaient perdus".

L'hypothèse faite est que la part des apports en eaux superficielles qui retournaient au cycle hydrologique à travers les infiltrations étaient des « pertes ». En réalité, dans la plupart des zones de grande hydraulique concernées, ces pertes par infiltrations sont entièrement réutilisées par les agriculteurs (et même au-delà, comme l'indique la baisse des nappes). La situation est illustrée dans le graphique simplifié ci-dessous (Figure 2). La figure de gauche représente le cas général de la grande hydraulique, où 50 unités d'eau sont amenées par le canal et 50 autres par les puits et forages[6]. La moitié de ces apports est

[5] A part le bassin du Sébou, dans lequel se trouve la plaine du Saïss.

[6] Le raisonnement n'est pas affecté si l'on change ces pourcentages ainsi que les taux d'infiltration correspondants. On peut aussi faire figurer des pertes par colature mais il est rare que celles-ci ne soient pas ré-infiltrées ou réutilisées à l'aval.

transformée en évapotranspiration et l'autre moitié retourne à la nappe par infiltration. Le bilan de la nappe est nul (toutes les pertes par infiltrations ont été réutilisées et transformées en évapotranspiration). Si l'on passe au goutte-à-goutte (figure de droite), dans l'hypothèse optimiste selon laquelle l'évapotranspiration n'est pas augmentée, les 50 unités d'eau du système collectif sont maintenant apportées par un système de goutte-à-goutte qui ne produit que 10 unités de retour à la nappe. L'agriculteur a donc moins besoin de pomper dans la nappe (ce qui est bénéfique en termes de réduction des coûts de pompage, voire de qualité d'eau quand l'eau de la nappe est salinisée), soit 20 unités dans l'illustration ci-dessous, dont la moitié retourne à la nappe. Les apports ainsi que l'évapotranspiration demeurent inchangés et le bilan de la nappe reste nul. Il n'y a eu aucune économie d'eau au niveau du système, dans le sens où la consommation réelle, c'est-à-dire l'évapotranspiration, n'a pas changé. *Au niveau du système irrigué ou de la nappe, il n'y a donc aucune économie.*

Notons que si l'on fait l'hypothèse (confortée par les augmentations de rendements observées) que l'évapotranspiration augmente (disons de 50 à 60), alors le bilan général est maintenant -10, ce qui se traduit par un déstockage accru.

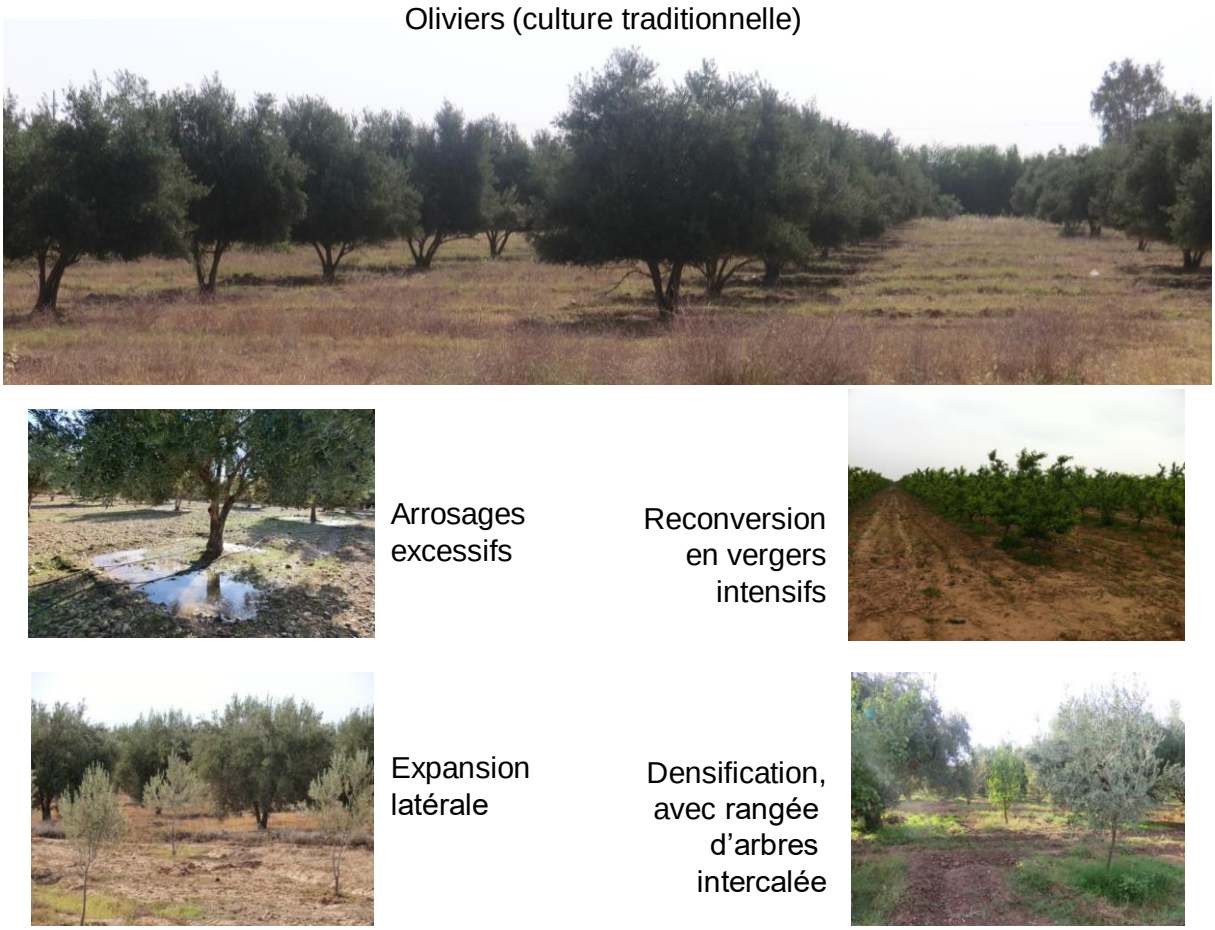
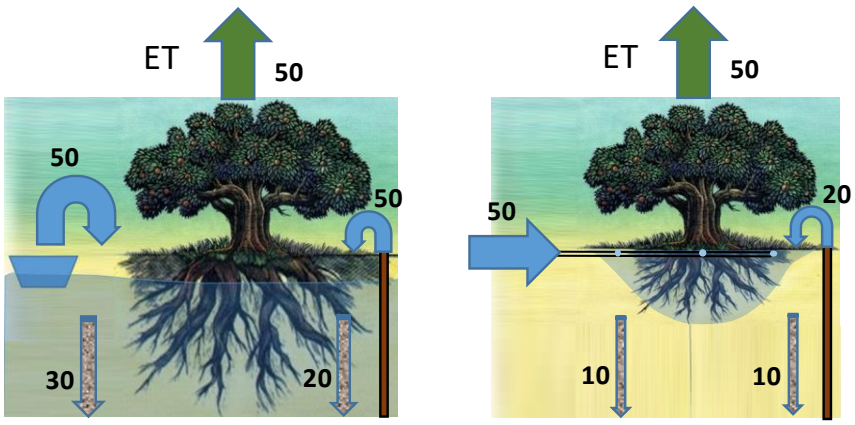


Figure 1. Changements induits par la microirrigation dans le Haouz (Tanouti et al., 2016)



Irrigation gravitaire
(bilan: 0)

Micro-irrigation
(bilan: 0)

Figure 2. Bilan à la parcelle après passage du gravitaire au goutte-à-goutte

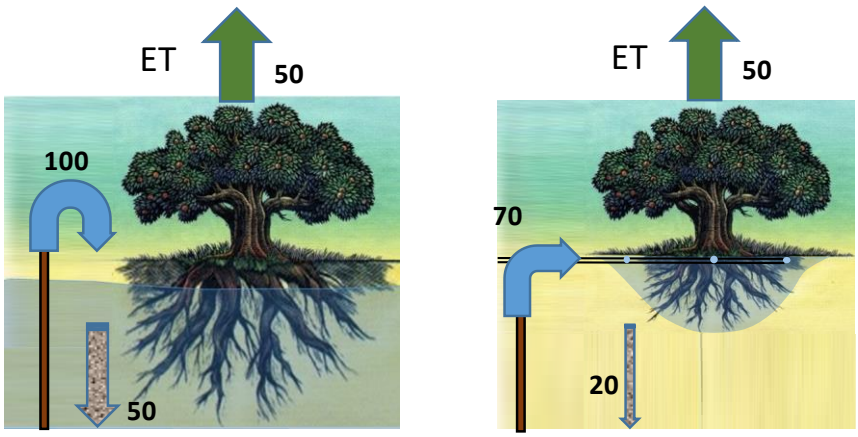
Il existe deux situations où le changement est clairement bénéfique en termes de bilan de la ressource: la première est illustrée par les Doukkala, où il est très bénéfique de réduire, par un passage au goutte-à-goutte, les infiltrations qui sont effectivement partiellement des pertes (une partie assurant le lessivage des sels) dans la mesure où la dégradation de la qualité de l'eau ne permet pas de les réutiliser par pompage.

La seconde situation est celle d'agriculteurs en grande hydraulique et n'ayant pas de puits. Ceux-ci dépendent d'apports insuffisants et incertains et sont donc en général confinés à une agriculture très extensive, le plus souvent à base d'oliviers et de blé. Ils pratiquent souvent une irrigation déficitaire (c'est-à-dire que l'irrigation ne comble que partiellement les besoins en eau des cultures) et le passage au goutte-à-goutte collectif, à dotation égale, leur permettra de transformer en évapotranspiration une plus large fraction de leur dotation. Pour ces agriculteurs, les pertes par infiltration sont vraiment des pertes, mais elles sont également la ressource de ceux qui possèdent des puits et forages, et qui vont donc subir une perte équivalente.

En ce qui concerne les zones d'irrigation privée, "l'économie d'eau qui sera permise au niveau des exploitations à convertir à l'irrigation localisée au titre du PNEEI, qui rappelons le, sont irriguées essentiellement par les eaux souterraines, est estimée à 312 Mm3/an à partir du volume moyen tiré des nappes par ce type d'irrigation" (MAPM, 2007a). Mais là aussi, les économies d'eau escomptées résultent d'une focalisation sur le l'efficience à la parcelle uniquement, au lieu de considérer l'ensemble de la nappe.

La Figure 3 ci-dessous illustre un cas moyen hypothétique similaire au précédent. L'image de gauche montre un verger irrigué par gravitaire à partir d'un puits, avec 100 unités d'eau dont 50 sont transformées en évapotranspiration, et 50 retournent à la nappe par infiltration. Le système de goutte-à-goutte individuel (image de droite) permet de réduire les apports à 70 unités, ainsi que les infiltrations à 20 unités, tandis que les arbres transforment 50 unités en évapotranspiration (à densité de plantation et âge constants). Le bilan de la nappe est toujours stable à -50. Là aussi, il n'y a eu aucune économie au niveau du système. Comme nous l'avons noté précédemment, on peut ajouter que la tentation sera grande pour le paysan d'utiliser les 30 unités restantes, que la capacité de son puits lui permet de produire, pour étendre sa

superficie irriguée, augmentant de ce fait son revenu mais aussi sa consommation en eau. Cette augmentation de la consommation se répercute de manière intégrale sur le déstockage (accru) de la nappe.



Irrigation gravitaire
(bilan: -50)

Micro-irrigation
(bilan: -50)

Figure 3. Bilan à la parcelle après passage au goutte-à-goutte (irrigation à partir de la nappe)

Tous les bassins hydrographiques au sud du Sebou sont en situation de « fermeture »[7] c'est-à-dire que leurs écoulements à l'exutoire sont de l'ordre de 5 à 10 % des écoulements dans le bassin (et ces écoulements sont soit incontrôlables soit de très mauvaise qualité). On peut certes augmenter l'offre par la désalinisation en traitant les eaux usées (mais on s'aperçoit souvent que ces eaux sont déjà en fait utilisées à l'état brut et que l'on ne fait que les réallouer; voir Tanouti et Molle, 2013 pour le cas de Marrakech). Ceci signifie que l'essentiel de la ressource en eau est consommé par évapotranspiration. Une partie de cette évapotranspiration peut avoir une valorisation économique faible ou nulle (par exemple, l'évapotranspiration dans des sebkhas) et là aussi des gains sont possibles. Mais dans le cas du Maroc, ceux-ci sont minimes car la capacité de dérivation des eaux superficielles et de prélèvements des eaux souterraines est extrêmement élevée.

On se rapproche donc de l'arithmétique (sans pitié) des jeux à « somme nulle » où l'augmentation de l'évapotranspiration dans une zone donnée (soit par intensification soit par expansion des zones irriguées) ne peut se faire qu'au détriment, et dans les mêmes proportions, d'une autre zone. C'est par exemple le cas de nouvelles superficies irriguées à partir de forages qui rabaissent la nappe et assèchent les sources et les puits moins profonds à proximité, impactant ceux qui les utilisent (Haouz). Dans d'autres cas, comme celui du Tadla ou du Saïss, on peut avoir plusieurs nappes (qui communiquent ou pas), mais là encore elles sont en général également surexploitées et l'arithmétique prévaut.

Ce phénomène, d'une grande ampleur au Maroc, est souvent mal compris. Doukkali (2005) considère "que l'expansion de l'irrigation privée à base d'eau souterraine a réduit [au niveau du pays] la superficie irriguée par les systèmes de petite et moyenne hydraulique d'environ 150 000 à 200 000 hectares", les gains de cette

[7] Sur le concept de fermeture de bassin (« basin closure » en anglais), voir Molden et al. (2001), Molle (2008), Molle et al. (2010).

première dépassant même les pertes dans cette dernière. Cette situation générale est bien illustrée par le cas de la plaine du Saïss. Dans les années 1970, les agriculteurs irriguaient 37 000 ha à partir d'une centaine de sources et de petits oueds. Il y a maintenant au moins 10 000 forages dans la plaine et la plupart des sources ont vu leur débit se réduire de manière dramatique[8], tandis que l'oued Fès est le plus souvent à sec. Au total, on irrigue maintenant environ 50 000 ha (seulement) et ceci n'est possible qu'au prix d'un déstockage de l'aquifère d'environ 100 Mm3/an (Bouignane et Serrhini, 2015). Cette réallocation spatiale (et sociale) de l'eau est typique des phénomènes de fermeture de bassin par augmentation et compétition entre usages. L'irrigation localisée ne fait que l'accentuer par augmentation de l'évapotranspiration.

Le goutte-à-goutte et les économies d'eau en débat

L'importance de ne pas confondre l'échelle du système de distribution de la parcelle avec celle du périmètre irrigué ou du bassin hydraulique est clairement identifiée dans le document principal de 70 pages du PNEEI (MAPM, 2007a). On y trouve en effet le paragraphe suivant :

Quand on raisonne les pertes d'eau dans un système, il faut d'abord se préoccuper de l'échelle d'espace dont on parle : on peut ainsi, dans le cas de l'irrigation, successivement passer de la plante jusqu'au bassin hydraulique en passant par le champ, l'exploitation agricole, le secteur d'irrigation puis le périmètre irrigué. L'échelle d'espace est importante car l'eau peut être considérée comme perdue à certaines échelles, mais cette même eau ne le sera plus quand on passe à une échelle plus large. Ainsi, l'eau perdue à l'échelle d'une exploitation agricole n'est pas toujours une perte si on raisonne à l'échelle du bassin hydraulique. Ne doit être considérée comme une vraie perte d'eau, que celle qui est perdue sous l'effet de l'évapotranspiration directe ou de la transpiration par des mauvaises herbes et autres phréatophytes, ou celle dont la qualité est trop dégradée pour être réutilisée sans engendrer de coûts exorbitants.

Cette clarification étant faite, le reste du document est articulé autour de l'affirmation centrale que "c'est d'abord au niveau de la parcelle que les économies d'eau doivent être le plus recherchées, car c'est à ce niveau que le gisement (aussi bien en termes de volumes que de coût-efficacité) se trouve". Une affirmation en parfaite contradiction avec le paragraphe ci-dessus, si l'on considère la discussion présentée plus haut sur le bilan de la nappe.

La possibilité pour les agriculteurs de réutiliser des économies faites sur les apports bruts n'est pas abordée dans le rapport principal mais est évoquée dans une note de synthèse: "Dans le domaine technique, les risques encourus concerneraient l'extension des superficies irriguées, l'accroissement de la consommation globale d'eau à l'échelle des exploitations, suite à une intensification trop poussée, ou encore une mise en valeur de la part des agriculteurs inférieure aux attentes" (MAPM, 2007b).

Les différentes études d'impact menées par la FAO (2009, 2014) identifient ces risques en passant, et reconnaissent que "l'économie d'eau engendrée par l'irrigation localisée doit être nuancée par l'impact de la réduction de l'alimentation des nappes par infiltration des

[8]Bouyarmane (2012), par exemple, a étudié la source de Ben Kazza dans la plaine du Saïss, dont le débit a été divisé par quatre depuis 1960, poussant les agriculteurs à recourir aux eaux souterraines.

eaux d'irrigation", en d'autres termes que le bilan de la nappe phréatique n'est pas affecté par le changement de technologie (comme démontré plus haut). Réduire le déstockage de la nappe ne peut se faire que par "une utilisation restreinte des points d'eau situés dans les périmètres intéressés par le projet", ce qui n'est plus du ressort de la technologie mais de différentes mesures également évoquées dans le document du PNEEI (MAPM, 2007a) et qui sont rapidement énumérées (campagne de sensibilisation, constitution d'un inventaire des points de prélèvement, installation de compteurs, tarification volumétrique, mise en place de contrats de nappe). Ces mesures, toutes difficiles à mettre en place, sont d'un tout autre ordre et ne sont pas commentées dans cet article.

En d'autres termes, ces éléments montrent que si les risques encourus et la « neutralité » du goutte-à-goutte dans la question de la conservation des nappes ont bien été identifiés, ceux-ci n'ont pas été menés à leur conclusion logique et n'ont pas pu contrebalancer un discours promotionnel basé sur une fausse conception des « pertes », liée à une focalisation de l'analyse au niveau des réseaux de distribution et d'irrigation. Différents documents, interviews, ou discussions techniques lors de forums (par exemple le meeting de l'association française d'irrigation et drainage en Novembre 2014) montrent toutefois que certains responsables marocains sont conscients des contradictions inhérentes au programme de reconversion.

D'autres mettent en avant que le "véritable gisement d'économie d'eau dans des situations de stress hydrique se situe au niveau de l'amélioration de la productivité et de la valorisation de l'eau. En d'autres termes, il s'agit de produire d'avantage de richesse (de production agricole, de valeur ajoutée, d'emplois..) par m3 d'eau" (Belghiti, 2009); ou qu' "en agriculture irriguée, et contrairement à ce que l'on pourrait penser, une gestion économe de l'eau ne vise pas une réduction de la consommation d'eau en soi mais plutôt une meilleure valorisation de l'usage de l'eau" (El Alaoui 2006), déplaçant avec raison les objectifs de modernisation vers le terrain de la productivité plutôt que celui des économies en eau.

Le potentiel d'économie d'eau identifié par les différents documents officiels ne correspond donc pas à de vraies économies au niveau des systèmes ou des bassins, que l'on pourrait réallouer à d'autres usages sans impacter des utilisateurs déjà existants. Les chiffres donnés sont apparemment le résultat de règles de trois entre des coefficients d'efficience actuels et désirés des réseaux de distribution et d'irrigation. Même ainsi, les valeurs données sont fluctuantes. Le PNEEI a adopté une valeur cible d'économie d'eau de 850 Mm3 (parfois arrondie à 1, voire 1,4 milliard de m3), qui est devenu 1,6 et 1,7 milliards de m3 d'économies d'ici à 2030 pour la seule conversion de 900 000 ha au goutte-à-goutte dans le cadre de la Stratégie nationale de l'eau (Monitor Group 2008). Le Conseil Economique, Social et Environnemental (2014) indiquait que le PNEEI atteindrait en 2020 80% de son potentiel d'économie d'eau de 2 milliards de mètres cubes. Plus récemment, le ministère de l'agriculture annonçait lors d'un séminaire à Rabat que la reconversion au goutte-à-goutte de 550 000 ha réaliserait 4 milliards de m3 d'économies d'eau d'ici à la fin 2017 (L'Economiste, 2017).

Contradiction entre objectifs sectoriels

L'analyse proposée ci-dessus fait donc apparaître clairement des contradictions entre les politiques sectorielles de l'agriculture d'une part, et des ressources en eau d'autre part. D'un côté, le secteur de l'agriculture est dynamisé par les investissements massifs du PMV. La vision de modernisation du secteur promue par le PMV se traduit par une intensification, mais aussi par des subventions à l'extension des superficies irriguées. Le PMV accorde entre 80% et 100% de subventions à la reconversion de l'irrigation gravitaire au goutte-à-goutte, mais également à des projets d'investisseurs désirant développer l'agriculture irriguée sur la base des eaux souterraines.

L'interdiction des forages agricoles dans certaines zones est contournée en octroyant les subventions dès lors que les agriculteurs peuvent se prévaloir d'avoir engagé le processus de régularisation de leur puits (cas du Haouz), ou s'ils signent un engagement sur l'honneur que le puits dont ils disposent était bien utilisé par le passé (cas de la plaine du Saïss, voir Del Vecchio, 2013). Les investisseurs obtiennent également des autorisations de creusement de puits grâce à des soutiens au plus haut niveau. Dans la plaine du Saïss, Fofack (2012) a observé que les agriculteurs pouvaient parfois passer par le caïdat, qui peut gérer la demande vis-à-vis de l'agence de bassin hydraulique, ou par les vendeurs de goutte-à-goutte, qui peuvent s'occuper du processus de la demande des subventions et des arrangements possibles avec le ministère de l'Agriculture.

La contrainte du régime foncier complexe du Maroc, souvent perçu comme un obstacle au développement (World Bank, 2008), est également progressivement levée. En 2005, une nouvelle loi (dite « de la main levée ») a permis aux membres des coopératives de la réforme agraire de privatiser leurs terres et de les vendre sur le marché (Valette et al., 2013). Ces terres sont en général achetées par des investisseurs qui peuvent avoir des visées spéculatives et/ou productives, soit pour l'agriculture soit pour la construction de résidences (voir par exemple les terres achetées au sud de Marrakech par la compagnie « Doha »; ou Valette et al., 2013, pour le cas de Meknès). Les terres collectives gérées par le ministère de l'Intérieur sont également progressivement soumises à un processus de privatisation (melkisation), avec par exemple 300 000 ha de terres collectives sur le point d'être enregistrées au nom de leurs ayants-droit (Belghazi, 2016). Récemment un appel d'offre pour la préparation de la melkisation de 46 000 ha dans le Gharb a été lancé[9].De même, 85000 ha de terres *habous* (*waqf*), gérés par le ministère des Habous, ainsi que 300 000 ha de terres *guich*, sont également sous pression pour être privatisées (Maroc.ma, 2015).

De l'autre côté, le secteur de l'eau, et tout particulièrement les agences de bassin hydraulique qui ont un rôle de régulation au niveau de chaque bassin hydrographique, s'emploient à rationaliser les usages et à rétablir un équilibre entre offre et demande. Les Plans directeurs d'aménagement intégré des ressources en eau (PDAIRE) sont les principaux instruments d'une planification qui fait la part belle à l'augmentation de l'offre (transfert nord-sud, nouveau barrage, station de traitement des eaux usées ou de dessalement de l'eau de mer, etc.), même s'ils comprennent également des mesures de gestion de la demande (tarification, quotas, gestion participative, contrat de la nappe ou

[9] http://appel-d-offre.dgmarket.com/tenders/np-notice.do?noticeId=13421894

promotion du goutte-à-goutte, avec les contradictions qui ont été analysées plus haut). Avec les moyens humains et financiers limités qui leur sont octroyés, les agences peinent à remplir leur mandat et à établir leur autorité vis-à-vis des autres ministères (Tanouti et Molle, 2013). Le même déséquilibre se retrouve au niveau des ministères centraux eux-mêmes.

Nous sommes donc dans une situation où de l'ordre de 90 % des eaux superficielles dans les bassins au sud du Sébou sont mobilisés (FAO, 2014), où les nappes du pays perdent au moins 1 milliard de mètres cubes par an (Ministre de l'eau dans Maroc.ma, 2014), et où l'augmentation des consommations en eau (par intensification et extension) est promue et subventionnée par l'État. De plus, les PDAIRE planifient la mobilisation et les usages de la ressource jusqu'à 2030 en considérant la ressource constante, alors que "les ressources en eau du pays, aussi bien superficielles que souterraines, devraient connaître une baisse tendancielle supplémentaire pouvant être de l'ordre de 15 à 20 % à l'horizon 2030", selon le Haut Commissariat au Plan (HCP, 2007). Selon un décideur du Ministère de l'agriculture (interviewé en 2015), "le souci du PMV c'est de dire, d'abord je produis et ensuite je règle les problèmes, mais de l'autre côté, la gestion intégrée ne marche pas, malheureusement".

Plusieurs éléments dénotent un manque de volonté politique de mettre en œuvre des mesures de régulation : l'inefficacité de la police de l'eau, l'échec des agences de bassin hydraulique à prendre des sanctions contre les personnes violant ouvertement la loi, la non-application de l'obligation d'équiper les puits avec des compteurs, le non recouvrement des redevances d'utilisation des eaux souterraines, ou l'échec relatif à ce jour des « contrats de nappe » (BRLi et Agroconcept, 2013), même si cet échec est sans doute imputable à l'ensemble des acteurs. On peut également se poser des questions sur les raisons de l'inactivité du Comité interministériel sur l'eau créé en 2001 « pour assurer une coordination étroite de tous les ministères sur les questions de l'eau » (Comité interministériel sur l'eau, 2014), ainsi que du Conseil Supérieur de l'eau et du Climat, qui ne s'est pas réuni depuis 2001.

À l'évidence, les différentes politiques sectorielles sont définies à partir d'impératifs politiques qui ne prennent pas en compte l'état de la ressource. Cette réalité est occultée par un discours de circonstance qui affirme que "la stratégie nationale de l'eau a fait l'objet d'une mise en cohérence et de convergence avec celle du secteur agricole documentée dans le Plan Maroc Vert" (Conseil Economique, Social et Environnemental, 2014); ou que "les deux ministres [de l'eau et de l'agriculture] se sont accordés sur l'impératif de mettre en place une politique forte de gestion des ressources en eau, basée sur une bonne gouvernance" (Financenews, 2014).

La réalité est toutefois vue de manière plus critique par certains analystes, comme El Alaoui (2006) qui considère que "l'œuvre législative et réglementaire et l'œuvre institutionnelle ont finalement abouti, respectivement, à une compilation de textes fragmentaires comportant un certain nombre de lacunes et d'incohérences et à une juxtaposition d'institutions sectorielles et de missions constituant un lourd et coûteux appareil technico-administratif d'intervention"; et par le Conseil Economique, Social et Environnemental (2014), qui reconnaît que "le Ministère Délégué Chargé de l'Eau et le Conseil Supérieur de l'Eau et du Climat ne constituent pas dans les faits de véritables entités de coordination" et note "la multiplicité des intervenants et opérateurs et

le chevauchement parfois de leurs attributions", relevant aussi "l'insuffisance d'autonomie et d'indépendance des agences de bassin hydraulique vis-à-vis du département de l'eau". Ces problèmes ont partiellement été pris en compte par la nouvelle loi sur l'eau de 2015.

La Banque mondiale (World Bank, 2016) a récemment fait l'éloge de l'approche adoptée par le Maroc qui a "pour but d'assurer une triple victoire" ('triple win'), "en adaptant le pays aux réalités du changement climatique, en réduisant son impact sur les populations et l'environnement, tout en créant des opportunités comme par exemple aider les paysans à adopter des techniques appropriées (climate-smart), à accroitre leur productivité, et à mieux se connecter aux marchés". Ajoutant que "le Maroc s'efforce de conserver ses nappes phréatiques (…) [ce qui est] une victoire pour l'environnement et pour les générations actuelles et futures". De telles déclarations entretiennent l'illusion d'un essor de l'agriculture irriguée qui pourrait se faire en parallèle à la conservation de la ressource en eau.

Certain professionnels sont plus clairvoyants : "nous avons tiré la sonnette d'alarme. Nous savons que [la surexploitation des nappes] est un problème très complexe, latent et non visible. On est en train de le remettre à plus tard parce qu'on n'est pas prêt à sacrifier ce qu'on gagne aujourd'hui, et parce qu'il y a des intérêts conflictuels" (Bouignane et Serrhini, 2015). Comme l'exprime également un responsable du Ministère de l'agriculture se référant au PMV et à la surexploitation de l'aquifère de la plaine du Saïss: "on est en train de subventionner le désastre" (cité par Del Vecchio, 2013).

Conclusions

La reconversion subventionnée de l'irrigation gravitaire au goutte-à-goutte apporte des avantages économiques substantiels, allant de revenus et de rendements plus élevés à la réduction des besoins en travail et des factures d'énergie (lorsque le pompage d'eau souterraine profonde est réduit), tout en facilitant un passage à des cultures de rente et une plus haute productivité de l'eau. Les annonces telles que « l'irrigation doit améliorer ses performances, avec moins d'eau et de façon plus durable » (MAPM, 2007b), ou « les agriculteurs ont pu ainsi diversifier leurs systèmes de production et réaliser jusqu'à 3 fois plus de production avec 2 fois moins d'eau» (l'Economiste, 2016) sont trompeuses, contraires aux réalités hydrologiques, et relèvent de l'incantation.

Les conséquences réelles de l'introduction de la micro irrigation sur la circulation de l'eau au niveau de la parcelle, des systèmes d'irrigation ou des bassins, et plus généralement l'importance de l'échelle dans la notion d'efficience de l'irrigation, ont fait l'objet d'une littérature et de débats considérables. Bien que les détails techniques puissent devenir complexes, le message reste relativement simple. Il a toutefois du mal à percoler au niveau des décideurs...

Même avec des hypothèses basses ou optimistes, il est très improbable que le goutte-à-goutte permette de réduire la consommation en eau (ET), autrement dit qu'il réalise des économies d'eau réelles au niveau d'une parcelle reconvertie. Même si les mesures de E et T sont très délicates et si l'on peut trouver des configurations où la baisse de E sera supérieure à la hausse de T, la différence sur le total sera minimale (typiquement inférieure à 10% selon la littérature). Il est essentiel de réaliser que

dans tous les cas l'intensification (plus haute densité en arboriculture, cultures intercalaires, irrigations plus fréquentes) et les changements de cultures (vers des assolements plus consommateurs en eau, typiquement les fruits et légumes) observés au Maroc aboutiront plutôt à un effet opposé : l'augmentation des consommations en eau.

A cela il faut ajouter les incitations à l'*expansion* de l'agriculture irriguée (plus particulièrement dans les bassins en déficit du Bouregreg, Oum Er Rbia, Tensift, Souss-Massa-Draâ, Tafilalet ou dans la plaine du Saïss), qui sont encore plus problématiques : l'expansion se produit au niveau de l'exploitation (pour les agriculteurs qui réutilisent les gains du goutte-à-goutte pour irriguer des terres adjacentes) et au niveau du bassin, avec des investissements publics dans de nouveaux périmètres irrigués, l'octroi de subventions et d'autorisations de creusement de puits, et un accès facilité aux terres revêtant un statut autre que la propriété privée.

Il est urgent de réaliser que, malgré tous les avantages qui peuvent leur être associés, l'intensification et l'expansion de l'agriculture associées au goutte-à-goutte et encouragées par le Plan Maroc Vert, conduisent à un accroissement de la consommation d'eau par évapotranspiration, et que cela n'est possible a) qu'en sollicitant toujours plus les bassins « excédentaires » du Nord (Sebou et plus marginalement Loukkos), qui finiront par se « fermer », b) en aggravant le déficit des principaux aquifères, et c) en augmentant la vulnérabilité de l'agriculture à la variabilité hydrologique: l'accroissement de l'arboriculture crée une demande rigide et structurelle qu'on ne pourra assurer en cas de sécheresse prolongée, comme celle du début des années 80. Plus inquiétant encore, les scénarios des PDAIRE pour 2030 ne tiennent pas compte du changement climatique et des baisses annoncées.

Les ressources en eaux souterraines sont la variable d'ajustement. Ces ressources couvrent 90% des besoins en eau potable et sont utilisées pour l'irrigation de près de 40% de la superficie totale irriguée du Royaume, en contribuant à plus de 50% de la valeur économique produite correspondant (selon la Ministre de l'eau, citée par Maroc.ma, 2014). Leur préservation est donc essentielle et les actions du PMV devraient donc être raisonnées spatialement, en les limitant aux zones où celles-ci sont compatibles avec l'état de la ressource. Même si le Maroc assure un suivi de sa ressource en eau qui peut être envié dans la région, la complexité des interactions hydrologiques associées à la fermeture des bassins demande le développement d'une capacité de suivi hydrologique plus sophistiquée, à la hauteur des enjeux actuels.

En d'autres termes, si les avantages associés à l'intensification et à la modernisation de l'agriculture ne doivent bien sûr pas être négligés, les changements en cours doivent être raisonnés, et encadrés, par des études techniques à même de mieux estimer si et où de tels investissements sont souhaitables du point de vue des ressources en eaux disponibles et de leur variabilité.

Pour en savoir plus

Agence de bassin hydraulique du Sébou, 2011. *Etude d'actualisation du plan directeur d'aménagement intégré des ressources en eau du bassin hydraulique de Sébou.* Note de synthèse. Septembre.

Belghazi A, 2016. Les terres collectives irriguées seront immatriculées gratuitement. *Medias24*, 14 Mars.

Belghiti M, 2009. Le plan national d'économie d'eau en irrigation (PNEEI): une réponse au défi de la raréfaction des ressources en eau. 12ème Conférence Inter Régionale Enviro Water. *Revue Hommes Terre et Eaux,* 143/144.

Benouniche M, Kuper M, Hammani A. 2014a. Mener le goutte-à-goutte à l'économie d'eau: ambition réaliste ou poursuite d'une chimère? *Alternatives Rurales*, 2.

Benouniche M, Kuper M, Hammani A, Boesveld H, 2014b. Making the user visible: analyzing irrigation practices and farmers' logic to explain actual drip irrigation performance. *Irrigation Science*, 32(6): 405-420.

Berbel J, Gutiérrez-Martín C, Rodríguez-Díaz JA, Camacho E, Montesinos P, 2014. Literature review on rebound effect of water saving measures and analysis of a Spanish Case Study. *Water Resources Management*, 29: 663–678.

Bouignane A, Serrhini N, 2015. Enjeux et perspectives d'une gestion durable de la nappe de Fez-Meknès. *Alternatives Rurales*, 3.

Bouyarmane M, 2012. *Etude des comportements des agriculteurs en matière de gestion et d'exploitation des eaux souterraines (Cas de la nappe Saïs).* Mémoire de fin d'étude ENA Meknès.

BRLi et Agroconcept, 2013. *Gestion de la demande en eau dans le bassin méditerranéen – Exemple du Maroc - Cas d'étude du Souss Massa.* AFD et Plan Bleu.

Burt CM, Howes DJ, Mutziger A, 2001. *Evaporation Estimates for Irrigated Agriculture in California.* Irrigation Training and Research Center, rapport 01-002.

Conseil Economique, Social et Environnemental, 2014. La gouvernance par la gestion intégrée des ressources en eau au Maroc : Levier fondamental de développement durable. Version définitive. Auto-Saisine, 15.

Commission Interministérielle de l'Eau, 2004. *Bilan des réalisations.* Ministère de l'aménagement du territoire de l'eau et de l'environnement.

Del Vecchio K, 2013. *Une politique contractuelle sans contrôle? La régulation des ressources en eau souterraine dans la plaine du Saïss au Maroc.* Mémoire de Master.

Doukkali MR, 2005. Water institutional reforms in Morocco. *Water Policy*, 7: 71–88.

El Alaoui M, 2006. *Développement de l'agriculture irriguée, dispositif juridique et institutionnel et stratégie de gestion de l'eau au Maroc.* Actes du séminaire Wademed, Cahors, France, 6-7 novembre. Cirad, Montpellier, France.

El Gueddari ABS, Arrifi M, 2009. L'agriculture irriguée au Maroc face à la rareté des ressources en eau? *L'Etat des Ressources en Eau au Maghreb en 2009*, Chapitre 10. Editions UNESCO.

FAO, 2001. L*a valorisation de l'eau d'irrigation dans un grand périmètre irrigué: Le cas du périmètre du Loukkos au Maroc. Méthodologie et Enseignements.* Rome : FAO.

FAO, 2009. *Appui au Programme National d'Économie d'Eau d'Irrigation (PAPNEEI). Plan de Gestion Environnemental et Social.* Rome : FAO.

FAO, 2012. *Le passage à l'irrigation localisée collective. Les résultats d'une expérience dans le périmètre des Doukkala*. Rome : FAO.

FAO, 2014.*Initiative régionale pour faire face à la pénurie d'eau dans la région du Proche Orient et Afrique du Nord. Evaluation Nationale Maroc.* Rome : FAO.

Financenews, 2014. Gestion de l'eau : Les eaux souterraines menacées. 3 Avril.

Fofack R, Kuper M, Petit O, 2015. Hybridation des règles d'accès à l'eau souterraine dans le Saïss (Maroc): entre anarchie et Léviathan? *Etudes rurales*, 196 : 127-150.

Fofack R, 2012. *Analyse des règles d'accès à l'eau souterraine dans un contexte de mutations de l'agriculture et des politiques publiques au Maroc : le cas de l'aquifère du Saïss*. Mémoire de Master. Lille: Institut d'Etudes Politiques.

González-Cebollada C, 2015. Water and energy consumption after the modernization of irrigation in Spain. *WIT Transactions on The Built Environment*, 168: 457-465.

Haut Commissariat au Plan, 2007. *Agriculture 2030. Quel avenir pour le Maroc. Prospective Maroc 2030.* En collaboration avec le Conseil Général du Développement Agricole.

INTERA, 2013. Remote-sensing-based comparison of water consumption by drip-irrigated versus flood-irrigated fields. Deming, New Mexico. Report Prepared for New Mexico Interstate Stream Commission.

Jobbins G, Kalpakian J, Chriyaa A, Legrouri A, El Mzouri, EL, 2015. To what end? Drip irrigation and the water–energy–food nexus in Morocco. *International Journal of Water Resources Development,* 31(3): 393-406.

Kuper M, Hammani A, Chohin A, Garin P, Saaf M, 2012. When groundwater takes over: linking 40 years of agricultural and groundwater dynamics in a large-scale irrigation scheme in Morocco. *Irrigation and Drainage,* 61(S1): 45-53.

Kuper M, Ameur F, Hammani A, 2017. Unravelling the enduring paradox of increased pressure on groundwater through efficient drip irrigation. In Venot JP, Kuper M, Zwarteveen MZ (Eds), *Drip Irrigation for Agriculture. Untold stories of efficiency, innovation and development.* Routledge Earthscan Series.

L'Economiste. 2016. Ressources hydriques agricoles – Il faut assurer la résilience. 15/7/2016.

L'Economiste. 2017. Un appui décisif pour le Plan Maroc Vert. 09/3/2017.

MAPM (Ministère de l'Agriculture et de la Pêche Maritime). 2007a. Programme national d'économie d'eau en irrigation. Document principal. 10 Juillet 2007.

MAPM (Ministère de l'Agriculture et de la Pêche Maritime). 2007b. Programme national d'économie d'eau en irrigation. Note de synthèse.

MAPM (Ministère de l'Agriculture et de la Pêche Maritime). 2014. L'agriculture marocaine en chiffre, 2014.

Maroc.ma. 2014. Les eaux souterraines jouent un rôle très important dans le développement socioéconomique du Maroc. Mardi 16 Septembre 2014.

Molden D, Sakthivadivel R, Samad M. 2001. Accounting for changes in water use and the need for institutional adaptation. In Intersectoral management of river basins: Proceedings of an international workshop on "Integrated Water Management in Water-Stressed River Basins in Developing Countries: Strategies for Poverty Alleviation and Agricultural Growth," pp. 73-87, ed. C. L. Abernethy. IWMI and Inwent.

Molle F, 2008. Why enough is never enough: The societal determinants of river basin closure. *International Journal of Water Resource Development,* 24 (2): 217-226.

Molle F, 2017. Conflicting policies: agricultural intensification vs. water conservation in Morocco. G-Eau Working Paper.

Molle F, Wester P, Hirsch P, 2010. River basin closure: Processes, implications and

responses. *Agricultural Water Management* 97: 569-577.

Monitor Group. 2008. *Etude de mise a jour de la stratégie nationale de l'eau et des plans d'action à court, moyen et long termes pour le développement du secteur de l'eau du Maroc.*

Nations Unies. 2014. Examen des performances environnementales – Maroc, synopsis. Commission Economique des Nations Unies pour l'Afrique, Bureau pour l'Afrique du Nord.

Oubalkace M 2007. *Stratégie méditerranéenne pour le développement durable - Suivi des progrès dans le domaine de l'eau et promotion de politiques de gestion de la demande. Rapport final (Royaume du Maroc).* Commission Méditerranéenne du Développement Durable.

Perry C, Steduto P, Allen RG, Burt CM, 2009. Increasing productivity in irrigated agriculture: Agronomic constraints and hydrological realities. *Agricultural Water Management* 96: 1517–1524.

Perry CJ, Steduto P, 2017. Does hi tech irrigation save water? A review of the evidence. *Regional Initiative Series No. 4.*FAO, Regional Office for Near East and North Africa, Cairo, Egypt.

Riverside, 2010. *Satellite based evapotranspiration mapping and water use by rural communes of Morocco.* Study for World Bank, Final report. Riverside, Fort Collins.

Sese-Minguez S, Boesveld H, Asins-Velis S, van der Kooij S, Maroulis J, 2017. Transformations accompanying a shift from surface to drip irrigation in the semi-arid Cànyoles watershed, Valencia, Spain.*Water Alternatives* 10(1).

Sraïri MT, 2015. Quelles marges de manœuvre pour l'agriculture marocaine face à la contrainte hydrique ? *Libération*, Mardi 24 Novembre.

Tanouti O, Molle F, 2013. Réappropriations de l'eau dans les bassins versants surexploités. Le cas du bassin du Tensift (Maroc). *Etudes Rurales*, 192: 79-96.

Tanouti O, Molle F, Leduc C, 2016. *Analyse du statut actuel des ressources en eau, de leur gouvernance et des réformes de politiques publiques.* Livrable D2.5. Projet AMETHYST - Rapport sur la gouvernance de l'eau et des réformes de politiques publiques.

Thorenson B, Lal D, Clark B, 2013. Drip irrigation impacts on evapotranspiration rates in California's San Joaquin valley. In Wahlin, B.T. and Anderson, S.S. (Eds), *Using 21st century technology to better manage irrigation water supplies,* pp. 155–169. Phoenix, Arizona: USCID.

Valette E, Chéry JP, Debolini M, Azodjilande J, François M, El Amrani M, 2013. Urbanisation en périphérie de Meknès (Maroc) et devenir des terres agricoles : l'exemple de la coopérative agraire Naïji. *Cahiers Agricultures*, 22(6): 535-543.

van der Kooij S, Zwarteveen M, Kuper M, 2015. The material of the social: the mutual shaping of institutions by irrigation technology and society in Seguia Khrichfa, Morocco. *International Journal of the Commons,* 9(1): 129–150.

World Bank. 2008. *Marchés fonciers pour la croissance économique au Maroc. Volume I – Héritage et Structures Foncières au Maroc. Les contraintes structurelles et institutionnelles à l'émergence d'un marché efficient du foncier au Maroc.* World Bank.

World Bank. 2009. Project performance assessment report. Morocco Water Resources Management Project. Report No. 48732.