HAL
open science

Evaluation des économies d'eau à la parcelle réalisables par la modernisation des systèmes d'irrigation

C. Serra Wittling, Bruno Molle

To cite this version:

C. Serra Wittling, Bruno Molle. Evaluation des économies d'eau à la parcelle réalisables par la modernisation des systèmes d'irrigation. irstea. 2017, pp.149. hal-02608073

HAL Id: hal-02608073

https://hal.inrae.fr/hal-02608073v1

Submitted on 16 May 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Evaluation des économies d'eau à la parcelle réalisables par la modernisation des systèmes d'irrigation

Etude réalisée avec le soutien du
Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation *

Claire SERRA-WITTLING
Bruno MOLLE
Septembre 2017

** La responsabilité du Ministère en charge de l'agriculture ne saurait être engagée*

UMR G-EAU
361, rue JF Breton - BP 5095 - 34196 Montpellier Cedex 5

Sommaire

Résumé 3
Summary 4
Liste des figures 5
Liste des tableaux 6
Liste des abréviations 7
1. Contexte et objectifs de l'étude 8
1.1. Contexte de l'étude 8
1.2. Objectifs de l'étude 12
1.3. Cadrage de l'étude 13
2. Efficience de l'irrigation 16
2.1. Définitions de l'efficience d'irrigation et de la productivité de l'eau 16
2.2. Les étapes de l'efficience d'irrigation 17
2.3. Evaluation des volumes d'eau à chaque étape de l'efficience 18
2.4. Nature des pertes d'eau d'irrigation 19
2.5. Origine des pertes d'eau d'irrigation 21
2.6. Valeurs d'efficience 23
2.7. Efficience et économies d'eau réalisables par la modernisation des systèmes d'irrigation 24
3. Méthodologie de l'étude 29
3.1. Phase 1 : Acquisition de références d'économies d'eau 29
3.1.1. Etude bibliographique 29
3.1.2. Collecte de données à partir d'entretiens 29
3.2. Phase 2 : Analyse des données d'économie d'eau 34
3.3. Phase 3 : Conception de l'outil d'évaluation des économies d'eau 35
3.4. Phase 4 : évaluation de l'efficience des systèmes 38
3.4.1. Méthode générale 38
3.4.2. Etude de deux cas d'irrigation du maïs 45
4. Analyse des données d'économie d'eau réalisées 47
4.1. Synthèse des valeurs d'économies d'eau 47
4.2. Comparaison avec les dires d'experts 51
4.3. Variabilité importante des résultats d'économie d'eau 53
4.4. Influence de la réserve utile du sol sur l'économie d'eau 53
4.5. Influence de l'année climatique sur les économies d'eau 53
4.6. Cas particulier du goutte-à-goutte enterré 54

4.7. Cas particuliers des équipements de précision hydro-économes 56
5. Outil d'évaluation des économies d'eau potentiellement réalisables 57
6. Evaluation de l'efficience des systèmes 60
6.1. Cas n° 1. Villeneuve-de-Marsan, 2013-2015 [fiche n° 5] 60
6.2. Cas n° 2. Saint-Maurice-de-Gourdans, 2007 et 2009 [fiche n° 2] 63
7. Conclusion générale et perspectives 66
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES 69
ANNEXES 72
ANNEXE 1. Références économies d'eau 73
ANNEXE 2. Liste complète des organismes contactés 74
ANNEXE 3. Liste des fiches de synthèses des références d'économies d'eau collectées 78
ANNEXE 4. Fiches de synthèse des références d'économies d'eau collectées 81

Résumé

Les irrigants peuvent prétendre à des aides financières européennes, sur fonds FEADER, pour leurs **investissements d'hydraulique agricole**, à condition que le nouveau système d'irrigation soit susceptible de permettre **une économie d'eau de 5 à 25%, sans diminution du rendement des cultures**. Pour cela, une évaluation *ex-ante* des économies d'eau potentielles permises par les investissements mis en œuvre doit être réalisée. Cependant, à ce jour, il n'existe pas de méthodologie pour quantifier *ex ante* ces économies d'eau.

L'objectif de cette étude est donc d'élaborer un outil simple qui permette aux exploitants agricoles, aux conseillers en irrigation et aux organismes instruisant les dossiers de subvention, **d'évaluer *ex ante* les économies d'eau potentielles réalisables** en passant d'un système d'irrigation existant à un système projeté, en tenant compte du contexte agro-pédo-climatique de l'installation.

Des **références d'économies d'eau réalisées à la parcelle**, par un changement de matériel d'irrigation ou de pilotage de l'irrigation, ont été collectées auprès de divers organismes. Elles représentent un large éventail de conditions pédoclimatiques du territoire métropolitain et concernent les grandes cultures, l'arboriculture et le maraîchage.

Il apparaît que les valeurs d'économies d'eau réalisées présentent une **grande variabilité**. Pour une même culture, cette variabilité s'observe entre les différents essais, en raison des **caractéristiques du sol et du climat**. Au sein d'un même essai, les résultats ne sont pas systématiquement reproductibles d'une année sur l'autre. Les économies d'eau les plus fortes sont souvent observées en année humide, alors qu'elles sont moins conséquentes en année sèche. De même, elles tendent à être plus importantes dans les sols à faible réserve utile.

A partir des références collectées, un **référentiel d'économies d'eau potentiellement réalisables** par un changement de matériel d'irrigation ou de pilotage a pu être établi.

En complément, une analyse fine de **l'efficience de l'irrigation** a été réalisée afin de déterminer la nature des **pertes d'eau d'irrigation** pour différents systèmes et de les quantifier. Elle a permis de distinguer les économies potentielles liées aux performances du système d'irrigation à proprement parler, de celles liées aux pratiques d'irrigation. Elle a mis en évidence que les économies d'eau sont imputables, certes, à la **modernisation du matériel d'irrigation** (réduction de l'hétérogénéité de la distribution, de la dérive/évaporation, de l'évaporation du sol), mais également à la **conduite de l'irrigation** (diminution du drainage, de l'eau résiduelle dans le sol après récolte). Afin de favoriser les économies d'eau, il apparaît donc important de soutenir, parallèlement aux investissements de matériels économes en eau, les améliorations de pratiques des irrigants avec, entre autres, le **pilotage de l'irrigation**.

Summary

Irrigators can obtain subsidies from FEADER for their **investment in irrigation equipment**, provided their new irrigation infrastructure can potentially allow **water savings of 5 to 25%, without having a negative impact on crop yield**. In this purpose, an *ex-ante* assessment of potential water savings through the anticipated investment is necessary. Though, no methodology is available so far to quantify *ex ante* these water savings.

The aim of this study was to develop a simple tool to allow farmers, irrigation advisors and institutions that examine the subsidy files, **to assess *ex-ante* potential water savings that can be realised** when switching from an existing system to a new one, taking into account the crop, soil and climate context of the installation.

References on water savings realised at plot scale through the replacement of irrigation devices or irrigation management equipment were collected from different organisations. They represent a wide range of pedoclimatic conditions on the metropolitan French territory and are related to field crops, fruit and vegetable production.

It appears that the values of achieved water savings show **considerable variability**. For a given crop, this variability is observed between different experiments because of the **soil and climate characteristics**. Within the same experiment, results are not systematically reproducible from year to year. The highest water savings are often observed during humid years and are less important in dry years. They also tend to be greater in soils with low water holding capacity.

From these collected references, a **referential of potentially achievable water savings** through the change of irrigation equipment or irrigation management could be developed.

In addition, a detailed analysis of **irrigation efficiency** was performed in order to determine the origin of **irrigation water losses** for different irrigation systems and quantify these losses. It allowed to differentiate potential water savings related to the performance of the irrigation system itself from those related to the irrigation practices. It pointed out that water savings are surely attributable to the **modernisation of irrigation equipment** (reduction of distribution heterogeneity, drift/direct evaporation during sprinkler irrigation, soil evaporation), but also to the **irrigation management** (reduction of drainage and residual water in soil after harvest). To promote water savings, it seems relevant to support, in parallel with the investments in water saving material, the improvement of irrigators' practices and, among others, **irrigation scheduling**.

Liste des figures

Figure 1. Etapes du cheminement de l'eau d'irrigation et de pluie à la parcelle, nature des pertes, calcul des efficiences 16

Figure 2. Synthèse des valeurs d'efficience d'après les références scientifiques du tableau2 22

Figure 3. Méthodologie de la phase 1 28

Figure 4. Répartition géographique des références collectées 32

Figure 5. Etapes du cheminement de l'eau et calcul de l'efficience de l'irrigation 39

Figure 6. Calcul des volumes d'eau en jeu dans l'efficience globale de l'irrigation 40

Figure 7. Calcul de la pluie efficace avec Optirrig 42

Figure 8. Economies d'eau réalisées lors du passage de l'aspersion au goutte-à-goutte de surface (GGS) ou enterré (GGE) sur maïs en fonction de la réserve utile du sol 52

Figure 9. Economies d'eau réalisées lors du passage de l'aspersion au goutte-à-goutte enterré sur 3 sites d'essai en maïs, en fonction de l'année climatique 53

Figure 10. Rendements du maïs observés et simulés avec Optirrig pour les différents systèmes : pivot et goutte-à-goutte enterré (GGE) à Villeneuve-de-Marsan 59

Figure 11. Hauteurs d'eau apportée et économies d'eau réalisées avec le goutte-à-goutte enterré (GGE) par rapport au pivot à Villeneuve-de-Marsan 59

Figure 12. Hauteurs d'eau apportée et réellement transpirée par le maïs, efficience globale d'irrigation avec différents systèmes : pivot et goutte-à-goutte enterré (GGE) à Villeneuve-de-Marsan 59

Figure 13. Répartition de l'eau d'irrigation entre la transpiration réelle de la culture et les différentes pertes pour le pivot et le goutte-à-goutte enterré (GGE) à Villeneuve-de-Marsan 60

Figure 14. Rendements du maïs observés et simulés avec Optirrig pour les différents systèmes : enrouleur, GGE 1,5 m (gaines espacées de 1,50 m), GGE 1,0 m (gaines espacées de 1,0 m) à St-Maurice-de-Gourdans 62

Figure 15. Hauteurs d'eau apportée et économies d'eau réalisées avec le goutte-à-goutte par rapport à l'enrouleur (GGE 1,5 m gaines espacées de 1,50 m ; GGE 1,0 m gaines espacées de 1,0 m) à St-Maurice-de-Gourdans 62

Figure 16. Hauteurs d'eau apportée et réellement transpirée par le maïs, efficience globale d'irrigation avec différents systèmes : enrouleur, GGE 1,5 m (gaines espacées de 1,50 m), GGE 1,0 m (gaines espacées de 1,0 m) à St-Maurice-de-Gourdans 62

Figure 17. Répartition de l'eau d'irrigation entre la transpiration réelle de la culture et les différentes pertes à St-Maurice-de-Gourdans 64

Liste des tableaux

Tableau 1. Valeurs d'économie d'eau couramment reconnues et admises 9

Tableau 2. Superficies irrigables par mode d'irrigation (en milliers d'ha) sur le territoire français métropolitain (source : recensement agricole, 2010) 10

Tableau 3. Estimation des surfaces irriguées par type de système d'irrigation (en milliers d'ha) dans les 9 régions françaises à plus forte surface irriguée 11

Tableau 4. Valeurs d'efficiences. (Ed, efficience de distribution, Ea efficience d'application, Es efficience de stockage, Ec efficience de consommation, Et efficience de transpiration, EG efficience globale d'irrigation) 25

Tableau 5. Réduction des apports d'eau pour différentes cultures lors du passage de l'irrigation gravitaire au goutte-à-goutte en Inde (d'après Molden et al, 2007) 23

Tableau 6. Liste des références collectées 29

Tableau 7. Valeurs d'économies d'eau réalisées dans les références collectées, pour les différents types de cultures, lors du passage d'un ancien vers un nouveau système d'irrigation. Les valeurs entre crochets indiquent le numéro de la référence 48

Tableau 8. Valeurs d'économies d'eau réalisées par l'utilisation d'un système de pilotage de l'irrigation dans les références collectées, pour les différents types de cultures. Les valeurs entre crochets indiquent le numéro de la référence 50

Tableau 9. Dires d'experts concernant les économies d'eau réalisées 51

Tableau 10. Comparaison des valeurs d'économies d'eau collectées avec les dires d'experts et les références de l'étude « renforcement des actions d'économies d'eau en irrigation dans le bassin Adour-Garonne » de l'Agence de l'Eau Adour Garonne (AEAG) 51

Tableau 11. Economies d'eau potentiellement réalisables par un changement de matériel d'irrigation 57

Tableau 12. Economies d'eau potentiellement réalisables par l'acquisition et l'utilisation d'un matériel de pilotage 58

Liste des abréviations

ASA	Association Syndicale autorisée
CA	Chambre d'Agriculture
GG	Goutte-à-goutte
GGE	Goutte-à-goutte enterré
GGS	Goutte-à-goutte de surface
GGSE	Goutte-à-goutte semi-enterré
nd	non-déterminé
MAAF	Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt
MEEM	Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer
OAD	Outil d'Aide à la Décision
RFU	Réserve facilement utilisable
RU	Réserve utile
SAR	Société d'Aménagement Régional

1. Contexte et objectifs de l'étude

1.1. Contexte de l'étude

Le règlement européen et les Programmes de Développement Rural (PDR)

Le point de départ, à l'origine du lancement de l'étude, est l'article 46, point 4, du règlement européen n°1305/2013 relatif au soutien au développement rural par le Fonds Européen Agricole pour le Développement Rural (FEADER) (encadré 1).

Encadré 1. Règlement européen n°1305/2013 relatif au soutien au développement rural par le Fonds Européen Agricole pour le Développement Rural (FEADER) - *Article 46, point 4*.

Un investissement dans l'amélioration d'une installation d'irrigation existante ou d'un élément d'une infrastructure d'irrigation n'est admissible que s'il ressort d'une évaluation *ex ante* qu'il est **susceptible de permettre des économies d'eau d'un minimum compris entre 5 % et 25 %** selon les paramètres techniques de l'installation ou de l'infrastructure existante.

Si l'investissement a une incidence sur des masses d'eau souterraines ou superficielles dont l'état a été qualifié de moins que bon dans le plan de gestion de district hydrographique pertinent pour des raisons liées à la quantité d'eau :
a) l'investissement assure une réduction effective de l'utilisation de l'eau, au niveau de l'investissement, qui s'élève à 50 % au moins de l'économie d'eau potentielle que l'investissement rend possible;
b) dans le cas d'un investissement dans une seule exploitation agricole, il se traduit également par une réduction de l'utilisation d'eau totale de l'exploitation d'au moins 50 % de l'économie d'eau potentielle rendue possible au niveau de l'investissement. L'utilisation d'eau totale de l'exploitation inclut l'eau vendue par l'exploitation.

Ce règlement s'applique à l'échelle régionale par le biais des Programmes de Développement Rural Régionaux (PDRR). Les matériels éligibles, ainsi que les seuils d'économies d'eau exigés diffèrent donc d'une région à l'autre (encadré 2). Ainsi le passage de l'irrigation gravitaire à un système sous pression est éligible pour une économie d'eau potentielle de 25% en Languedoc-Roussillon et 20% en Auvergne. L'économie exigible pour un changement de matériel sous pression est de 10% en Languedoc-Roussillon et Midi-Pyrénées et 5% en Auvergne.

Encadré 2. Exemples d'aides de financement (extraits des PDR 2014-2020)

LANGUEDOC-ROUSSILLON.

Appel à projet PCAE 2017. Investissements en faveur d'une gestion qualitative et quantitative de la ressource en eau. Sous-mesure 4.1 – Aide aux investissements dans les exploitations agricoles
Type d'opération 4.1.3 – Investissements en faveur d'une gestion qualitative et quantitative de la ressource en eau.

▶ **Matériels liés à l'économie de la ressource sur les réseaux existants**

⇨ Système d'arrosage économe en eau (goutte à goutte, rampes d'arrosage) pour les secteurs horticole, arboricole, maraîcher, en remplacement d'une installation existante et ne se traduisant donc pas par une augmentation nette de la zone irriguée, disposant d'un système de mesure de la consommation d'eau et permettant la réalisation d'au moins :

- **25% d'économies d'eau pour le passage de l'irrigation gravitaire à un système goutte à goutte,**

- **10% d'économies d'eau pour les autres cas d'amélioration du système d'irrigation.**

⇨ Matériels de pilotage de l'irrigation et équipements de maîtrise des apports d'eau à la parcelle.

Pour tous les projets présentant au moins un matériel lié à l'économie de la ressource en eau, le demandeur devra préciser dans le formulaire sa consommation d'eau des 3 dernières années et estimer son prévisionnel de consommation après projet. Cette estimation pourra être faite à partir de références de l'Agence de l'eau (cf annexe 1) ou des données du fournisseur du matériel (à justifier).

AUVERGNE

Type d'opération 4.1.5 - Investissements individuels pour la valorisation agricole de l'eau

▶ **Matériel et équipements d'irrigation à la parcelle**

⇨ Matériel ou équipement de contrôle de la distribution de l'eau (exemples : tensiomètres, compteurs),

⇨ **Matériel de distribution de l'eau, s'il s'agit d'une complète modification de process de distribution permettant des économies d'eau (ex : passage vers un système de goutte à goutte)**

S'il ressort d'une évaluation *ex-ante* que l'investissement peut permettre des économies d'eau potentielles, au minimum de 5% pour les réseaux sous pression, 20% pour les réseaux gravitaires.

MIDI-PYRENEES

Appel à projets 2017. Mesure 413 – Investissements spécifiques agro-environnementaux

Liste des investissements éligibles

Réduction de la pression des prélèvements existants sur la ressource en eau

▶ **Matériel de mesure en vue de l'amélioration des pratiques**

⇨ Logiciel de pilotage de l'irrigation

⇨ Station agro-météorologique

⇨ Appareils de mesures pour déterminer les besoins en eau (tensiomètres, capteurs sols, capteurs plantes, sondes capacitives)

▶ **Matériels spécifiques économes en eau**

⇨ Système « brise-jet »

⇨ Système de régulation électronique sur les matériels d'irrigation (les outils et les vannes programmables, régulation électronique de la station de pompage, les postes de commandes avec programmateur, les kits d'alimentation)

⇨ Les cannes de descente et busages associés depuis les rampes d'irrigation

▶ **Les équipements pour la collecte et le stockage des eaux de pluie (hors réseau de distribution) pour un usage d'irrigation uniquement**

▶ **Les systèmes d'arrosage économes en eau (goutte-à-goutte de surface ou enterré en grandes cultures ou la micro-aspersion en arboriculture)**

⇨ **Ce dispositif doit permettre la réalisation d'au moins 10% d'économie d'eau sur le système d'arrosage**

L'application du règlement

Dans la pratique, lors de la constitution de son dossier de demande de subvention pour un investissement de matériel d'irrigation, l'exploitant agricole doit justifier, par une évaluation *ex ante,* une valeur **d'économie d'eau susceptible d'être réalisée** par cet investissement.

Dans un document de la Commission européenne en date de novembre 2014 précisant des lignes directrices pour les investissements en irrigation dans le cadre du Règlement de Développement Rural, la Commission donne quelques précisions sur la manière dont cette évaluation *ex ante* peut être menée : « le " potentiel d'économie d'eau " offert par un investissement donné est toujours apprécié *ex ante*. Chaque pays membre est libre d'utiliser la méthode qu'il souhaite. Dans certains cas, il pourrait être possible de travailler sur la base du certificat du fabricant (par exemple lors du remplacement d'un système d'irrigation en exploitation avec un autre). Dans d'autres cas, un avis d'expert pourrait être nécessaire. »

Or en France, à l'heure actuelle, il n'existe pas de méthodologie standardisée permettant l'évaluation *ex ante* de l'économie d'eau potentiellement réalisable. Le plus souvent sont utilisées les valeurs d'économie d'eau couramment admises (tableau 1) issues de dires d'experts ou les valeurs de consommations en eau décrites dans la Loi sur l'Eau et les Milieux Aquatiques (annexe 1). Ces valeurs sont très générales, ne tiennent pas compte du type de sol, du climat, de la culture, ni de l'état du matériel actuel sur la parcelle. Elles ne prennent pas non plus en considération les contraintes de l'agriculteur qui ne lui permettent pas de mettre en œuvre certaines pratiques. Par exemple s'équiper d'un goutte-à-goutte lorsqu'on ne dispose que d'un tour d'eau de 5 jours n'est pas réaliste.

Tableau 1. Valeurs d'économie d'eau couramment reconnues et admises (issues de dires d'experts)

Modernisation du système	Economie d'eau potentielle
Gravitaire → aspersion	60 %
Aspersion → irrigation localisée	20 – 30 %
Enrouleur → pivot	25 %

Justification des économies d'eau réalisées

Le règlement européen précise que les économies effectives réalisées suite à un changement de matériel doivent être justifiées *a posteriori* uniquement dans les zones où la masse d'eau est jugée en état quantitatif critique (« état qualifié de moins que bon pour des raisons liées à la quantité d'eau par le SDAGE », encadré 1). **L'économie d'eau réellement réalisée** doit alors s'avérer au moins égale à 50 % de l'économie potentielle annoncée.

Les systèmes d'irrigation en France

Comme le montre le tableau 2, l'**aspersion** représente le mode d'irrigation de loin le plus répandu en France, avec plus de 2 millions d'hectares couverts, soit près de 90% de la surface totale irrigable (c'est-à-dire équipée). L'**irrigation gravitaire** est pratiquée essentiellement pour la culture du riz et dans les parties basses de certaines vallées fluviales. Elle concerne seulement 3% de la surface totale. Elle est une spécificité du Sud de la France (région PACA et Pyrénées Orientales). La **micro-irrigation**, ou irrigation localisée, comprenant la micro-aspersion et le goutte-à-goutte de surface et enterré, ne couvre également qu'une très faible surface (autour de 3% de la superficie totale irrigable) et reste réservée aux vergers, cultures maraîchères et florales et cultures sous serres.

Tableau 2. Superficies **irrigables** par mode d'irrigation (en milliers d'ha) sur le territoire français métropolitain (source : recensement agricole, 2010)

Aspersion	Micro-irrigation	Gravité	Aspersion + Micro irrigation	Aspersion + Gravité	Micro irrigation + Gravité	Aspersion + Micro irrigation + Gravité	**TOTAL**
En milliers d'hectares							
2 012	70	72	118	20	10	6	2 309
En % de la superficie totale irrigable							
87.2%	3.0%	3.1%	5.1%	0.9%	0.4%	0.3%	

Le tableau 3 présente une estimation des surfaces irriguées (c'est-à-dire non seulement équipées, mais réellement irriguées) par type de matériel, établie par recoupement entre le recensement agricole (2010) des cultures irriguées et une étude sur la composition du parc de matériels d'irrigation (Molle et al, 2009). Pour l'aspersion, il apparaît que l'**enrouleur**, utilisé en grandes cultures et cultures fourragères, domine largement et couvre les 2/3 de la surface irrigable. Ce système est principalement utilisé en irrigation de complément, la surface effectivement irriguée par cette technique est donc la plus soumise à fluctuation suivant les années.

Le **pivot** (14% de la surface irrigable) se rencontre principalement dans le Sud-Ouest et le Centre, en grandes cultures et cultures légumières industrielles, là où le parcellaire se prête bien à ce système. Les **rampes frontales**, bien que mieux adaptées aux diverses formes de parcelles, sont moins développées que les pivots (3% de la surface irrigable). Elles sont utilisées pour les grandes cultures mais surtout les cultures sous contrat et l'horticulture de plein champ. A l'inverse des enrouleurs, ces systèmes d'irrigation sont utilisés systématiquement, et non comme variable d'ajustement suivant l'année climatique.

On trouve la **couverture intégrale** (11% de la surface) en grandes cultures, maraîchage, horticulture et arboriculture.

Les **micro-jets** sont utilisés en arboriculture (aspersion sous frondaison), maraîchage et sous abri. Le **goutte-à-goutte de surface** à gaines jetables est utilisé en cultures annuelles, les systèmes réutilisables étant plutôt réservés aux cultures pérennes et aux serres. Le **goutte-à-goutte suspendu** au palissage est en plein développement sur la vigne dans le Sud de la France (Languedoc-Roussillon essentiellement). A noter que le **goutte-à-goutte enterré** est extrêmement peu développé en France ; il reste très marginal, au stade expérimental en grandes cultures.

En France, un changement de matériel peut donc concerner le passage (1) du gravitaire à un système sous pression, (2) d'un système d'aspersion à un autre système d'aspersion, par exemple d'un enrouleur à un pivot en grandes cultures, (3) d'un système d'aspersion à la micro-irrigation, par exemple de la couverture intégrale au goutte-à-goutte en arboriculture.

Tableau 3. Estimation des surfaces **irriguées** par type de système d'irrigation (en milliers d'ha) dans les 9 régions françaises à plus forte surface irriguée

	Gravité	Aspersion				Micro-irrigation	Aspersion + Micro irrigation	Aspersion + Gravité	Micro irrigation + Gravité	Aspersion + Micro irrigation + Gravité	**TOTAL surface irriguée (1000 ha)**
		Enrouleur	Couverture intégrale	Pivot	Rampe						
Centre	0	228	9	42	37	2	6	0	0	0	**325**
Aquitaine	0	119	21	93	6	5	29	1	0	0	**274**
Midi-Pyrénées	1	97	14	72	3	4	12	3	0	0	**205**
Pays de la Loire	1	113	10	8	8	4	9	0	0	0	**152**
Poitou-Charentes	0	115	6	21	0	4	5	1	0	0	**152**
Rhône-Alpes	1	63	16	4	4	6	18	1	0	0	**114**
Provence - Alpes - Côte d'Azur	53	13	7	1	0	14	6	7	7	2	**110**
Languedoc-Roussillon	14	11	9	1	0	22	7	2	2	1	**70**
Alsace	0	35	8	6	6	0	0	0	0	0	**56**

1.2. Objectifs de l'étude

L'objectif de cette étude est donc de mettre au point un outil pour évaluer *a priori* les **économies d'eau potentielles réalisables** (*ex ante*) en passant d'un système d'irrigation existant à un système projeté, en tenant compte du contexte agro-pédo-climatique de l'installation. Le choix a été fait de se baser sur des références d'**économies d'eau réalisées** (*ex post*) à la parcelle avec les divers systèmes d'irrigation, à partir de ressources documentaires existantes. Ces références seront collectées sur un éventail de cultures et de conditions pédo-climatiques du territoire aussi large que possible, en tentant d'approcher tous les systèmes d'irrigation, afin d'estimer *à priori* les **économies d'eau potentiellement réalisables, sur une année climatique moyenne**, lors de futurs investissements.

L'outil final est destiné aux agriculteurs qui doivent être en mesure de justifier leur changement de matériel, aux conseillers en irrigation qui les accompagnent et aux organismes qui instruisent les dossiers de demande de subvention (Conseils régionaux, DDT). Il doit être simple d'utilisation et évolutif afin de permettre l'intégration de nouvelles références.

1.3. Cadrage de l'étude

Périmètre spatial : la parcelle

La présente étude se limite aux économies d'eau réalisables à la parcelle. Elle ne prend donc pas en compte les réseaux en amont de la parcelle, ni les équipements de pompage.

Périmètre temporel : la saison culturale

Les économies d'eau sont considérées à l'échelle de la saison culturale. Idéalement il serait intéressant de pouvoir évaluer les économies dans une même situation pour une saison sèche, une humide et une moyenne. Cela est possible dans quelques rares cas d'essais menés sur plusieurs années.

Cultures

L'étude concerne l'irrigation de toutes les cultures présentes sur le territoire français métropolitain. Celles-ci ont été réparties en quatre groupes : (1) maïs, (2) autres grandes cultures, (3) maraîchage et (4) arboriculture.

Matériel d'irrigation ET outils de pilotage

Les économies d'eau peuvent bien entendu être réalisées par un changement d'équipement d'irrigation. L'étude concerne essentiellement les systèmes d'aspersion (canon enrouleur, couverture intégrale, pivot, rampe) et l'irrigation localisée (micro-aspersion, goutte-à-goutte de surface ou enterré). Même si la conversion de l'irrigation gravitaire vers l'irrigation sous pression fait l'objet de subventions dans le cadre des PDRR, elle ne fait pas partie de l'étude à proprement parler, puisque, comme le montre le tableau 1, les économies réalisées lors d'une telle conversion sont systématiquement très supérieures à 5-25%.

Des économies d'eau peuvent également être générées par une amélioration du pilotage de l'irrigation. L'étude, commandée par le MAAF et le MEEM au bureau d'étude Oréade-Brèche, intitulée « *Economiser l'eau pour l'irrigation en agriculture : analyse comparée de politiques publiques et pistes d'amélioration en France, 2017 »,* propose des pistes d'amélioration des dispositifs d'aides afin de favoriser les économies d'eau en irrigation. Encourager l'utilisation d'outils d'aide à la décision (OAD) pour le pilotage apparaît comme une des stratégies à soutenir par les politiques publiques. Les outils de pilotage et d'automatisation (capteurs, programmateurs, logiciels de pilotage) font donc pleinement partie de la présente étude.

Economies d'eau SANS baisse de rendement

Dans le document de novembre 2014 sur les lignes directrices pour les investissements en irrigation dans le cadre du Règlement de Développement Rural, la Commission européenne définit les économies d'eau comme une réduction de la consommation qui peut être faite grâce à l'investissement sans avoir d'impact négatif sur les cultures pour lesquelles l'eau est destinée (voir encadré 3). En outre, il est aisément compréhensible que, pour pouvoir être envisagé et accepté par un agriculteur, le nouveau système d'irrigation doit permettre des rendements équivalents, voire supérieurs. Dans cette étude, le choix a été fait de se focaliser essentiellement sur les économies d'eau ne pénalisant ni le rendement, ni la qualité de la production.

Encadré 3. Extrait (page 9) du « Guidance document. Support through the EAFRD for investments in irrigation », Version: November 2014. Article 46 of Regulation (EU) No 1305/2013
https://www.google.fr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwizqeP6wbDUAhWDvBoKHSt9DQgQFggiMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.europe-en-franche-comte.eu%2Fcontent%2Fdownload%2F27546%2F406386%2Ffile%2FPt%252007%2520Guidelines%2520%2520-%2520Irrigation%2520%40%2520NOV%252014.doc&usg=AFQjCNHV_1KuFNZSJBfODEySeUGHg4rdHA

"Potential water saving" is the term which the legislator chose to replace the term "increase in water efficiency" that figured in earlier drafts of the RDR. The intended meaning of the new term is – as widely discussed during negotiations on the post-2013 CAP - the same as that of the previous term. It essentially refers to *a reduction which, thanks to the investment, could now be made to the amount of water flowing through the equipment affected by the investment without having a negative impact on the crops to which the water is finally being provided*.

Examples should help to clarify the concept.

Example 2: investment in on-farm equipment
A farmer uses a relatively basic sprinkler system on his farm and decides to upgrade to drip irrigation with a sophisticated computer control system and associated moisture sensors etc.
In order to achieve a certain yield on a certain area under certain external conditions, he currently has to use 10 000 m^3 of water over a given period.
An expert tells him that, with the new system, he will be able to achieve the same yield on the area concerned with 8 000 m^3 of water. This is not only because more water will reach the roots of the crop instead of evaporating but also because, thanks to the automation system, the water will be provided at the right time to help the crop (e.g. when the soil is dry rather than when it is moist).
In this case, the potential water saving is 2 000 m^3, which is 20 % of 10 000 m^3.

Economies d'eau en année climatique moyenne

Le règlement européen de développement rural précise une valeur d'économie d'eau minimale, sans faire état des différences climatiques entre années. Les références collectées d'**économies réalisées** se rapporteront à tous les types d'années climatiques, de très sèches à très humides. Les valeurs estimées d'**économies réalisables** concerneront une année moyenne.

Pratiques d'irrigation

Il est connu que les pratiques d'irrigation constituent également un levier d'économie d'eau considérable. Un matériel très économe en eau mais mal utilisé ne permettra pas d'obtenir les économies escomptées. L'analyse des pratiques ne constitue pas l'axe prioritaire de cette étude orientée « équipements ». Cependant certaines informations sur les pratiques ont été collectées lors de la phase d'acquisition de références, en particulier dans le but d'identifier le type de pilotage et les contraintes imposées et incontournables (tour d'eau par exemple). Le dernier chapitre de l'étude propose une approche complémentaire d'évaluation des économies d'eau potentielles intégrant également les pratiques.

Il en va de même pour l'utilisation non-agronomique de l'irrigation qui est représentée sur le territoire français essentiellement par la lutte anti-gel en arboriculture. Elle fait partie du paysage comme élément de consommation d'eau, et peut expliquer que certains arboriculteurs conservent le système

d’aspersion sur frondaison par couverture intégrale au détriment de la micro-aspersion sous frondaison ou du goutte-à-goutte plus économes en eau. Les volumes d’eau utilisés pour la lutte contre le gel ne seront pas intégrés aux volumes d’irrigation dans cette étude.

2. Efficience de l'irrigation

La problématique des économies d'eau en irrigation est intimement liée à celle de l'efficience. C'est d'ailleurs le terme « amélioration de l'efficience de l'eau » qui était utilisé dans les premières versions du règlement européen de développement rural et qui a ensuite été remplacé par « économie d'eau potentielle ».

La Commission Européenne estime que l'Europe pourrait réduire sa consommation globale en eau de 40% (European Commission, 2010). L'Agence Européenne de l'Environnement a publié en 2012 un rapport faisant état des leviers pour une utilisation optimale et durable de la ressource en eau (Werner and Collins, 2012). L'agriculture emploie à elle seule 33% de l'eau consommée totale en Europe (jusqu'à 80% dans certaines régions du sud). L'accroissement de l'efficience de l'eau en agriculture par des mesures liées à la technologie et la gestion de l'irrigation représente un des leviers d'économie d'eau et une priorité pour la Commission Européenne.

2.1. Définitions de l'efficience d'irrigation et de la productivité de l'eau

La notion d'efficience est utilisée pour caractériser la performance de l'irrigation, afin d'optimiser l'utilisation de la ressource en eau.

On distingue la **définition classique** de l'efficience de la **définition néoclassique** (Lankford, 2006). La première se rapporte au ratio entre la quantité d'eau qui bénéficie réellement à la culture et la quantité d'eau appliquée. La seconde prend en compte l'estimation de la part d'eau d'irrigation potentiellement disponible pour une réutilisation en aval. La définition classique considère l'eau qui quitte la parcelle comme une perte, alors que la définition néoclassique peut l'intégrer dans l'eau réutilisable à l'échelle du bassin versant.

Plusieurs auteurs comparent l'intérêt et l'utilisation de chacune de ces définitions (Seckler et al, 2003 ; Lankford, 2006 ; Jensen, 2007 ; Van Halsema and Vincent, 2012 ; Lankford, 2012 ; Törnqvist and Jarsjö, 2012). Dans la présente étude, dont l'objectif est d'évaluer l'efficience de l'irrigation à l'échelle de la parcelle, la **définition classique** sera utilisée. Au sein même de l'efficience classique, plusieurs variantes existent et de nouvelles définitions voient régulièrement le jour. Nous définirons **l'efficience globale d'irrigation** comme le rapport entre le volume d'eau utilisé bénéfiquement par la culture, c'est-à-dire réellement transpiré par la culture, et le volume à l'entrée de la parcelle (Israelsen, 1950 ; Howell, 2003 ; Hsiao et al, 2007). **L'efficience d'irrigation** fait appel à des ratios de volumes d'eau, c'est donc une valeur sans unité ou exprimée en %. Le concept d'efficience est utilisé, entre autres, en ingénierie de l'irrigation pour évaluer les performances technologiques des systèmes.

La productivité de l'eau, quant à elle, est définie comme le rapport entre une quantité produite et un volume d'eau consommé (Van Halsema et Vincent, 2012). Elle s'exprime le plus généralement en kg/m^3, voire en €/m^3. Elle ne concerne plus uniquement l'eau d'irrigation, mais également le processus de transformation et de production qui inclue la plante et sa physiologie. C'est à la productivité que fait allusion le slogan « more crop per drop » (produire plus par goutte d'eau consommée) (FAO, 2002). La productivité de l'eau est déterminée par le type de culture, sa physiologie et sa génétique, la disponibilité en nutriments pendant le cycle de culture et, dans une moindre mesure, les pratiques culturales et d'irrigation (Van Halsema et Vincent, 2012). Elle peut être accrue en améliorant

l'efficience technologique de l'irrigation, mais également par le biais des pratiques agronomiques et de la sélection variétale.

Dans la présente étude, qui concerne précisément la technologie de l'irrigation, l'accent sera mis principalement sur **l'efficience de l'irrigation**.

2.2. Les étapes de l'efficience d'irrigation

Depuis son entrée à la parcelle, jusqu'à son utilisation effective par les plantes, l'eau d'irrigation franchit plusieurs étapes. Hsiao et al (2007) distinguent trois étapes à l'échelle de la parcelle : (1) l'eau en entrée de parcelle, (2) l'eau stockée dans la zone racinaire et (3) l'eau évapotranspirée. Ils définissent ainsi deux efficiences à la parcelle : l'efficience d'application (ratio eau stockée dans la zone racinaire/eau en entrée de parcelle) et l'efficience de consommation (ratio eau évapotranspirée/eau stockée dans la zone racinaire).

Afin de décrire plus finement la nature des pertes d'eau d'irrigation à la parcelle, nous avons introduit trois étapes intermédiaires supplémentaires (figure 1).

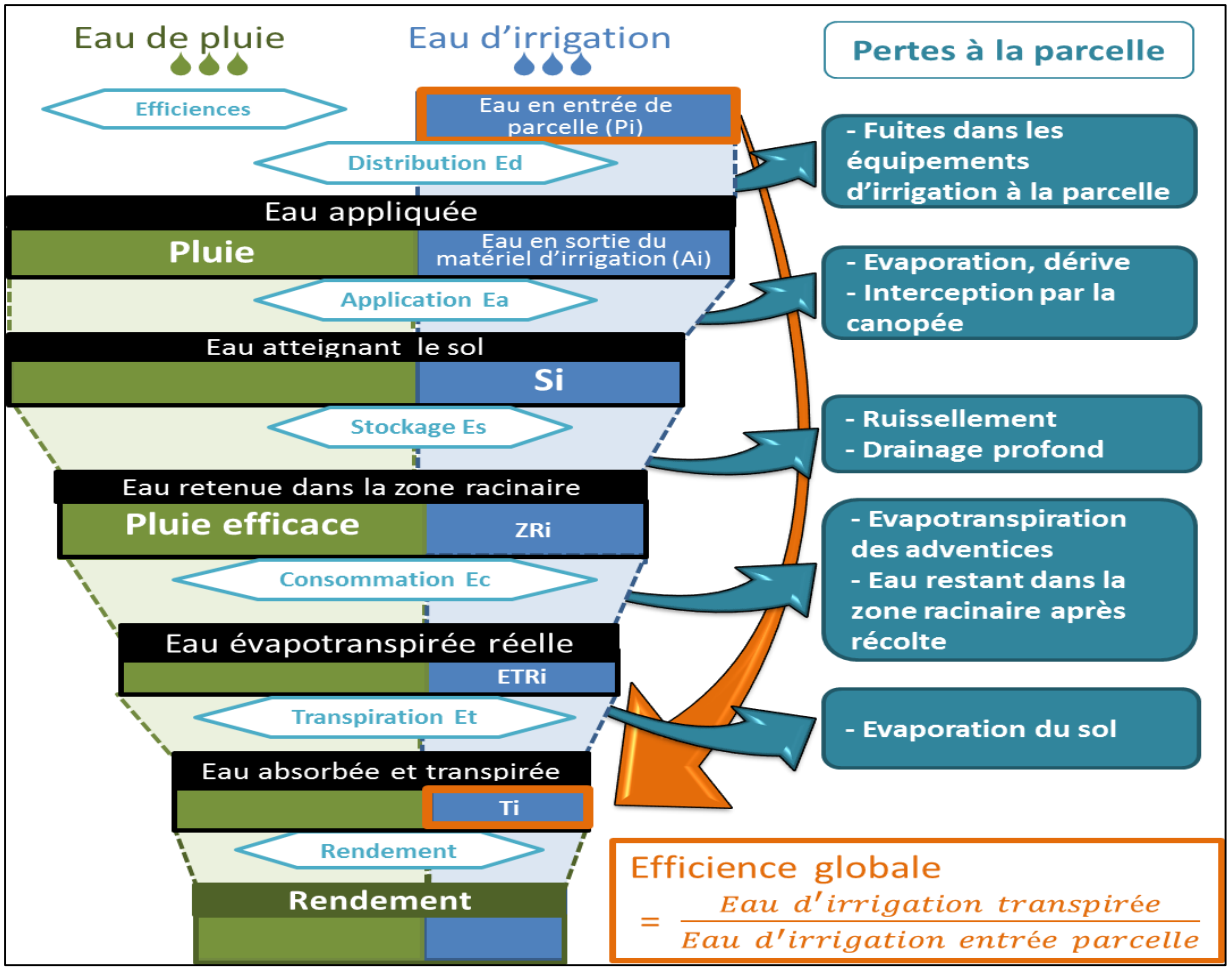


Figure 1. Etapes du cheminement de l'eau d'irrigation et de pluie à la parcelle, nature des pertes, calcul des efficiences.

On distingue donc 6 étapes dans le cheminement de l'eau d'irrigation qui correspondent à 6 volumes d'eau décroissants (en bleu sur la figure 1) :

1. L'eau en entrée de parcelle (Pi). Une partie de cette eau est perdue en raison de fuites dans les équipements à la parcelle.
2. L'eau appliquée (Ai), c'est-à-dire l'eau sortant du matériel d'irrigation (buse ou goutteur). En aspersion, une partie de cette eau peut être perdue par évaporation due à la température de l'air, transport (dérive) dû au vent, interception par la canopée (puis éventuellement évaporation sur la canopée).
3. L'eau atteignant le sol (Si). Une partie est susceptible d'être perdue par ruissellement ou drainage.
4. L'eau retenue dans la zone racinaire (ZRi). Une partie est perdue par l'évapotranspiration des adventices et, à l'échelle de la saison culturale, s'il reste de l'eau dans la zone racinaire après la récolte.
5. L'eau réellement évapotranspirée par la culture (ETRi). Une part est perdue sous forme d'eau évaporée par le sol.
6. L'eau absorbée et effectivement transpirée par la culture (Ti). Elle permet l'assimilation de dioxyde de carbone pour la photosynthèse et participe donc à la production de biomasse et à l'élaboration du rendement.

On définit alors une cascade de 5 étapes d'efficiences d'eau d'irrigation à la parcelle :

1. **L'efficience de distribution à la parcelle**
   Ed =eau appliquée / eau en entrée de parcelle = Ai / Pi
2. **L'efficience d'application**
   Ea = eau atteignant le sol / eau appliquée = Si / Ai
   En goutte-à-goutte enterré à plus de 20 cm de profondeur, Ea = 100%.
3. **L'efficience de stockage**
   Es = eau retenue dans la zone racinaire / eau atteignant le sol = ZRi / Si
4. **L'efficience de consommation**
   Ec = eau évapotranspirée / eau retenue dans la zone racinaire = ETRi / ZRi
5. **L'efficience de transpiration**
   Et = eau transpirée / eau évapotranspirée = Ti / ETRi

Ces 5 étapes composent **l'efficience globale d'irrigation (EG) :**

EG = eau transpirée / eau en entrée de parcelle = Ed x Ea x Es x Ec x Et.

L'eau de pluie (en vert sur la figure 1) suit le même cheminement, depuis l'eau appliquée (l'eau « tombée du ciel ») jusqu'à l'eau de pluie transpirée par la culture. La part d'eau de pluie atteignant le sol et stockée dans la zone racinaire est appelée « pluie efficace ».

2.3. Evaluation des volumes d'eau à chaque étape de l'efficience

L'évaluation des volumes aux différentes étapes d'efficiences d'irrigation n'est pas aisée. Certaines mesures sont relativement courantes, d'autres mesures sont plus délicates et nécessitent un matériel sophistiqué.

Mesures directes

Eau d'irrigation en entrée de parcelle. Elle peut être mesurée à l'aide d'un compteur ou d'un débitmètre au niveau de la borne en entrée de parcelle. Elle peut également être approchée par

la connaissance du débit en entrée de parcelle et la durée d'ouverture des vannes. Peuvent également être utilisées les données de facturation des organismes délivrant l'eau.

Eau appliquée. L'eau de pluie appliquée est l'eau de pluie « tombant du ciel ». En général on ne dispose pas de cette mesure. L'eau d'irrigation appliquée est celle sortant directement du matériel d'irrigation. Elle est évaluée par la mesure du débit de l'émetteur (buse ou goutteur) multipliée par la durée d'irrigation.

L'eau atteignant le sol. Pour l'eau de pluie, la mesure à l'aide de pluviomètres est celle dont on dispose le plus souvent. Pour l'eau d'irrigation, dans le cas de l'aspersion, l'eau atteignant le sol peut être mesurée à l'aide de collecteurs situés au sol qui permettent également d'apprécier l'uniformité de distribution.

L'eau retenue dans la zone racinaire. A partir de cette étape, l'eau de pluie et l'eau d'irrigation ne se distinguent plus. L'eau dans le sol peut être approchée, sur échantillons prélevés, par la mesure de l'humidité pondérale (dessiccation), ou par instrumentation au champ par la mesure de l'humidité volumique (sondes à neutrons, sondes capacitives, FDR, TDR…) ou de la tension (tensiomètres).

L'eau évapotranspirée. Elle peut être évaluée à partir de cases lysimétriques qui mesurent la quantité d'eau perdue dans l'atmosphère par transpiration et évaporation.

L'eau transpirée par la plante. Elle peut être mesurée par des capteurs de flux de sève positionnés sur la plante.

Le rendement. Il ne s'agit plus, à ce stade de mesure de quantités d'eau, mais de poids de biomasse ou de production.

Evaluations indirectes

Certains volumes d'eau entrant dans le calcul des étapes d'efficience, tels la pluie efficace ou l'évapotranspiration de la culture, peuvent être estimés par diverses formules de calcul empiriques. On peut également avoir recours à la modélisation pour estimer d'autres grandeurs comme la part d'eau d'irrigation évaporée et transpirée (voir chapitre 6).

2.4. Nature des pertes d'eau d'irrigation

Fuites dans les équipements à la parcelle (Fi)

Les problèmes d'étanchéité ou de fuites dans les tuyaux d'amenée d'eau dans la parcelle sont susceptibles d'entraîner jusqu'à 5 à 10% de pertes qui altèrent l'efficience de distribution à la parcelle. Elles sont influencées par la vétusté du matériel et son mauvais entretien. Les tuyaux en aluminium posés en surface sont plus sujets à ces fuites que les canalisations en polyéthylène enterrées. En couverture intégrale, les fuites peuvent être nombreuses et de petit débit. Pour les enrouleurs et les pivots, il s'agit en général de fuites accidentelles, plus faciles à identifier. En goutte-à-goutte, les fuites par endommagement de gaines sont difficiles à repérer, encore plus lorsqu'elles sont enterrées.

Evaporation directe et dérive (EDi)

Les pertes par évaporation directe dans l'air en aspersion représentent en général 5% de l'eau appliquée lors d'une journée chaude d'été (Molle et al, 2012). Elles peuvent atteindre au maximum 15% en conditions de demande climatique extrême, aux heures les plus chaudes et ventées de la journée (Ruelle et al, 2004). Elles concernent peu les grosses gouttes mais essentiellement les petites (ø < 1 mm), les très petites gouttes (ø < 150 µm) étant susceptibles de s'évaporer entièrement. Dans un objectif d'économie d'eau, il est recommandé d'éviter d'irriguer durant la plage horaire 11-15 h, heure à laquelle la température et le rayonnement sont le plus élevés.

Les pertes par dérive sont dues à l'influence du vent sur les plus petites gouttes du jet d'aspersion qui dérivent hors de la zone ciblée. Elles sont quantitativement plus importantes que les pertes par évaporation directe. Afin de limiter ces pertes, l'aspersion est déconseillée en journées fortement ventées, de même que durant la plage horaire 12 – 18 h (vent thermique).

Pour donner un ordre de grandeur, sur un asperseur, la perte globale par évaporation et dérive combinées, durant les différentes périodes d'une journée d'été dans le Sud de la France, peut atteindre ponctuellement 20%, ce qui représente 4% du volume appliqué sur une période d'arrosage de 24h (Molle et al, 2012). Merchan et al (2015) évaluent cette perte à 13,5% à l'échelle d'une saison culturale.

Les pertes par évaporation et dérive occasionnent une légère baisse de la température du couvert végétal, ainsi qu'une hausse de l'humidité relative de l'air, conduisant à une réduction passagère de l'évapotranspiration de la culture. Néanmoins, cette réduction de l'évapotranspiration ne compense pas le volume d'eau évaporé et transporté qui représente donc une perte réelle (Playan et al, 2005).

Interception par la canopée

Une part de cette eau retourne au sol en s'écoulant le long des tiges (stemflow) ; l'autre part, estimée entre 1,5 et 2,5 mm pour une culture de maïs après floraison, est finalement perdue par évaporation à partir de la surface foliaire (Lamm et Manges, 2000).

Ruissellement

Le ruissellement est un effet de la microtopographie. Si le débit d'apport d'eau d'irrigation est supérieur aux capacités d'infiltration du sol, on observe le phénomène de flaquage. Dès que le sol est en pente, même très légère, l'eau ne pouvant pénétrer dans le sol est perdue par ruissellement. C'est le cas notamment lorsqu'une croûte de battance s'est constituée à la surface d'un sol limoneux.

Par ailleurs, l'énergie cinétique des gouttes peut provoquer l'érosion par impact direct (effet « splash ») et créer de la microtopographie donc du ruissellement. D'où l'importance d'éviter l'aspersion avec des gouttes à fortes énergie cinétique (taille et vitesse élevées) sur les sols battants ou non couverts par la végétation, et d'adapter le débit d'irrigation aux caractéristiques du sol.

Drainage (Di)

Si les doses d'irrigation sont supérieures au volume que le sol peut retenir, l'excédent est perdu par drainage profond, sous la zone racinaire, et ne pourra plus être utilisé par la culture. Pour économiser de l'eau en irrigation, il est fondamental de bien connaître la réserve utile (RU) du sol et de tenir compte de la participation des pluies au remplissage de la RU. Les pertes par drainage peuvent être générales sur la parcelle si la dose d'apport global est excédentaire par rapport aux capacités de

stockage du sol. Elles peuvent également être localisées en raison de l'hétérogénéité spatiale du sol de la parcelle et/ou de l'hétérogénéité de distribution due au matériel. A titre d'exemple, une étude menée en Espagne dans le bassin de l'Ebre sur 55 parcelles irriguées essentiellement par aspersion (Merchan et al, 2015) a estimé la valeur moyenne de pertes par drainage à 10%.

Evapotranspiration des adventices

Les adventices, tout comme les plantes cultivées, consomment de l'eau (Abouziena et al, 2014) et sont à l'origine de pertes d'eau d'irrigation. Inversement, les adventices peuvent créer un tapis végétal, équivalent à un mulch naturel, et ainsi limiter les pertes par évaporation du sol. Une gestion appropriée des adventices peut accroître significativement l'efficience de l'irrigation.

Eau restant dans la zone racinaire après récolte (SFi)

L'eau d'irrigation résiduelle dans la zone racinaire après la récolte est perdue pour la culture à l'échelle de la saison culturale. Elle pourrait éventuellement être réutilisée si une culture ultérieure était installée immédiatement après. Cependant, dans le cas du maïs, par exemple, l'eau d'irrigation résiduelle est réellement gaspillée car le maïs suivant ne sera semé qu'au printemps et les pluies d'hiver suffisent en général à recharger la réserve du sol. La conduite de l'irrigation est le facteur déterminant pour éviter cette perte. Cependant, même dans le cadre d'une conduite optimisée, des orages imprévisibles de fin de saison peuvent rendre une irrigation inutile *a posteriori*.

Evaporation du sol (Ei)

La part d'eau évaporée par le sol diminue au fur et à mesure que le taux de couverture par la canopée augmente. On estime entre 10 et 20% la part d'eau évapotranspirée qui est évaporée en journée par le sol sous un couvert végétal complètement développé (Jara et al, 1998 ; Hsiao et al, 2007). L'irrigation localisée, en n'humidifiant qu'une partie restreinte du sol, limite considérablement l'évaporation. Le système de goutte-à-goutte enterré peut même supprimer totalement ces pertes. Bonachela et al (2001) ont mis en évidence une économie d'eau consécutive à la réduction de l'évaporation du sol en goutte-à-goutte enterré par rapport au goutte-à-goutte de surface de 4-11% ou 18-41% de l'eau évapotranspirée dans une oliveraie mature ou jeune respectivement. Les pratiques culturales visant à diminuer l'évaporation du sol, comme le mulching, permettent également des économies d'eau d'irrigation.

2.5. Origine des pertes d'eau d'irrigation

Il apparaît que l'efficience dépend de plusieurs types de facteurs conditionnant la nature et l'ampleur des pertes :

Les conditions locales

- Climat
  - Température, rayonnement
    → Pertes par évaporation
  - Vent
    → Pertes par dérive
- Sol
  - Perméabilité, battance, pente

→ Pertes par ruissellement

- Réserve utile
  → Pertes par drainage profond (sous la zone racinaire)
- Variabilité spatiale entraînant une surirrigation de certaines zones
  → Pertes par ruissellement ou drainage

L'irrigation

- Technologie du système d'irrigation
  - Problèmes d'étanchéité ou de fuites dans les conduites d'amenée d'eau à la parcelle ou dans les équipements d'irrigation
    → Pertes par fuites
  - Taille et vitesse des gouttes en aspersion
    → Pertes par évaporation dans l'air (gouttes de ø < 500 µm)
    → Pertes par dérive (gouttes de ø < 150 µm)
    → Pertes par ruissellement
  - Système enterré / aérien
    → Pertes par évaporation du sol
  - Hétérogénéité de distribution
    → Pertes par ruissellement
    → Pertes par drainage

L'uniformité de distribution de l'eau au sol dépend essentiellement de la variabilité spatiale du sol en irrigation gravitaire. En irrigation sous pression, c'est le système qui détermine l'uniformité. Une mauvaise uniformité peut alors être due à un mauvais dimensionnement de l'installation entraînant des écarts de débit, à une variation des conditions hydrauliques de fonctionnement, aux conditions ventées, au colmatage. Elle est à l'origine de zones sous et sur-irriguées dans la parcelle et provoque des pertes localisées par ruissellement et/ou drainage. Une mauvaise efficience d'application provient d'une uniformité de distribution médiocre qui, à son tour, réduit l'efficience de stockage. Plusieurs études sur différents systèmes ont fait le lien entre uniformité, estimée à l'aide d'un coefficient d'uniformité, et efficience : couverture intégrale (Li and Rao, 2001 ; Carrion et al, 2014 ; Lecina, 2016), pivot (Ortiz et al, 2010 ; Ali et al, 2016), goutte-à-goutte (Benouniche et al, 2014).

- Pratiques d'irrigation
  - Dates, horaires et doses des apports
    → Pertes par évaporation et dérive
    → Pertes par ruissellement
    → Pertes par drainage
    → Pertes par eau restant dans la zone racinaire après la récolte (perdue à l'échelle de la saison culturale)

La culture

- Stade de développement
  → Pertes par évaporation du sol
  → Pertes liées à l'interception et au stockage par la canopée.

Les pratiques culturales

- Date de semis, conditionnant la période de besoins en eau de la culture donc la période d'irrigation (semis tardif : irrigation tardive donc vraisemblablement en période de fortes chaleurs)
  → Pertes par évaporation dans l'air, pertes par évaporation du sol
- Gestion des adventices
  → Pertes par évapotranspiration des adventices, évaporation du sol
- Travail du sol
  → Pertes par ruissellement, drainage

2.6. Valeurs d'efficience

Le tableau 4 (page 26) présente des valeurs d'efficience citées dans la littérature scientifique, issues de divers systèmes d'irrigation dans différents contextes agro-pédoclimatiques. Ces valeurs sont regroupées dans la figure 2.

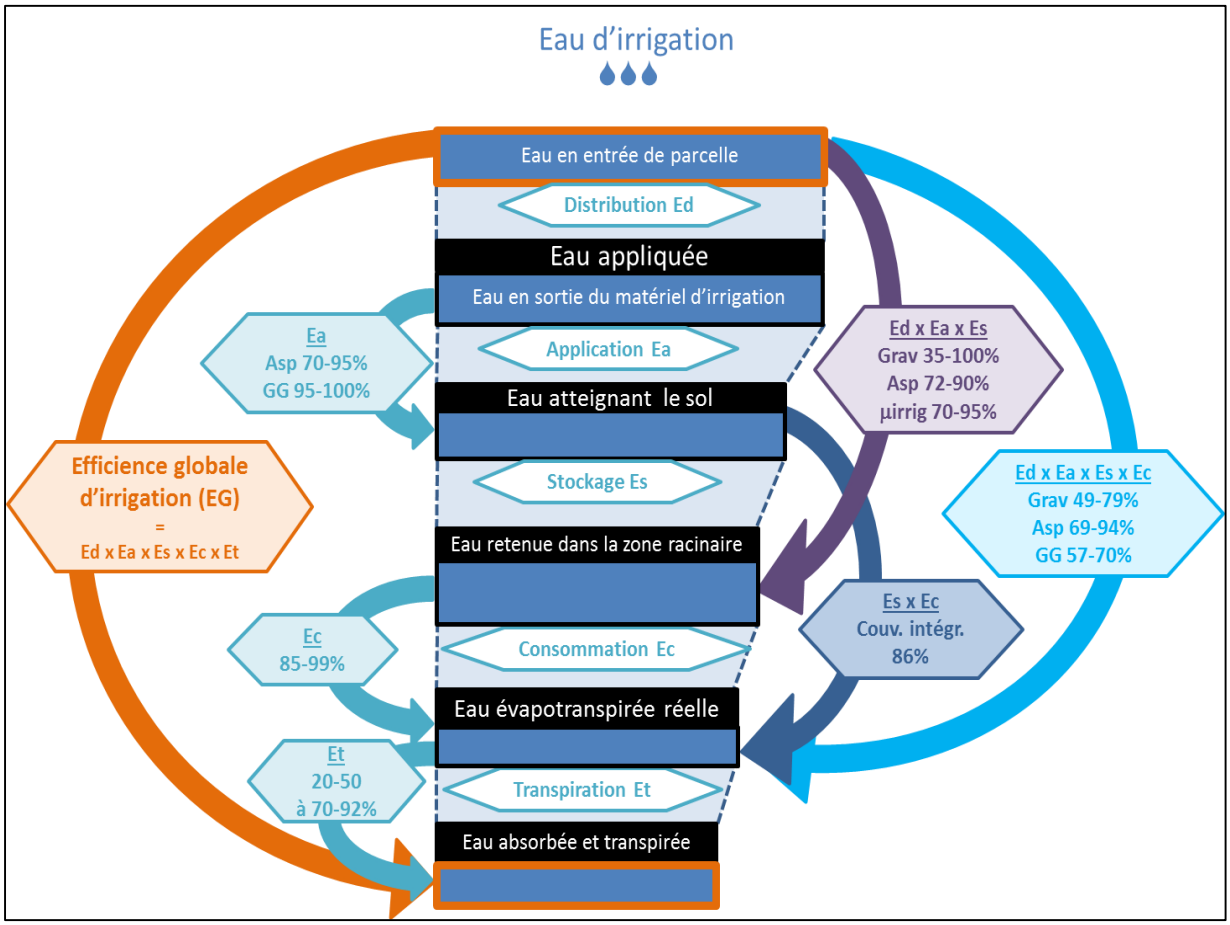


Figure 2. Synthèse des valeurs d'efficience d'après les références scientifiques du tableau 4

Comme le montre le tableau 4 (page 26), l'efficience d'application (Ea), c'est-à-dire la part d'eau sortant du matériel d'irrigation qui atteint le sol, est comprise entre 70 et 95% pour l'aspersion (sans présumer de l'uniformité de distribution), et approche les 100% pour le goutte-à-goutte. Une référence situe l'efficience de consommation (Ec) entre 85 et 99%, soit la part d'eau stockée dans la zone racinaire qui va être réellement évapotranspirée par la culture. L'efficience de transpiration (Et), traduisant la fraction de l'eau évapotranspirée qui est effectivement transpirée, varie entre 20-50% et

70-92%. Le produit Ed x Ea x Es représente la part d'eau entrée dans la parcelle qui sera stockée dans la zone racinaire et sera donc accessible à la culture. Il est estimé entre 35 et 100% pour l'irrigation gravitaire, 72 à 90% pour l'aspersion et 70 à 95% pour la microirrigation. Le produit Es x Ec exprime la part d'eau ayant atteint le sol qui est évapotranspirée. Il est de 86% en couverture intégrale. Le produit Ed x Ea x Es x Ec, caractérisant la fraction d'eau entrée dans la parcelle qui est évapotranspirée par la culture, se situe entre 49 et 79% pour le gravitaire et 69-94% pour l'aspersion et 57-70% pour le goutte-à-goutte.

2.7. Efficience et économies d'eau réalisables par la modernisation des systèmes d'irrigation

Comme décrit précédemment, l'efficience de l'irrigation peut être améliorée de plusieurs manières en réduisant les pertes aux différentes étapes du cheminement de l'eau. Dans le domaine de l'irrigation, deux leviers peuvent être activés : la technologie et la conduite de l'irrigation. Dans cette étude dédiée aux économies d'eau réalisables par la modernisation des systèmes d'irrigation, on s'intéresse plus particulièrement à l'accroissement de l'efficience par les améliorations technologiques de l'irrigation, tout en gardant à l'esprit l'importance des pratiques et les moyens de les améliorer (par exemple par des outils de mesure).

Améliorer les performances technologiques des matériels d'irrigation passe par :

- La réduction des fuites dans les canalisations et les équipements à la parcelle, et donc l'augmentation de **l'efficience de distribution** à la parcelle **(Ed)**
- La limitation de l'évaporation et de la dérive afin d'accroître **l'efficience d'application (Ea)**
- La diminution du ruissellement et du drainage pour améliorer **l'efficience de stockage (Es)**
- La réduction, voire la suppression, de l'évaporation du sol et afin d'augmenter **l'efficience de transpiration (Et)**.

Augmenter l'efficience de l'irrigation peut permettre de réaliser des économies d'eau à l'échelle de la consommation en eau de la parcelle. C'est ce qu'illustre l'exemple du passage de l'irrigation gravitaire conventionnelle au goutte-à-goutte en Inde (tableau 5).

Tableau 5. Réduction des apports d'eau pour différentes cultures lors du passage de l'irrigation gravitaire au goutte-à-goutte en Inde (d'après Molden et al, 2007)

Culture	Economie d'eau (%)	Culture	Economie d'eau (%)
Bananes	45	Canne à sucre	30
Chou	60	Canne à sucre	47
Coton	53	Canne à sucre	65
Coton	60	Canne à sucre	44
Coton	15	Patates douces	60
Vigne	48	Tomate	27
Pomme de terre	0	Tomate	39

L'amélioration de l'efficience d'irrigation peut s'accompagner d'une diminution des prélèvements à l'échelle d'un territoire, comme l'ont décrit plusieurs auteurs chinois (Zou et al, 2012 ; Huang et al, 2017). Il faut cependant souligner que, selon le contexte, l'amélioration de l'efficience n'implique pas nécessairement une économie d'eau. D'une part le matériel plus performant peut nécessiter une

technicité plus grande de la part de l'utilisateur qui, si elle n'est pas mise en œuvre, ne permettra pas l'économie d'eau escomptée. Le goutte-à-goutte est un système très efficient mais si les vannes restent intempestivement ouvertes, la consommation d'eau à la parcelle ne sera pas forcément réduite. D'autre part, à l'échelle d'un bassin versant, la modernisation des systèmes peut accroître l'efficience, mais ne pas entraîner d'économies d'eau. Perry (1999) illustre ce phénomène paradoxal avec la modernisation des systèmes d'irrigation dans le Moyen-Orient destinée à améliorer l'efficience de 40-50% à 60-70% dans le but d'économiser l'eau et d'étendre la surface de cultures irriguées. La modernisation a entraîné une diminution des pertes et donc une augmentation de l'efficience, plus particulièrement de la part évapotranspirée de l'eau d'irrigation. S'en est suivie une hausse des rendements, mais pas de disponibilité d'eau supplémentaire pour d'autres cultures. De même, Ward et Pulido-Velazquez (2008) ont montré que, dans le bassin du Rio Grande, les subventions pour les technologies d'irrigation économes en eau n'ont pas réduit la consommation en eau, mais au contraire ont réduit les flux qui rechargent les aquifères et ont finalement accru l'épuisement de la ressource. Cet « effet rebond » a également été observé en Espagne, suite au passage de l'irrigation gravitaire à l'aspersion et au goutte-à-goutte (Playan et Mateos, 2006 ; Lecina et al, 2010a ; Lecina et al, 2010b ; Berbel et Mateos, 2014) ainsi qu'au Kansas suite à la conversion des pivots traditionnels en pivots plus efficients (Pfeiffer et Lin, 2014). Molle (2017) a analysé l'impact de la règlementation incitant l'utilisation du goutte-à-goutte sur la consommation en eau au Maroc.

Tableau 4. Valeurs d'efficiences. (Ed, efficience de distribution, Ea efficience d'application, Es efficience de stockage, Ec efficience de consommation, Et efficience de transpiration, EG efficience globale d'irrigation)

Référence	Localisation	Culture	Efficiences (comme définies dans le texte)	Système d'irrigation	Valeurs d'efficiences (%)		
					Moyenne	Minimum	Maximum
Granier et Deumier (2013)	Général	Général	**Ea**	Canon enrouleur Couverture intégrale Goutte-à-goutte	- - 100	85-90 70-75 -	- 95 -
Ali et al, 2016	Soudan	Potato	**Ea**	Pivot	70		
Carrion et al, 2014	Espagne	Corn	**Ea**	Couverture intégrale	92		
Hsiao et al (2007)	Général	Général	**Ec**	Général		85-92	97-99
Hsiao et al (2007)	Général	Général	**Et**	Général		25-50	70-92
Carrion et al, 2014	Espagne	Maïs	**Es x Ec**	Couverture intégrale	86	84	89
Canone et al, 2015	Italie	Corn	**Ed x Ea x Es** pour chaque apport d'irrigation	Gravitaire		53	100
Hsiao et al (2007)	Général	Général	**Ed x Ea x Es**	Général Aspersion		30-50 -	70-95 > 90
Howell (2003)	Général	Général	**Ed x Ea x Es**	Gravitaire Canon Pivot Rampe Microirrigation	75 72 88 87 87	50 55 75 70 70	95 85 98 95 95
Lecina et al, 2005	Espagne Vallée de l'Ebre	Luzerne Maïs Tournesol	**Ed x Ea x Es**	Gravitaire en sols alluviaux à forte RU	62	51	81

Lecina et al, 2005		Luzerne Maïs Tournesol	**Ed x Ea x Es**	Gravitaire en sols superficiels à faible RU	53	40	75
Lecina et al, 2005		Tomate Piment	**Ed x Ea x Es**	Gravitaire en sols superficiels à faible RU	35	27	39
Merchan et al, 2015	Espagne Vallée de l'Ebre	Maïs	**Ed x Ea x Es**	Aspersion	77	74	80
Andres et Cuchi, 2014	Espagne Vallée de l'Ebre	Maïs	**Ed x Ea x Es**	Aspersion	72	71	74
Andres et Cuchi, 2014		Luzerne	**Ed x Ea x Es**	Aspersion	77	76	78
Andres et Cuchi, 2014		Orge	**Ed x Ea x Es**	Aspersion	80	77	83
Causape et al, 2006	Espagne Vallée de l'Ebre Sols superficiels à faible RU		**Ed x Ea x Es x Ec**	Gravitaire	49		
Causape et al, 2006	Espagne Vallée de l'Ebre Sols plus profonds		**Ed x Ea x Es x Ec**	Gravitaire	79		
Ahadi et al, 2013	USA (New Mexico's Lower Rio Grande Basin)	Luzerne Pecan Coton	**Ed x Ea x Es x Ec**	Gravitaire	65 60 76	11 14 11	95 95 95
Causape et al, 2006	Espagne Vallée de l'Ebre Système d'aspersion moderne et conduite optimisée		**Ed x Ea x Es x Ec**	Aspersion	94		
Skhiri et Dechmi, 2012	Espagne Vallée de l'Ebre	Diverses cultures	**Ed x Ea x Es x Ec**	Aspersion	69 (saison d'irrigation)	63	76

Carrion et al, 2014	Espagne	Maïs	**Ed x Ea x Es x Ec**	Couverture intégrale	79	77	82
Lozano et al, 2016	Espagne (Huelva)	Fraise sous tunnel	**Ed x Ea x Es x Ec**	Goutte-à-goutte	70	58	81
Benouniche et al, 2014	Maroc	Oignons, pomme de terre	**Ed x Ea x Es x Ec**	Goutte-à-goutte	57	25	97
Ghinassi, 2012	Italie	Oignons, tomate industrielle, tabac	**Ed x Ea x Es x Ec**	Enrouleur	79	63	88
Ghinassi, 2012	Italie	Oignons, tomate industrielle, tabac	**Ed x Ea x Es x Ec**	Goutte-à-goutte	63	39	81

3. Méthodologie de l'étude

3.1. Phase 1 : Acquisition de références d'économies d'eau

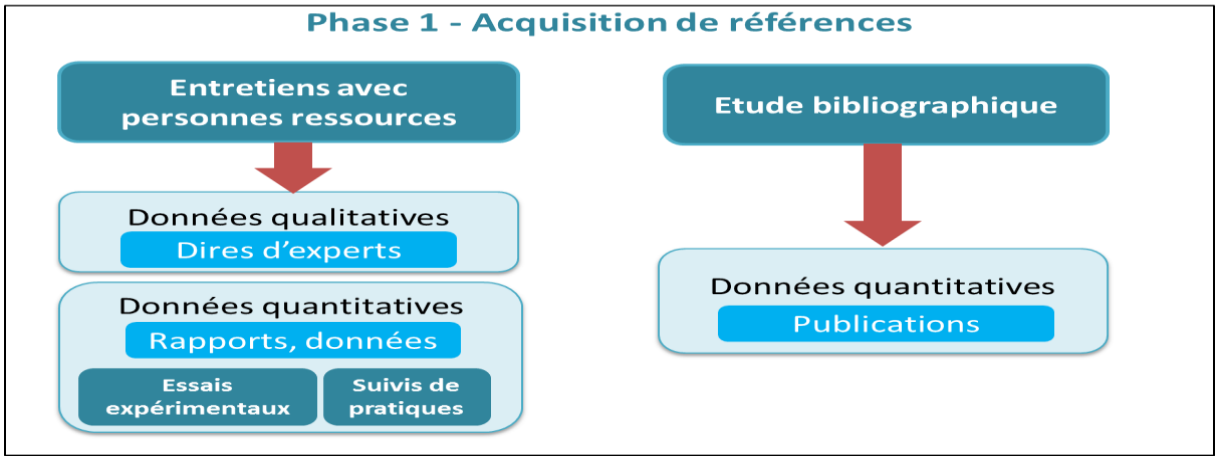


Figure 3. Méthodologie de la phase 1

La première phase de l'étude (figure 3) a permis de réunir trois types de données : (1) les résultats scientifiques publiés dans la littérature scientifique, (2) les données terrains issues de suivis de terrain consignés dans des rapports et (3) les dires d'experts. Elle a été réalisée en deux étapes :

3.1.1. Etude bibliographique

L'étude bibliographique a permis, à partir de publications scientifiques, de compiler des références d'efficience et/ou d'économies d'eau le plus souvent internationales (Europe du Sud essentiellement). Elle est synthétisée dans le chapitre 2 « Efficience de l'irrigation ».

3.1.2. Collecte de données à partir d'entretiens

Les entretiens avec des personnes ressources ont abouti à collecter des données issues du territoire français métropolitain : des dires d'experts (données qualitatives) et des rapports de suivis de terrain (données quantitatives).

Organismes contactés

Les entretiens avec les personnes ressources de 53 organismes ont été réalisés pour représenter en priorité les régions à plus forte surface irriguée et volumes prélevés (voir la liste complète des organismes en annexe 2). Ont été rencontrés 24 chambres régionales et départementales d'agriculture, 3 instituts techniques, 7 stations expérimentales, 3 sociétés d'aménagement rural (SAR), 3 associations syndicales autorisées (ASA), 6 coopératives et 3 entreprises privées de conseil et distribution de matériel d'irrigation. Quatre organismes espagnols ont également été visités.

Données terrain collectées

Les contacts avec les organismes ont permis de collecter diverses informations.

Les données qualitatives ou dires d'experts sont issues de l'expérience et de la connaissance des spécialistes de l'irrigation qui ont réalisé de nombreuses observations de terrain chez les agriculteurs.

Tableau 6. Liste des références collectées

N° fiche	Irrigation ou Pilotage	Organisme	Année	Localisation	Culture	Comparaison matériel 1	Comparaison matériel 2	Comparaison matériel 3	Pilotage/Irrigation
Essais expérimentaux									
Maïs									
1	P/I	CACG	2012-2016	Masseube (32)	Maïs	Couverture intégrale	GGE	GGS	3 régimes d'irrigation
2	I	CA01-KULKER	2006-2009	St-Maurice-de-Gourdans (01)	Maïs	Enrouleur	GGE 1.00m et 1.50m		Tensiomètres
3	I	IRSTEA	2008-2013	Montpellier (34)	Maïs	Enrouleur	GGE 0.80m, 1.20m et 1.60m		Tensiomètres, sondes capacitives
4	I	CA69	2012-2015	Genas (69)	Maïs	Enrouleur	GGE		Tensiomètres
5	I	CA40	2012-2015	Villeneuve de Marsan (40)	Maïs	Pivot	GGE		Bilan hydrique et tensio
6	I	ARVALIS	2014-2015	Le Magneraud (17)	Maïs	Rampe sur enrouleur	GGS 1.50m	GGE 1.50m	Irrinov-tensiomètres
7	I	ARVALIS	2015	Pusignan (69)	Maïs	Rampe sur enrouleur	GGS		Tensiomètres
Autres grandes cultures									
8	I	ARVALIS	2007-2010	Bergerac (24)	Tabac	Couverture intégrale	GGS		
9	P	ARVALIS	2000-2001	Villers-Saint-Christophe (02)	Pomme de terre	Pilotage 100, 80, 60% ETM	Pilotage tensiomètres		GGS
10	P	CA45	2014	Epieds-en-Beauce (45)	Blé	Sans cartographie ni logiciel	Avec cartographie et logiciel		Rampe repliable sur enrouleur
Arboriculture									

11	I	CEFEL	2015-2016	Montauban (82)	Pommier	Couverture intégrale	Micro-jet	GG suspendu	Pilotage : bulletin d'irrig, tensio, dendro
12	I	CTIFL	1989-1997	Lanxade (24)	Pommier	Couverture intégrale	Mini-diffuseur	GGS	Tensiomètres
13	I	ARDEPI/CA04	1998-2005	Les Mées (04)	Olivier	Microjet	GG		Tensiomètres
14	I	SERFEL/SUDEXPE	2014-2016	Saint-Gilles (30)	Nectarine	Micro-jet	GGE puis GGS		Tensio, sondes capacitives
15	P	COMGAG	2015	Montauban (82)	Pommier	Pilotage bulletin irrigation	Pilotage automatisé sonde centrale		CI / GG
Maraîchage									
16	I	SERAIL	2009-2012	Brindas (69)	Oignon	Couverture intégrale	GGE	GGS	Tensiomètres
17	I	ARDEPI	2006	St-Martin-de-Crau (13)	Salade	Microaspersion pendulaire	GGS		Tensiomètres
18	P	CTIFL	2015-2016	Balandran (30)	Courgette	Pilotage ETM	Pilotage tensiomètres		GGS
19	P	CIREF	2001-2002	Douville (24)	Fraise	Pilotage ETM	Pilotage tarière	Pilotage tensiomètres	GGS
20	P	CTIFL	2013-2014	Lanxade (21)	Fraise	Pilotage ETM	Pilotage sondes cappacitives		GGS
21	P	LCA	2009-2013	Tour en Sologne (41)	Fraise	Pilotage ETM	Pilotage tensio		GGE
22	P	LCA	2011-2012	Tour en Sologne (41)	Poireau	Pilotage tensiomètres	Pilotage sondes cappacitives		Rampe oscillantes
Suivi de pratiques d'agriculteurs									
Maïs									
23	I	Semenciers du Sud	2006	Gard (30)	Maïs	Couverture intégrale	GGS espacement entre goutteurs 20, 40 ou 80 cm		
24	I	CA38	2003-	Isère (38)	Maïs	Enrouleur	Pivot basse		

			2015				pression		
25	I	ASIA	2016	St-Vuilbas et Loyettes (01)	Maïs	Enrouleur	Pivot basse pression		
26	I	CA81	2014-2015	Parisot et Montdragon (81)	Maïs	Enrouleur	Couverture intégrale	GGS et GG semi-enterré	
27	I	Limagrain	2015-2016	Gignat, Thuret, Vic-le-Comte (63)	Maïs	Enrouleur	GGS		
Autres grandes cultures									
28	I	SCP	2015-2016	Reillanne, Roumoules (04)	Blé, Pois	Aspersion	GGE		
29	I	CA28	1995-1996	Eure-et-Loir (28)	Pomme de terre	Enrouleur ou rampe sur enrouleur	GGE		
Arboriculture									
30	I	CA34	2006	Bassin de l'Etang de l'Or (34)	Pommier	Aspersion sur/sous frondaison	Micro-aspersion	GGS	
31	I	CA38	2003-2015	Isère (38)	Noyer	Couverture intégrale	GGS		
32	I	CA66	2014	Pyrénées Orientales (66)	Abricot, pêche	Micro-aspersion	GG suspendu		
33	P	Agroressources	2009-2014	Nord Sisteron (05)	Pommier	Pas de matériel de pilotage	Pilotage tensiomètres	Pilotage tensio+dendromètre	Couverture intégrale
Maraîchage									
34	I	APREL	2015	Bouches-du-Rhône (13)	Fraise HS	Pas de recyclage de solution nutritive	Recyclage de solution nutritive		

Les données quantitatives sont consignées dans la « littérature grise », dans des rapports internes aux organismes, non-publiés, ou même parfois sous forme de fichiers bruts de données. Elles permettent de comparer les consommations en eau de différents systèmes d'irrigation ou de pilotage, dans un même contexte agro-pédo-climatique (même culture, même sol, même année).

A l'issue de l'étude, 34 références issues du territoire français, avec données quantitatives d'économies d'eau en irrigation ont pu être répertoriées (tableau 6).

La figure 4 présente la distribution géographique des références collectées. Treize références sont relatives au maïs, essentiellement en anciennes régions Midi-Pyrénées, Poitou-Charentes et Rhône-Alpes. Deux références concernent d'autres grandes cultures en région Centre. Huit références se rapportent à l'arboriculture en Languedoc-Roussillon, PACA et Midi-Pyrénées. Enfin huit références concernent le maraîchage en régions Aquitaine, Languedoc-Roussillon, Centre et Rhône-Alpes.

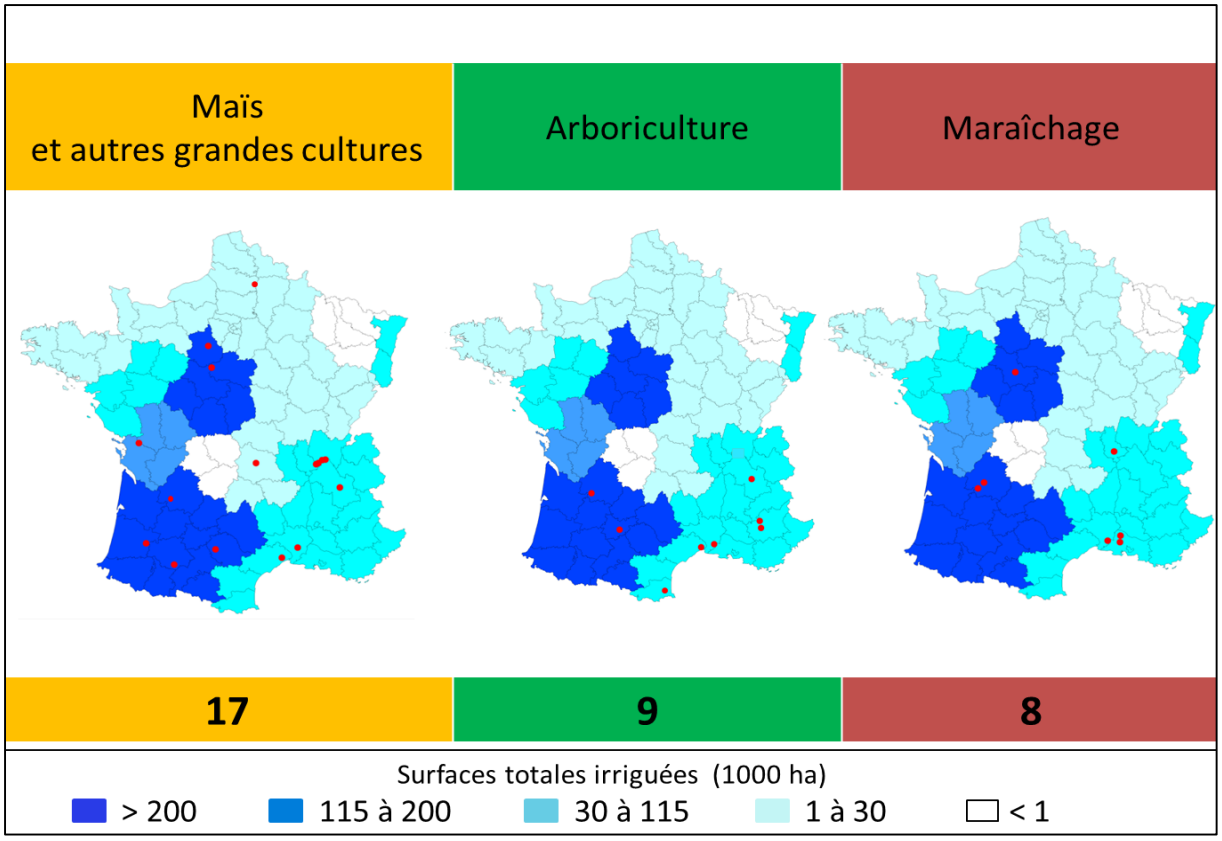


Figure 4. Répartition géographique des références collectées

Parmi les références quantitatives collectées, il convient de distinguer deux catégories :

Les suivis de pratiques pour lesquels les données d'apports d'eau aux cultures sont transmises par les agriculteurs ou les syndicats d'irrigants. Les observations concernent souvent un nombre de parcelles réduit. Il n'est pas toujours possible d'obtenir des informations sur les rendements, la réserve utile des sols, le mode de conduite de l'irrigation, le type précis de matériel. Ces suivis de pratiques sont précieux car ils permettent de multiplier les points de références. Cependant la fiabilité et la représentativité des données n'est pas garantie. L'interprétation des données peut s'avérer délicate car certains paramètres sont susceptibles de différer d'une parcelle à l'autre.

Les essais expérimentaux, réalisés chez un agriculteur ou dans une station expérimentale. Ils sont suivis par du personnel technique. Le calendrier d'irrigation (dates et doses) sur la saison est précisément connu. Outre les apports d'eau, plusieurs paramètres sont mesurés : suivi de l'eau dans le sol, paramètres météorologiques, qualité de la récolte…. En station expérimentale ils peuvent être menés selon un dispositif de répétitions permettant l'interprétation statistique des résultats. Les données de ces essais sont plus complètes, précises et fiables que celles issues des suivis de pratiques.

Dans la présente étude, 20 références sont issues d'essais expérimentaux et 11 de suivis de pratiques d'agriculteurs.

3.2. Phase 2 : Analyse des données d'économie d'eau

La présente étude consiste à analyser les volumes d'eau apportés par deux équipements d'irrigation ou deux systèmes de pilotage. Il s'agit donc de mettre en balance deux systèmes, toutes choses étant égales par ailleurs : sol, climat, culture, pratiques culturales et conduite de l'irrigation. Dans un même essai de comparaison de matériels d'irrigation, le mode de pilotage devrait idéalement être le même pour chaque système d'irrigation. On sait dans la pratique que ce n'est pas toujours le cas. Par exemple, une irrigation en aspersion ne sera pas obligatoirement pilotée à l'optimum, alors que le goutte-à-goutte nécessitera un pilotage plus fin et rapproché. Dans les essais considérés, autant que faire se peut, le mode de pilotage est identique pour les équipements d'irrigation comparés ; quand cela n'est pas le cas les différents modes de pilotage sont indiqués.

Pour chacune des 34 références collectées, une fiche de synthèse a été réalisée résumant les économies d'eau réalisées ainsi que les rendements obtenus (voir l'ensemble des fiches en annexe 4). Chaque fiche comprend :

Au recto :

- Les informations générales
  - Le type de référence (suivi de pratiques ou essai expérimental)
  - La culture
  - Le type de sol et sa RU
  - La localisation géographique
  - L'organisme ayant fourni la référence, ainsi que les coordonnées de la personne ressource
  - L'objectif de l'essai ou du suivi de pratiques, ainsi que les paramètres suivis
  - Les références bibliographiques quand elles sont accessibles, sinon la mention « communication personnelle »
- Les informations techniques
  - Les systèmes d'irrigation comparés, avec description aussi précise que possible du matériel utilisé
  - Les systèmes de pilotage
- Les conclusions de l'essai ou du suivi en termes d'apports d'eau et de rendement
- Les conclusions quant aux économies d'eau réalisées dans le contexte de l'essai ou du suivi.

Au verso, les résultats quantitatifs pour les systèmes comparés :

- Apports d'eau
- Economies d'eau

- Rendements.

Dans certains suivis de pratiques, certaines informations n'ont pu être obtenues et sont manquantes. Il est alors indiqué « non-renseigné » dans la rubrique correspondante.

Ces fiches peuvent être utiles, en complément de l'outil présenté en fin d'étude, pour trouver des précisions sur une référence dans une situation agro-pédo-climatique donnée.

3.3. Phase 3 : Conception de l'outil d'évaluation des économies d'eau

On cherche à établir un référentiel d'**économies potentiellement réalisables** à partir de références d'**économies d'eau réalisées** sur le terrain. Il s'agit d'adapter les valeurs d'économies, acquises lors d'un petit nombre d'essais expérimentaux ou de suivis de pratiques d'irrigants, en contextes particuliers, pour les rendre accessibles, simples et facilement exploitables. Cet exercice difficile a nécessité une démarche en plusieurs étapes développées ci-dessous.

Sélection des références

Parmi les références collectées, ont été prises en compte celles pour lesquelles l'économie d'eau n'entraîne pas de baisse de rendement, conformément aux recommandations de la Commission européenne (voir ci-dessus). Une légère baisse de rendement (< 10%) certaines années a été tolérée. Certaines références présentant des économies d'eau accompagnées d'une diminution de la production sont présentées parmi les fiches de synthèse ([7], [11 2015 GG], [13], [14], [28]) mais les valeurs n'ont pas été intégrées dans la synthèse des économies potentiellement réalisables quand cette diminution est supérieure à 10%.

Par ailleurs, la comparaison de matériels doit être réalisée dans des conditions identiques, en particulier en ce qui concerne le sol et le climat. Les références comparant des matériels dans des conditions pédologiques différentes n'ont pas été considérées ([32]).

Synthèse des données

La synthèse des références acquises a été effectuée en regroupant les références par type de culture (maïs et autres grandes cultures, maraîchage, arboriculture). Ces références ont été ventilées (1) pour les équipements d'irrigation, dans les tableaux à double entrée ancien matériel / nouveau matériel, et (2) pour les matériels de pilotage, dans un tableau distinguant les différents types de pilotages

L'objectif fixé est de donner une valeur d'économie d'eau pour une année climatique moyenne, ni très sèche, ni très pluvieuse. Pour un même essai, c'est la valeur d'une année moyenne (ou la moyenne des années moyennes) qui a été conservée. Lorsqu'on ne dispose pas de valeur d'année moyenne, on a retenu la valeur moyenne entre année sèche et année humide.

En raison de la variabilité des résultats, les données d'un essai sont présentées sous forme d'intervalle, parfois très large, entre une valeur minimale et maximale d'économie d'eau. La moyenne entre ces deux valeurs a été retenue, sauf lorsque l'amplitude de l'intervalle dépasse 15%, auquel cas on a retenu « par sécurité » la valeur basse de l'intervalle.

Lorsque plusieurs essais sont relatifs à la même situation ancien/nouveau matériel, les résultats sont présentés sous forme de fourchette intégrant les résultats compilés de tous ces essais.

Enfin, les valeurs d'économies d'eau ont été arrondies à la valeur finissant par 0 ou 5 la plus proche.

Dans quelques cas (passage de la couverture intégrale au pivot en grandes cultures, passage du goutte-à-goutte de surface au goutte-à-goutte enterré), aucune référence n'a pu être collectée. Les données issues de dires d'experts ont alors été utilisées.

Réserve utile

Les données d'économie d'eau ont été, dans un premier temps, triées par classes de réserve utile (RU < 80 mm, 80 ≤ RU ≤ 130 mm, RU > 130 mm), afin d'analyser l'éventuelle influence du contexte pédologique sur les valeurs obtenues. Après discussions avec différents acteurs impliqués dans les appels à projets et l'instruction des dossiers de subventions (DRAAF, Chambres régionales d'Agriculture, DDT), il n'est pas apparu pertinent de mettre en avant ce paramètre dans la méthodologie d'évaluation des économies potentielles. La RU est en effet difficile à estimer pour bon nombre d'agriculteurs et il serait périlleux de demander aux irrigants de justifier de la RU de leurs sols devant la Commission Européenne. Dans le tableau de synthèse final d'économies potentiellement réalisables, le choix a donc été fait de regrouper les valeurs sans distinction de RU, sous forme d'intervalle.

Prise en compte de l'origine des données

Dans le cadre de la présente étude, aucune vérification terrain des données collectées n'a été réalisée. On est parti du postulat de la validité des données. Quand cela a été possible, les données issues de plusieurs études différentes ont été comparées afin de vérifier la concordance des résultats. Néanmoins, les valeurs d'économies d'eau issues de **suivis de pratiques** ont été systématiquement **diminuées de 5%** afin de tenir compte de la moindre précision et de l'éventuelle moindre fiabilité de ces données par rapport aux données d'essais expérimentaux.

Prise en compte du vieillissement prévisible du nouveau matériel

Il est important de tenir compte du facteur vieillissement du nouveau matériel qui va être installé en remplacement de l'ancien. Les économies d'eau réalisables avec un matériel neuf la première année ne seront pas nécessairement reproductibles dans 5, 10 ou 20 ans. En effet certains systèmes d'irrigation sont extrêmement robustes (pivots, enrouleurs) quand d'autres sont beaucoup plus fragiles (goutte à goutte) ou sujet à dysfonctionnement (couverture intégrale). La durée de vie d'un pivot ou d'un enrouleur est de l'ordre de 20 ans, voire plus, alors que le goutte à goutte dépasse rarement 10 ans, voire 5 ans dans les situations où l'eau est chargée. Les couvertures intégrales peuvent rester efficientes mais sont souvent mal entretenues ou mal installées.

Ainsi on peut considérer qu'un pivot ou un canon à enrouleur perdent 1% d'efficience globale par année d'utilisation. Un système d'irrigation localisée (goutte à goutte ou micro-jet) perd, en raison de colmatages, fuites, dégradations, 2% par an en utilisation avec une eau peu chargée et 4% avec une eau très chargée. Un système d'aspersion par couverture intégrale perd 2% par an (fuites, verticalité et usure des asperseurs).

Les données collectées, issues d'essais expérimentaux**,** sont en général obtenues avec deux systèmes d'irrigation en bon état de fonctionnement, accompagnés d'une maintenance de qualité : réparation des fuites, détartrage des buses, traitement des gaines au chlore et/ou à l'acide, chasse hydrique… Afin de tenir compte du vieillissement qui diminuera progressivement l'efficience du nouveau système en conditions réelles d'exploitation, et donc réduira les potentialités d'économies d'eau, certaines valeurs d'économies d'eau très élevées obtenues lors du passage de l'aspersion au goutte-à-goutte ont été minorées de 10 à 15%.

Cas du renouvellement de matériel à l'identique

La question s'est posée pour les économies d'eau susceptibles d'être réalisées lors du renouvellement d'un matériel à l'identique, d'un vieil enrouleur à un enrouleur neuf par exemple. D'après les travaux antérieurs d'IRSTEA qui quantifient l'érosion des performances des matériels en fonction de leur vieillissement et de leur maintenance (Molle et al, 2009), ces économies potentielles peuvent être estimées à :

- 10% pour le renouvellement d'un enrouleur ou d'un système de couverture intégrale, en raison de l'absence de fuites dans les nouveaux matériels,
- 5% lors du changement de busage d'un pivot ou d'une rampe (Molle, 1998),
- 15 à 20% pour le renouvellement d'une installation d'irrigation localisée (micro-jet ou goutte-à-goutte), en raison des pertes d'efficience dues au colmatage des vieux goutteurs ou micro-asperseurs et aux fuites.

Harmonisation des données

Une fois les données synthétisées selon la procédure décrite ci-dessus, il est apparu nécessaire de vérifier la cohérence des valeurs obtenues. On a veillé à ce que les économies d'eau diminuent avec les écarts d'efficience des systèmes, par exemple l'économie attendue lors du passage d'un enrouleur vers le goutte-à-goutte de surface doit être supérieure à l'économie engendrée par le passage d'un pivot (plus efficient que l'enrouleur) au même goutte-à-goutte.

De même, on a vérifié l'ajustement des valeurs avec celles couramment admises (voir tableau 1 pour rappel). Dans certains cas, les intervalles de valeurs proposés présentent des bornes inférieures plus basses et/ou des bornes supérieures plus hautes que les valeurs communément admises. C'est là tout l'intérêt de l'étude d'avoir permis d'affiner les valeurs d'économies d'eau génériques utilisées jusqu'à présent, en s'appuyant sur des références expérimentales et de suivis de pratiques.

Correction à apporter dans le cas de l'aspersion en régions ventées

D'après des recherches réalisées à IRSTEA (Molle et al, 2012), les pertes par évaporation au cours du trajet des gouttes dans l'air lors des journées d'été les plus chaudes sont au maximum de 5% sur une irrigation. Elles sont donc négligeables et n'ont pas été prises en compte dans l'étude.

Des travaux antérieurs menés par IRSTEA et ARVALIS pour l'élaboration de la méthode IRRIPARC (Granier et al, 2003), montrent que les pertes par dérive due au vent sur un **canon** peuvent aller ponctuellement jusqu'à 20%, avec une moyenne de 10% environ. Si on considère une saison culturale avec 10 tours d'eau comprenant 5 jours ventés à 10% de dérive, les pertes sont de 5% sur la saison. Ainsi, dans les zones très ventées, notamment la vallée du Rhône et les Pyrénées Orientales, le passage de l'aspersion au canon vers l'irrigation localisée permet de s'affranchir des pertes par dérive. Les

économies d'eau potentiellement réalisables lors du changement d'un **canon** ou d'une **couverture intégrale** sont donc à **augmenter de 5%.**

Quant aux **pivots**, ils fonctionnent en règle générale à des pressions faibles. Les diamètres des gouttes produites sont tels que les effets du vent sur les pertes sont négligeables. Seule une dérive a été enregistrée, pouvant dégrader ponctuellement l'uniformité de distribution et entraîner des pertes de l'ordre de 2% en conditions défavorables (quelques heures par jour) (Molle, 1998) Le choix a donc été fait de ne pas corriger les valeurs d'économies d'eau dans le cas des pivots en région ventées.

3.4. Phase 4 : évaluation de l'efficience des systèmes

L'évaluation de l'efficience de l'irrigation permet d'analyser les divers éléments constitutifs de l'efficience et d'identifier les points à améliorer pour augmenter l'efficience globale. Elle a été détaillée sur deux cas sélectionnés parmi les essais expérimentaux collectés au cours de la présente étude. Les autres cas seront analysés ultérieurement dans le cadre de la suite du projet.

3.4.1. Méthode générale

Bilan global

Rappelons que l'efficience globale d'irrigation (EG), sur la saison culturale, représente la part d'eau d'irrigation effectivement transpirée par la culture, donc qui va directement participer à l'élaboration du rendement :

EG = eau d'irrigation transpirée / eau d'irrigation en entrée de parcelle = Ti / Pi.

On distingue 5 étapes d'efficiences intermédiaires de l'eau d'irrigation :

- l'efficience de distribution à la parcelle (rend compte des pertes par fuites)
  Ed =eau appliquée / eau en entrée de parcelle = Ai / Pi
- l'efficience d'application (rend compte de l'évaporation, la dérive et l'interception par la canopée)
  Ea = eau atteignant le sol / eau appliquée = Si / Ai
- l'efficience de stockage (rend compte du ruissellement et du drainage)
  Es = eau retenue dans la zone racinaire / eau atteignant le sol = ZRi / Si
- l'efficience de consommation (rend compte de l'évapotranspiration des adventices et du stock final d'eau dans le sol)
  Ec = eau évapotranspirée / eau retenue dans la zone racinaire = ETRi / ZRi
- l'efficience de transpiration (rend compte de l'évaporation du sol)
  Et = eau transpirée / eau évapotranspirée = Ti / ETRi

Finalement :

EG = Ed x Ea x Es x Ec x Et.

Le bilan hydrique est établi, à l'échelle de la saison culturale, selon le principe que les **apports d'eau globaux** (pluie, irrigation, stock initial du sol) se répartissent entre la transpiration de la culture et les différentes pertes :

Pluie + Irrigation + Stock du sol initial = Transpiration + Pertes

Concernant les pertes, n'ayant pas collecté de donnée disponible sur des mesures de fuites à la parcelle, on les considère nulles. L'interception par la canopée est considérée comme négligeable et n'a pas été prise en compte dans les études de cas ci-dessous. Le ruissellement n'est pas simulé par Optirrig. Il n'a donc pas été intégré dans les pertes. Notons cependant que les aspects ruissellement pourraient être pris en compte dans des travaux ultérieurs. En effet, le ruissellement en zone de coteaux sous canon enrouleur est certainement une source de pertes importante du fait d'une part de la pente, et d'autre part de l'énergie cinétique conséquente des gouttes qui entraîne de l'érosion et du ruissellement. De même sous un pivot de grande taille (> 500 m) où l'intensité peut aisément dépasser 40mm/h lors de l'apport.

Les cultures étudiées étant désherbées chimiquement, les pertes par évapotranspiration des adventices ont pu être éliminées.

Finalement, les pertes considérées sont : l'évaporation directe et la dérive en aspersion, le drainage, l'eau restant dans la zone racinaire après récolte et l'évaporation du sol. Le bilan s'écrit donc :

Pluie + Irrigation + Stock du sol initial = Transpiration + (évaporation/dérive + drainage + eau restant dans zone racinaire après récolte + évaporation du sol)

Ap + Pi + SI = T + (ED + D+ SF + E)

Cette équation nous permet de vérifier que le bilan hydrique global (pluie + irrigation) établi sur la saison d'irrigation est bien équilibré.

Afin d'évaluer l'efficience globale d'irrigation (EG), il est nécessaire de connaître la transpiration d'eau d'irrigation (Ti), et donc de faire la part entre les volumes d'eau de pluie (eau verte sur la figure 5) et d'eau d'irrigation (eau bleue) à chaque étape du cheminement de l'eau, ainsi qu'au niveau des pertes.

Certains volumes sont issus de mesures, d'autres de calculs à partir de formules simples, ou du modèle Optirrig (Cheviron, et al, 2016) (figure 5). Ci-dessous sont explicitées les formules de calcul des volumes en jeu dans l'efficience globale d'irrigation (voir également figure 6).

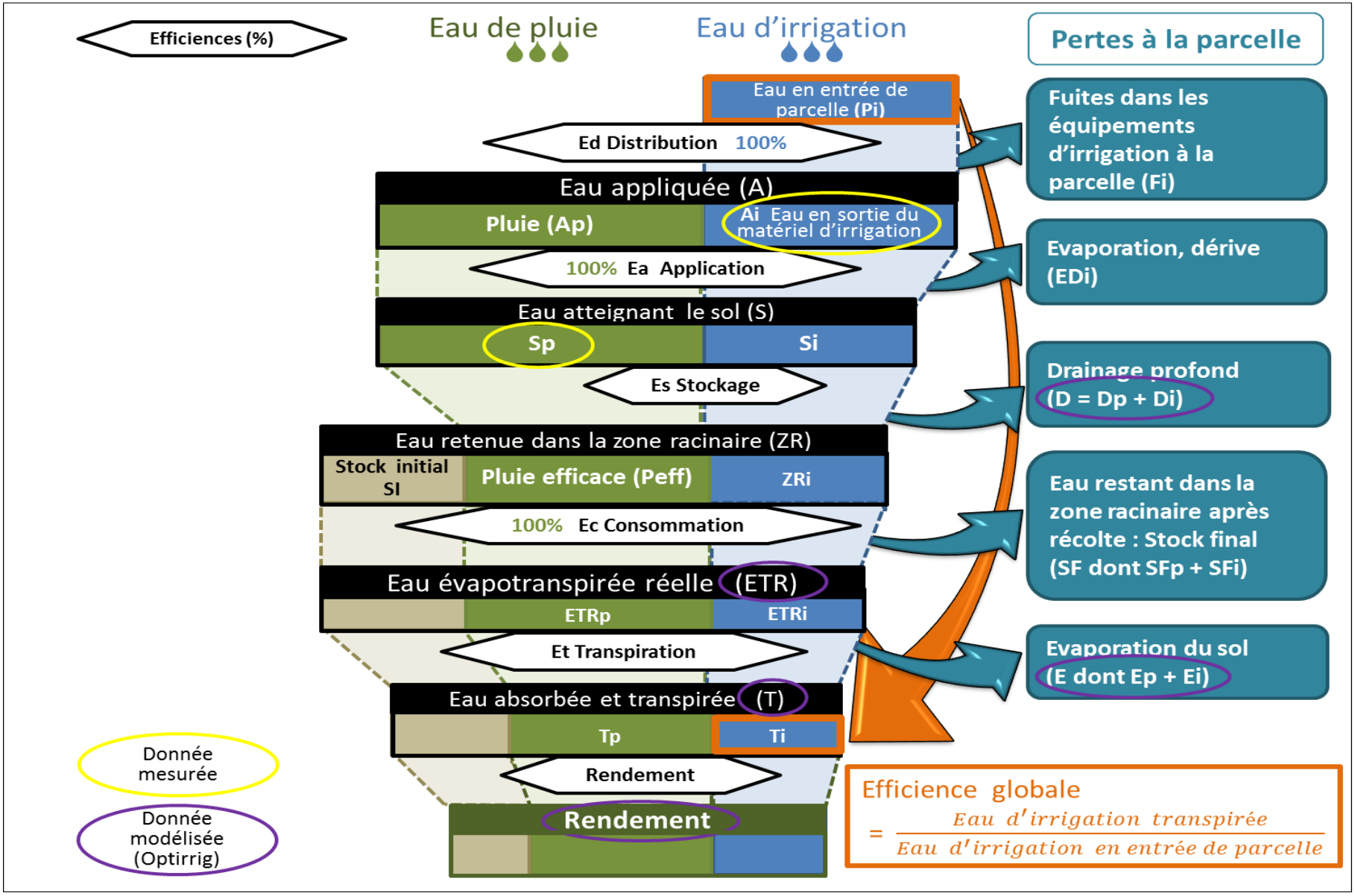


Figure 5. Etapes du cheminement de l'eau et calcul de l'efficience de l'irrigation

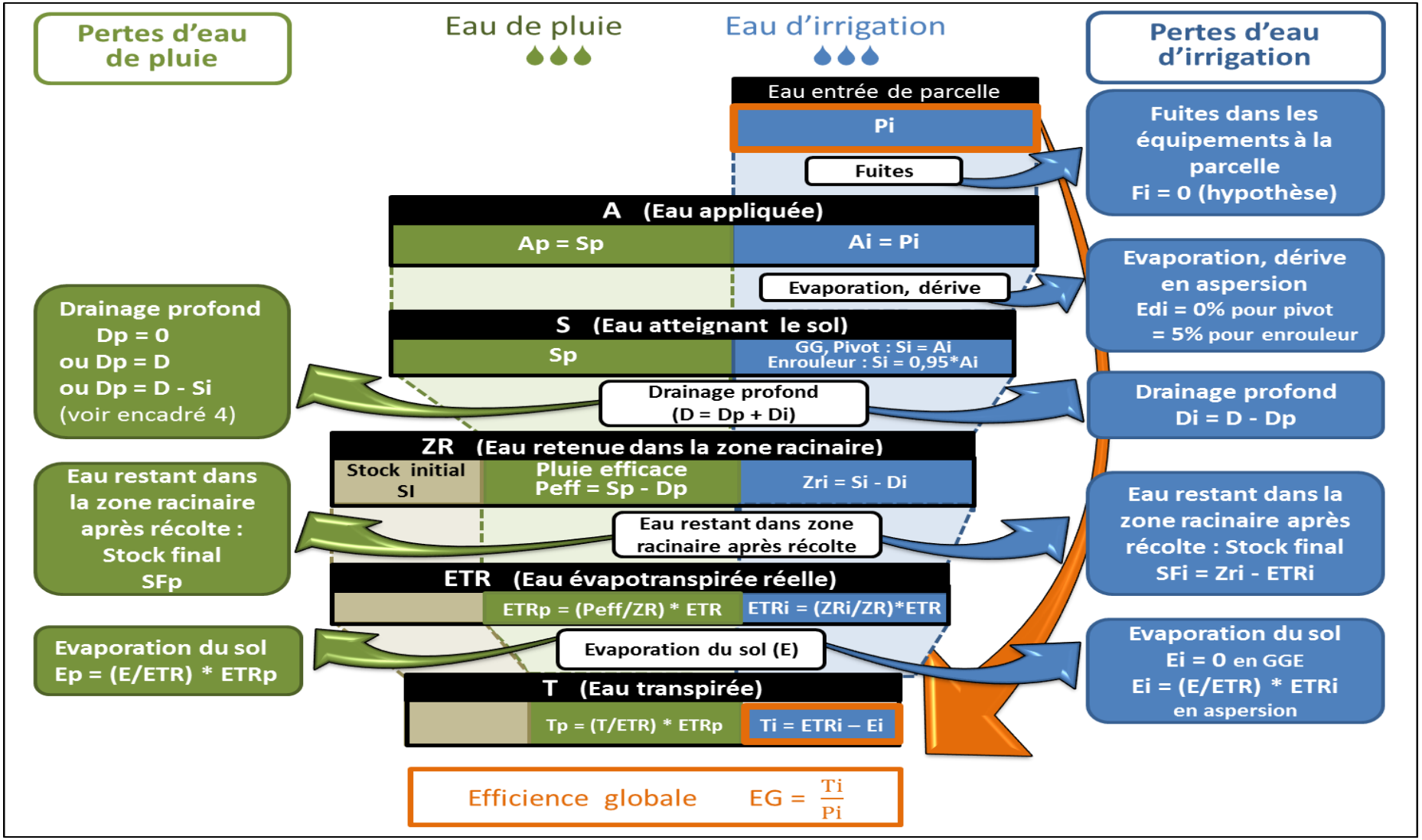


Figure 6. Calcul des volumes d'eau en jeu dans l'efficience globale de l'irrigation

Eau de pluie

Pluie appliquée (Ap)

On suppose que l'efficience d'application de la pluie est de 100% (figure 5), ce qui en réalité n'est pas le cas puisque la distribution de la pluie au sol est rarement homogène. On fait donc l'hypothèse que la hauteur d'eau de pluie appliquée est égale à la hauteur atteignant le sol :

$$Ap = Sp.$$

Pluie atteignant le sol (Sp)

Elle est mesurée à la parcelle, à l'aide d'un pluviomètre.

Perte d'eau de pluie par drainage (Dp)

Optirrig permet de simuler les pertes journalières globales par drainage profond (D), à savoir l'eau drainée sous la profondeur maximale d'enracinement (figure 7), en fonction de la réserve utile du sol. Ces pertes par drainage D concernent l'eau de pluie (Dp) et l'eau d'irrigation (Di) :

$$D = Dp + Di$$

Le drainage d'eau de pluie Dp est ensuite calculé à partir de D selon la méthode décrite dans l'encadré 4.

Encadré 4. Calcul de la hauteur journalière d'eau de pluie drainée (Dp)

S'il n'y a pas de drainage (D = 0)

⇨ **Dp = 0**

S'il y a drainage (D ≠ 0)

⇨ Si pluie seulement, le drainage concerne uniquement l'eau de pluie

P ≠ 0 et irrigation = 0 ⇨ **Dp = D** ; Di = 0 ;

⇨ Si irrigation seulement, le drainage concerne uniquement l'eau d'irrigation

P = 0 et irrigation ≠ 0 ⇨ **Dp = 0** ; Di = D ;

⇨ Si pluie et irrigation simultanément, on considère que l'eau d'irrigation draine prioritairement par rapport à l'eau de pluie (Merchan et al, 2015). Autrement dit, il n'aurait pas été nécessaire d'arroser et c'est d'abord l'eau d'irrigation qui est gaspillée par drainage.

P ≠ 0 et irrigation ≠ 0

si D > dose d'irrigation ⇨ Di = dose irrigation ; **Dp = D – dose d'irrigation** ; **Dp = D - Si**

si D < dose d'irrigation ⇨ Di = D ; **Dp = 0**

Pluie efficace (Peff)

Elle représente la fraction de l'eau de pluie stockée dans la zone racinaire, c'est-à-dire non entraînée par ruissellement et non drainée, donc disponible pour les plantes. On suppose les pertes par ruissellement nulles.

Si Sp est la hauteur de pluie journalière atteignant le sol, Peff la hauteur de pluie efficace journalière :

Peff = Sp – Dp

Et sur la saison culturale :

$$\sum_{semis}^{récolte} Peff = \sum (Sp - Dp)$$

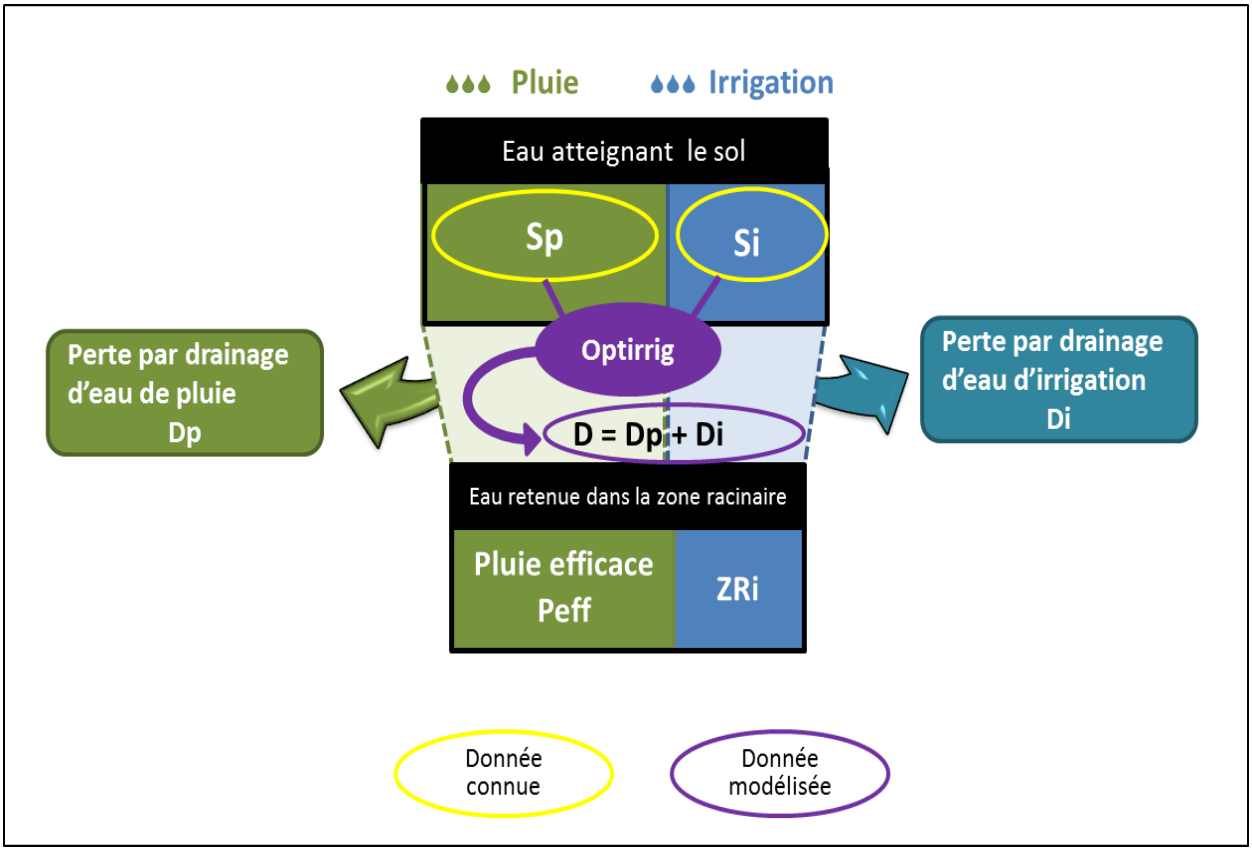


Figure 7. Calcul de la pluie efficace avec Optirrig

Pluie réellement évapotranspirée

L'évaporation totale ETR est simulée par Optirrig. On fait l'hypothèse que l'eau est évapotranspirée en gardant les mêmes proportions que l'eau stockée dans la zone racinaire, autrement dit que la part d'eau de pluie dans l'eau évapotranspirée totale est identique à la part d'eau de pluie dans la zone racinaire (Chukalla et al, 2015), c'est-à-dire :

ETRp = (Peff/ZR) * ETR

Pluie évaporée par le sol

La transpiration totale T est simulées grâce à Optirrig. On considère que l'efficience de transpiration est identique pour l'eau totale, l'eau de pluie et l'eau d'irrigation, soit :

T/ETR = Tp / ETRp = Ti / ETRi

et de même pour l'évaporation à partir du sol :

E/ETR = Ep / ETRp = Ei / ETRi

donc

Ep = (E/ETR) * ETRp

Pluie transpirée

Tp = (T/ETR)*ETRp

Eau d'irrigation

Pour **l'eau d'irrigation**, on a :

Pi + SI = Ti + (EDi + Di + SFi + Ei)

Eau d'irrigation en entrée de parcelle (Pi)

Dans les deux cas étudiés, on ne dispose pas de mesure d'eau en entrée de parcelle. On suppose que l'installation est en bon état de fonctionnement et ne comporte pas de fuites à la parcelle, c'est-à-dire que l'efficience de distribution est de 100%. Le volume d'eau en entrée de parcelle (Pi) est donc égal au volume d'eau appliqué (Ai).

Eau d'irrigation appliquée (Ai) = eau en sortie du matériel d'irrigation

C'est une donnée connue dans les essais expérimentaux par le débit des émetteurs et la durée d'ouverture de la vanne. Elle est en général croisée avec des données de compteur.

Eau d'irrigation atteignant le sol (Si)

Pour le goutte-à-goutte, on suppose que toute l'eau sortant du goutteur atteint le sol :

Alors Si = Ai pour le goutte-à-goutte.

En aspersion, elle aurait pu être vérifiée par des pluviomètres disposés au sol sous un pivot ou sous un canon enrouleur. Mais cela n'a pas été réalisé. On a fait l'hypothèse que l'efficience d'application est de 100% dans le cas du pivot et de la couverture intégrale, et 95% (hypothèse pessimiste de 5% de pertes par évaporation et dérive) pour l'enrouleur. On a alors

Si = Ai pour le pivot et la couverture intégrale
Si = 0,95 * Ai pour l'enrouleur.

Perte d'eau d'irrigation par drainage (Di)

Connaissant la fraction d'eau de pluie drainée (Dp) (encadré 4), on en déduit aisément

Di = D – Dp

Eau d'irrigation stockée dans la zone racinaire (ZRi)

Comme déjà dit, les pertes par ruissellement ne sont pas prises en compte. Seules les pertes par drainage sont simulées par Optirrig. On a donc

ZRi = Si – Di

Perte d'eau d'irrigation par l'eau restant dans la zone racinaire après la récolte (SFi)

Il s'agit de l'eau d'irrigation dans le stock final du sol. Elle est obtenue par la différence entre l'eau d'irrigation stockée dans la zone racinaire et l'eau d'irrigation évapotranspirée :

SFi = ZRi - ETRi

Eau d'irrigation réellement évapotranspirée (ETRi)

Comme pour l'eau de pluie, on a :

ETRi = (ZRi/ZR) * ETR

Eau d'irrigation évaporée par le sol (Ei)

- En goutte-à-goutte enterré (profondeur des gaines ≥ 30 cm)

Ei = 0

- En goutte-à-goutte de surface et aspersion

ETR et E sont simulées grâce à Optirrig.

Ei = (E/ETR) * ETRi

Eau d'irrigation transpirée

Ti = ETRi – Ei

Et enfin, à partir de Ti on calcule l'efficience d'irrigation globale

EG = Ti / Pi.

3.4.2. Etude de deux cas d'irrigation du maïs

Cas n° 1 : Villeneuve-de-Marsan, 2012–2015 [fiche de synthèse n° 5]

Il s'agit d'un essai expérimental réalisé à Villeneuve de Marsan, dans les Landes, de 2012 à 2015, sur du maïs. L'objectif était de tester l'efficacité et les économies d'eau potentiellement réalisables avec le goutte-à-goutte enterré (gaines espacées de 1 m, profondeur 33 cm), en comparaison avec un système conventionnel avec pivot. Le sol est un « sable de Marsan » à faible RU (70 mm).

On a émis l'hypothèse d'efficiences de distribution à la parcelle et d'application de 100%.

Cas n° 2 : Saint-Maurice-de-Gourdans, 2006-2009 [fiche de synthèse n° 2]

L'essai expérimental a été mené dans la plaine de l'Ain, de 2006 à 2009, sur maïs, avec l'objectif d'étudier la faisabilité, les économies d'eau potentiellement réalisables et le rendement avec le goutte-à-goutte enterré sur maïs (gaines espacées de 1,00 m ou 1,50 m ; prof 50 cm). Le système de référence était un enrouleur. Le sol de graviers a une RU de 60-80 mm.

On a considéré une efficience de distribution à la parcelle de 100% et une efficience d'application de 100 et 95% (5% pertes évaporation dérive) pour le goutte-à-goutte enterré et l'enrouleur respectivement.

Dans ces deux cas, pour chaque année, la simulation a été réalisée avec Optirrig, sur 365 jours. On suppose qu'on est en régime non-limitant en azote : la boucle azote n'a pas été utilisée. Le mode de calcul avec lecture d'un fichier irrigation (dates et doses) a été utilisé.

4. Analyse des données d'économie d'eau réalisées

4.1. Synthèse des valeurs d'économies d'eau

Pour chacune des 34 références collectées, une fiche de synthèse a été réalisée (voir l'ensemble des fiches en annexe 4).

Matériels d'irrigation

Le tableau 7 présente les valeurs d'économies d'eau réalisées dans le cadre des références collectées, pour les différents types de cultures, lors du passage d'un ancien vers un nouveau système d'irrigation. Comme on le verra plus loin, les économies d'eau les plus fortes sont souvent observées en année humide, alors qu'en année sèche, les économies sont moins conséquentes. C'est pourquoi années sèches, moyennes et humides sont distinguées dans les tableaux chaque fois que les données collectées le permettent.

Dans les grandes lignes, en grandes cultures, les économies observées lors du passage de l'enrouleur au pivot se situent autour de 10-25% [24, 25], et lors de la conversion de l'aspersion au goutte-à-goutte autour de 10-15 à 30-35% [1, 2, 4, 5, 6, 23, 26, 27, 29]. Deux références de passage au goutte-à-goutte font même état d'économies plus conséquentes, allant jusqu'à 66% sur tabac [8] et 70% sur maïs en année humide [2]. En arboriculture, les économies observées sont globalement plus importantes qu'en grandes cultures : 13 à 60% lors du passage de l'aspersion sur frondaison au micro-jet [11, 12] et 28-46% lors du passage au goutte-à-goutte [11, 12, 30, 31]. En maraîchage de plein champ, avec ou sans tunnel, les économies réalisées varient de 17 à 43% lors du passage de l'aspersion ou micro-aspersion au goutte-à-goutte [16, 17]. Une référence [34] concerne les cultures hors-sol : économie d'eau de 30% grâce au recyclage des solutions nutritives.

Outils de pilotage

Les valeurs d'économies d'eau réalisées grâce à l'utilisation d'un système de pilotage de l'irrigation figurent dans le tableau 8. Les capteurs d'eau dans le sol (tensiomètres et sondes capacitives) employés en grandes cultures et arboriculture permettent de réaliser de 8 à 41% d'économies d'eau [9, 15, 33], la moyenne se situant autour de 20-25%. En maraîchage de plein champ, ces outils permettent des économies encore supérieures, entre 30 et 89%, avec une moyenne de 45-50% [18, 19, 20, 21, 22]. Une référence [33] décrit l'utilisation du dendromètre associé aux tensiomètres en arboriculture pour une économie accrue de près de 30% par rapport au pilotage par tensiomètres seuls. Enfin une référence [10] présente une économie d'eau de 66% par l'utilisation d'une carte de réserve utile de sol permettant d'apprécier l'hétérogénéité intra-parcellaire de la RU associée à un logiciel de pilotage.

Il est intéressant de remarquer que, dans certains cas, le pilotage tensiométrique ne permet pas d'économie d'eau par rapport au pilotage à l'ETM partielle, mais, en revanche, garantit un niveau de rendement stable.

Ainsi, le pilotage de l'irrigation des fraises Darselect [21] à 50 et 30% de l'ETM en 2009 entraîne peu ou pas de baisse de rendement par rapport au pilotage 100% de l'ETM. Les rendements avec pilotage tensiométrique sont équivalents avec une économie d'eau allant jusqu'à 42%. Par contre, en 2010, année à fort déficit pluviométrique en mai et juin, les rendements à 50 et 30% de l'ETM sont

considérablement réduits. Avec le pilotage tensiométrique, les apports d'eau sont équivalents à ceux de 100% de l'ETM (économie d'eau de 0 à 8% seulement), mais les rendements ne chutent pas.

De même, sur pommes de terre [9], en années humides, le pilotage tensiométrique permet de réaliser des économies d'eau de 16 à 41 % par rapport au pilotage 100% de l'ETM. Ces économies sont équivalentes au pilotage 80 et 60% de l'ETM. Cependant, si les périodes de sécheresse s'étaient prolongées, la tension de l'eau dans le sol serait certainement montée trop haut avec le pilotage 80 et 60% de l'ETM, entraînant une chute de rendement, d'où l'intérêt du pilotage tensiométrique.

Les deux exemples précédents, relatifs à la fraise et la pomme de terre, montrent que le rationnement systématique des apports d'irrigation est trop arbitraire et n'assure pas des rendements satisfaisants en saison sèche. Le pilotage tensiométrique permet de s'adapter plus finement aux conditions climatiques : des économies d'eau sont réalisées lors des années où cela est possible, sans pénaliser le rendement.

Tableau 7. Valeurs d'économies d'eau réalisées dans les références collectées, pour les différents types de cultures, lors du passage d'un ancien vers un nouveau système d'irrigation. Les valeurs entre crochets indiquent le numéro de la référence.

MAÏS

Economie d'eau (%) ➡		Nouveau		
Ancien		Pivot basse pression	GGS	GGE
Enrouleur	Essais			Année humide 47-70% [2] Année sèche 18-34% [2] Année moy à sèche 37% [4] Année très sèche 8% [4] 19% [3]
	Suivis de pratiques	1-10 % [25] 16 % [24] 26 % [24]	15 - 27 % [27] Année pluvieuse 20 % [26]	
Couverture intégrale	Essais			11 % [1]
	Suivis de pratiques		26-32 % [23]	
Pivot / Rampe	Essais		Année humide 20 à 30% [6] 4% [7]	Année moyenne 27-29% [5] Année sèche 21% [5]
	Suivis de pratiques			

RU inconnue	RU < 80 mm	RU = 80-130 mm	RU > 130 mm

AUTRES GRANDES CULTURES

Economie d'eau (%) ➡		Nouveau		
Ancien		Pivot basse pression	GGS	GGE
Enrouleur	Essais			
	Suivis de pratiques			9% [29]
Couverture intégrale	Essais		46-66% [8]	
	Suivis de pratiques			
Rampe	Essais			
	Suivis de pratiques			23% [29]

RU ≤ 80 mm

ARBORICULTURE

Economie d'eau (%) ➡	Nouveau			
Ancien		Aspersion sous frondaison classique	Aspersion sous frondaison Microjet	GGS
Aspersion sous frondaison Microjet	Essais			
	Suivis de pratiques			Noyers 28% [31]
Aspersion sur frondaison Couverture intégrale	Essais		13-60% [11] 44% [12]	31% [11] 45% [12]
	Suivis de pratiques	16% [30] Rdt ?		46% [30] Rdt ?

RU < 100 mm	RU = 100-170 mm

MARAICHAGE DE PLEIN CHAMP

Economie d'eau (%) ➡	Nouveau		
Ancien		Microjet	GGS
Couverture intégrale	Essais		17% [16]
	Suivis de pratiques		
Microjet	Essais		43% [17]
	Suivis de pratiques		

RU < 100 mm

CULTURES HORS-SOL

Economie d'eau (%) ➡	Nouveau		
Ancien		Avec recyclage de la solution nutritive	
Sans recyclage de la solution nutritive	Essais		
	Suivis de pratiques	30% [34]	

Tableau 8. Valeurs d'économies d'eau réalisées par l'utilisation d'un système de pilotage de l'irrigation dans les références collectées, pour les différents types de cultures. Les valeurs entre crochets indiquent le numéro de la référence.

	Tensiomètres	Sondes capacitives	Tensiomètres + dendromètre	Cartographie de sol + logiciel
MAÏS et AUTRES GRANDES CULTURES				
Essais	**GGS** 16-41% [9]			**Aspersion** 66% [10]
ARBORICULTURE				
Essais		**Aspersion** 8 % [15] **GGS** 21 % [15]		
Suivis de pratiques	**Aspersion** 23 % [33]		**Aspersion** 52 % [33]	
MARAICHAGE DE PLEIN CHAMP				
Essais	**Aspersion** 35-49% [22]	**Aspersion** 36% [22]		
	GGS 31 % [19]	**GGS** 65 à 89 % [20]		
	GGS 53-68% [18]			
	GGE 25% [21]			

4.2. Comparaison avec les dires d'experts

Les dires d'experts concernant les économies d'eau réalisées, recueillis lors des entretiens avec les diverses personnes ressources, sont consignés dans le tableau 9. Le tableau 10 permet de comparer les valeurs collectées lors de la présente étude aux dires d'experts. On peut souligner que les valeurs des références obtenues sont, dans la moyenne, en cohérence avec les dires d'experts qui s'appuient en grande partie sur des observations de terrain chez les agriculteurs.

L'Agence de l'Eau Adour-Garonne (AEAG) a commandé en 2016 une étude pour le renforcement des actions d'économies d'eau en irrigation dans le bassin Adour-Garonne. La tâche 1 consistait en une synthèse des connaissances sur les leviers d'économies d'eau en irrigation. Les valeurs d'économies d'eau de la présente étude s'avèrent globalement en accord avec les références techniques compilées par l'étude AEAG (tableau 10). Certaines références présentent cependant des valeurs quelque peu supérieures en grandes cultures pour le passage enrouleur à pivot [24] ou aspersion à goutte-à-goutte [2, 4, 6, 23], et en arboriculture [11, 12], mais on peut noter que la plupart ne se situent pas sur le territoire de l'Agence.

Tableau 9. Dires d'experts concernant les économies d'eau réalisées

GRANDES CULTURES

Economie d'eau (%) ➡	**Nouveau**			
Ancien	Enrouleur	Pivot basse pression	GG	Pilotage avec capteurs et/ou logiciel
Enrouleur		10-15% (F. Ducocs) 20% (N. Daude)	30% (N. Piton)	
Couverture intégrale	20-25% (F. Dubocs)	10-20% (N. Daude)		
Pivot/rampe				
Pilotage sans capteur ni logiciel				10-25% (P Denis, O Deroche) Mais pas en année sèche (F. Dubocs, C Josserand) Irré-LIS® : économie d'un tour d'eau (F. Thomazet)

ARBORICULTURE

Economie d'eau (%) ➡	**Nouveau**			
Ancien	Enrouleur	Mini-diffuseur Microjet	GGS	Pilotage avec capteurs
Aspersion sous frondaison Microjet		10% (SERFEL)		
Couverture intégrale		20% (N. Piton) 10-20% (X Crete) 10% (P. Blanc)	50% (F. Dubocs) 30% (P. Mourot) 10-20% (X Crete)	

Tableau 10. Comparaison des valeurs d'économies d'eau collectées avec les dires d'experts et les références de l'étude « renforcement des actions d'économies d'eau en irrigation dans le bassin Adour-Garonne » de l'Agence de l'Eau Adour Garonne (AEAG)

	Economies d'eau réalisées		
	Fourchettes moyennes de l'étude	**Dires d'experts**	**Etude AEAG (en année moyenne)**
GRANDES CULTURES			
Enrouleur → pivot	10-25%	10-20%	5-10%
Aspersion → goutte-à-goutte	5-10 à 30-35%	23-30%	5-25%
Pilotage avec capteurs	20-25%	10-25%	10-20% maïs soja
ARBORICULTURE			
Aspersion sur frondaison → micro-jet	13-60%	10-20%	20% pommes
Aspersion sur frondaison → goutte-à-goutte	28-46%	10-50%	50-55%

4.3. Variabilité importante des résultats d'économie d'eau

L'analyse des références collectées révèle une variabilité importante des résultats d'économies d'eau. Pour une même culture, cette variabilité s'observe entre les différents essais, en raison des caractéristiques du sol et du climat. Au sein d'un même essai, les résultats ne sont pas systématiquement reproductibles d'une année sur l'autre. Les résultats sont donc exprimés en fourchettes de valeurs et il convient de bien examiner le contexte dans lequel les données ont été obtenues afin de ne pas généraliser trop hâtivement.

4.4. Influence de la réserve utile du sol sur l'économie d'eau

Sur les références collectées concernant l'irrigation du maïs, on note une influence de la taille de la réserve utile du sol sur l'économie d'eau dans le cas du passage de l'aspersion par canon ou couverture intégrale vers le goutte-à-goutte (figure 8). L'économie d'eau tend à être plus importante dans les sols à faible RU. Dans ces sols, les pertes par drainage et ruissellement lors de l'aspersion peuvent s'avérer importantes. Les faibles apports d'eau en goutte-à-goutte permettent de limiter ces pertes et même les supprimer. L'efficience est alors accrue. Cette modulation de l'économie d'eau par la RU n'est pas observée sur maïs lors du passage du pivot/rampe vers le goutte-à-goutte (figure 8).

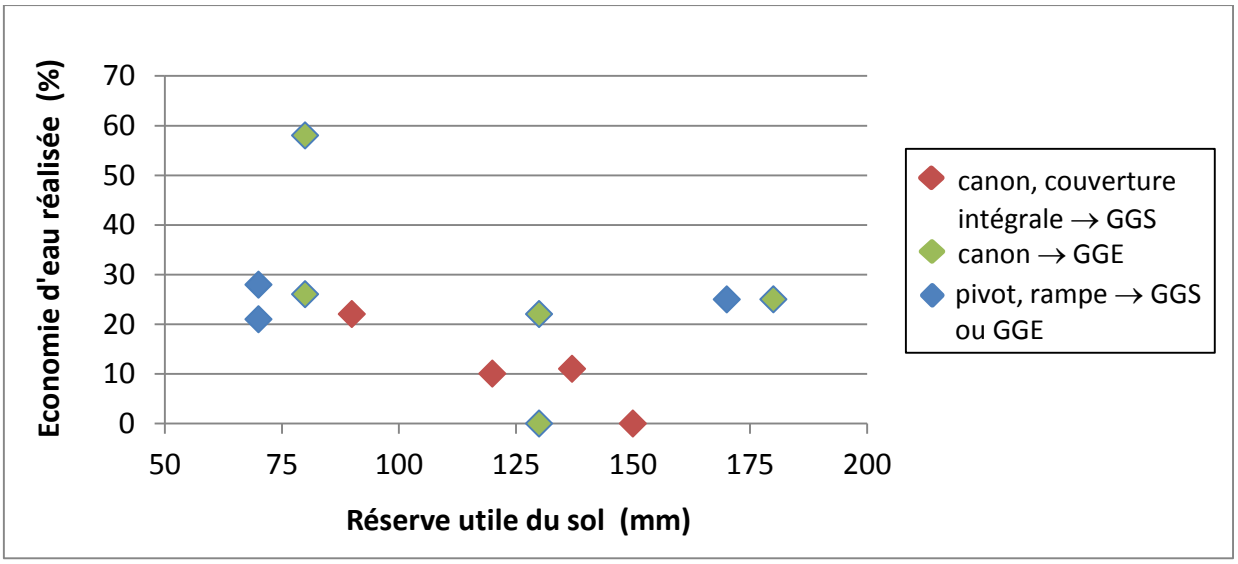


Figure 8. Economies d'eau réalisées lors du passage de l'aspersion au goutte-à-goutte de surface (GGS) ou enterré (GGE) sur maïs en fonction de la réserve utile du sol

4.5. Influence de l'année climatique sur les économies d'eau

Lorsque les essais ont été conduits sur plusieurs années, on remarque une nette variabilité des résultats d'économie d'eau réalisée en fonction de l'année climatique. De façon générale, les volumes d'eau d'irrigation sont plus conséquents et les économies plus faibles en année sèche ou très sèche (figure 9). Cette tendance s'explique essentiellement par la réduction des pertes par drainage en aspersion par rapport à une année normale ou humide puisque les pluies ne participent pas au remplissage du réservoir sol. En outre, il a été montré que les agriculteurs ont tendance à sur-irriguer en année humide (difficulté de prévoir la pluie et d'arrêter un canon enrouleur) et sous-irriguer en année sèche (contraintes de disponibilité de la ressource en eau et du matériel).

Sur la figure 9, le résultat de Genas 2014 fait exception. Cette année fut extrêmement humide en sorte que l'irrigation fut très réduite, lissant la différence entre les deux systèmes d'irrigation et ramenant l'économie d'eau à 0%.

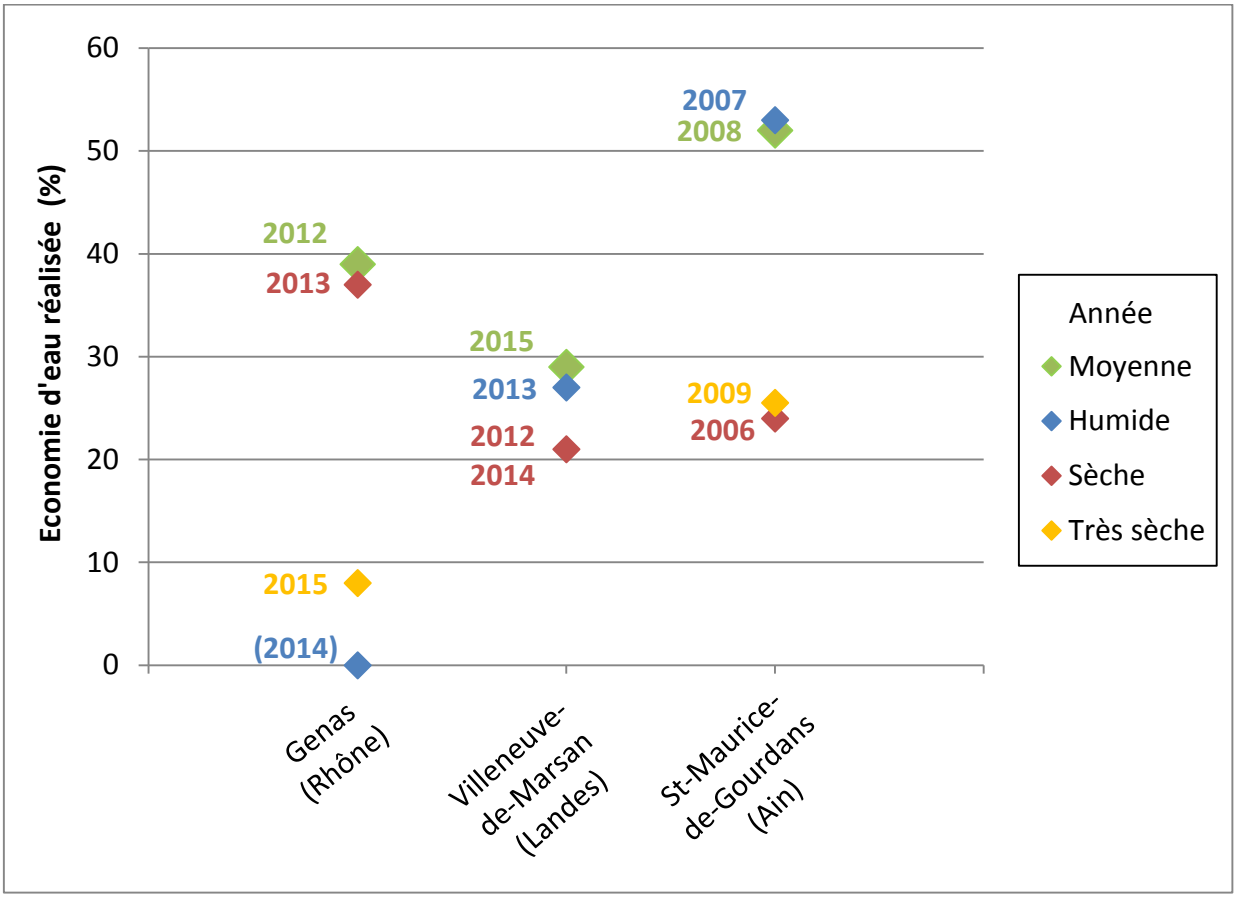


Figure 9. Economies d'eau réalisées lors du passage de l'aspersion au goutte-à-goutte enterré sur 3 sites d'essai en maïs, en fonction de l'année climatique

4.6. Cas particulier du goutte-à-goutte enterré

Comme cela a déjà été évoqué plus haut, la technique du goutte-à-goutte enterré n'est pour l'instant développée que sur des surfaces très restreintes au niveau des exploitations agricoles, notamment en grandes cultures. Plusieurs essais expérimentaux comparant l'aspersion et le goutte-à-goutte enterré mettent en évidence des économies d'eau en grandes cultures [1 à 8]. Un éventail d'espacements de gaines a été testé (0,8m ; 1,0m ; 1,1m ; 1,2m ; 1,5m et 1,6m) ; le rendement est équivalent ou supérieur à l'aspersion seulement pour un espacement de gaines allant jusqu'à 1,20m.

En goutte-à-goutte enterré, les économies d'eau proviennent d'une limitation des pertes d'eau d'irrigation due à :

- la suppression des pertes par évaporation directe (liée au rayonnement et aux fortes températures) et dérive (liée au vent) rencontrées aspersion,
- la diminution de la surface du sol exposée à l'évaporation puisqu'on n'arrose pas 100 % de la surface cultivée, mais seulement une proportion d'environ 70%,
- la moindre évaporation de l'horizon superficiel du sol en goutte-à-goutte enterré

Cependant, ces économies d'eau ne sont pas systématiques et pas toujours reproductibles d'une année sur l'autre. Dans certains contextes, elles peuvent même s'avérer nulles ou s'accompagnent d'une baisse de rendement [1, 6]. Dans ces cas, même si le goutte-à-goutte enterré ne peut répondre aux exigences de l'article 46 du Règlement européen n°1305/2013 en termes d'économie d'eau significative sans réduction du rendement, il présente de nombreux avantages qu'il convient de mettre en balance. En dépit des faibles économies d'eau parfois rencontrées, plusieurs personnes ressources interrogées ont tenu à mentionner les avantages du goutte-à-goutte enterré :

Avantages communs avec le goutte-à-goutte de surface :

- Coût énergétique moindre, bien que pas toujours confirmé si la conception n'a pas été orientée pour tenir compte de la consommation énergétique
- Possibilité de fertigation : meilleure efficience des fertilisants et moins de passage de tracteur
- Possibilité d'irriguer, même en journées ventées
- Prise en compte des petites pluies d'été qui passent inaperçues en système enrouleur
- Automatisation aisée des installations donc gain de main d'œuvre, réduction de la pénibilité
- Possibilité d'arroser la nuit et de bénéficier de tarifs énergétiques avantageux
- Avantages sanitaires : feuillage moins humide donc moins de développement de maladies cryptogamiques
- Feuillage et inter-rangs secs facilitant les interventions mécaniques dans les parcelles
- Homogénéité du rendement dans une parcelle (sous réserve de non colmatage et d'une bonne conception hydraulique)
- En sol de limons, amélioration des aspects ruissellement et tassement des sols
- Décompaction du sol lors de la pose des gaines

Avantages spécifiques au goutte-à-goutte enterré :

- Limitation du développement des adventices
- Gaines à l'abri des rongeurs, insectes, chasseurs
- Possibilité d'association avec le semis direct.

Ces avantages sont à mettre en balance avec les inconvénients rencontrés par les utilisateurs du goutte-à-goutte enterré :

- Coût élevé à l'installation
- Nécessité de surveillance, obligation de système de contrôle car fuites invisibles
- Risque accru de sensibilité au manque d'eau en cas de panne, pas de « rattrapage » possible. Ce point est un facteur déterminant pour de nombreux agriculteurs. L'irrigation représente une assurance de revenus et le goutte-à-goutte enterré constitue une prise de risque technique et financier.
- Colmatage par intrusion racinaire, qui peut conduire à prolonger l'irrigation en fin de saison même hors période de besoin
- Colmatage par dépôts de particules ou précipitation
- Nécessité d'entretien du système
- Non adapté aux sols filtrants et pierreux [6, 28]
- Nécessite d'avoir un canon pour l'irrigation de levée en cas de printemps sec
- Compactage du sol au bout de plusieurs années

- Difficultés de ne pas endommager le système lors des interventions culturales (arrachage de gaines). L'expérience d'IRSTEA sur cette technique en fait le point le plus sensible.

4.7. Cas particuliers des équipements de précision hydro-économes

Nous ne disposons pas, parmi les références collectées, de données sur les économies d'eau réalisables par les équipements hydro-économes : essentiellement systèmes brise-jet ou angles réglables sur les canons. Ce point rejoint le constat établi par l'« *Etude pour le renforcement des actions d'économies d'eau en irrigation dans le bassin Adour-Garonne, 2017* » selon lequel il n'existe pas, à l'heure actuelle, de résultats d'expérimentations sur le sujet. D'après l'expertise d'IRSTEA, on peut attendre une économie d'eau réalisable avec ces équipements de précision de 5 à 10 % en général, et 10 à 15 % en zone ventée. L'étude AEAG a retenu une hypothèse de 5 à 10% pour l'évaluation des économies d'eau liées à ces équipements et nous proposons de considérer cette même valeur dans l'outil final d'évaluation des économies d'eau potentielles.

5. Outil d'évaluation des économies d'eau potentiellement réalisables

Mode d'emploi

Les économies potentiellement réalisables peuvent être aisément estimées à partir des tableaux 11 et 12.

1. Trouver la case correspondant au changement de matériel envisagé dans le tableau 11 pour le matériel d'irrigation et le tableau 12 pour le matériel de pilotage. Noter la (ou les valeurs) d'économies d'eau correspondante(s).
    a. Une culture avec un équipement dédié
        ⇨ Cas le plus simple
    b. Rotations culturales (ex : cultures diffèrent d'une année sur l'autre sous un même pivot)
        ⇨ Considérer la culture la plus consommatrice en eau (volume à l'hectare le plus important)
    c. Assolement (ex : un même enrouleur sert sur plusieurs parcelles de cultures différentes)
        ⇨ Considérer la culture consommant le plus d'eau (volume global annuel le plus important = volume à l'hectare x surface) dans l'îlot d'irrigation
    d. Plusieurs équipements utilisés en concomitance sur une même parcelle (ex : canon ou pivot + couverture intégrale pour couvrir les angles)
        ⇨ Considérer l'équipement le plus consommateur
    e. Plusieurs équipements utilisés successivement au cours d'une saison culturale sur une même parcelle (ex : goutte-à-goutte enterré + canon pour irrigation de levée du semis)
        ⇨ Considérer l'équipement utilisé le plus longtemps sur la saison
2. Cas particulier des équipements hydro-économes : systèmes brise-jet ou angles réglables sur les canons : considérer une économie de 5 à 10%.
3. Cas particulier des zones ventées : dans le cas du passage d'un canon enrouleur ou d'une couverture intégrale vers un autre type de matériel (pivot ou irrigation localisée), augmenter la (les) valeur(s) de 5%.
4. Consulter le Plan de Développement Rural Régional (PDRR).
    - Si le seuil d'éligibilité du PDRR est inférieur à la valeur trouvée (ou à la borne inférieure de l'intervalle), le matériel est éligible.
    - Si le seuil d'éligibilité du PDRR se trouve dans l'intervalle trouvé, choisir une valeur d'économie d'eau à l'intérieur de l'intervalle et supérieure ou égale au seuil.
    - Si le seuil d'éligibilité du PDRR est supérieur à la valeur trouvée (ou à la borne supérieure de l'intervalle), le matériel n'est pas éligible.

Tableau 11. Economies d'eau potentiellement réalisables par un changement de **matériel d'irrigation**

MAÏS ET AUTRES GRANDES CULTURES

économie d'eau (%) ➡	**Nouveau**				
Ancien	Enrouleur	Couverture intégrale	Pivot basse pression	Goutte-à-goutte de surface	Goutte-à-goutte enterré
Enrouleur	10	10	5 - 20*	10 - 20*	15 - 35*
Couverture intégrale	--	10	5 - 20*	15 - 25*	20 - 25*
Pivot / Rampe	--	--	5 - 10	5 - 15	10 - 25
Goutte-à-goutte de surface	--	--	--	10 - 20	15 - 20
Goutte-à-goutte enterré	--	--	--	--	10 - 20

ARBORICULTURE

économie d'eau (%) ➡	**Nouveau**				
Ancien	Aspersion sur frondaison	Aspersion sous frondaison classique	Aspersion sous frondaison Microjet	Goutte-à-goutte de surface	Goutte-à-goutte enterré
Aspersion sur frondaison	10	10	15 - 30*	20 - 35*	25 - 35*
Aspersion sous frond Microjet	--	--	10 - 20	15 - 25	15 - 30
Goutte-à-goutte de surface	--	--	--	10 - 20	5 - 15
Goutte-à-goutte enterré	--	--	--	--	10 - 20

MARAICHAGE DE PLEIN CHAMP

économie d'eau (%) ➡	**Nouveau**		
Ancien	Couverture intégrale	Mini-aspersion	Goutte-à-goutte de surface
Couverture intégrale	10	5 - 10*	5 - 15*
Mini-aspersion	--	10 - 20	10 - 30
Goutte-à-goutte de surface	--	--	10 - 20

* augmenter les valeurs hautes et basses des intervalles de +5 en région ventée

Tableau 11 (suite). Economies d'eau potentiellement réalisables par un changement de **matériel d'irrigation**

CULTURES HORS-SOL

économie d'eau (%) ➡	**Nouveau**
Ancien	Avec recyclage de la solution nutritive
Sans recyclage de la solution nutritive	25

Tableau 12. Economies d'eau potentiellement réalisables par l'acquisition et l'utilisation d'un **matériel de pilotage** (en comparaison d'une irrigation sans matériel de pilotage)

	Tensiomètres Sondes capacitives	Tensiomètres + dendromètre	Cartographie de sol + logiciel
AUTRES GRANDES CULTURES			
	15 - 40	--	20 - 35
ARBORICULTURE			
	10 - 20	15 - 30	
MARAICHAGE DE PLEIN CHAMP			
	15 - 40	--	

6. Evaluation de l'efficience des systèmes

6.1. Cas n° 1. Villeneuve-de-Marsan, 2013-2015 [fiche n° 5]

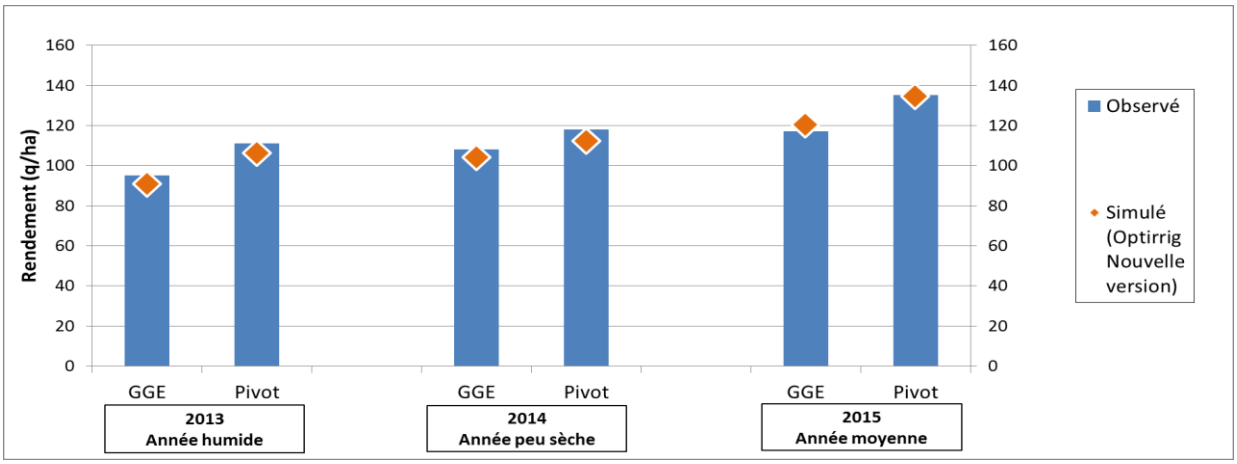


Figure 10. Rendements du maïs observés et simulés avec Optirrig pour les différents systèmes : pivot et goutte-à-goutte enterré (GGE) à Villeneuve-de-Marsan

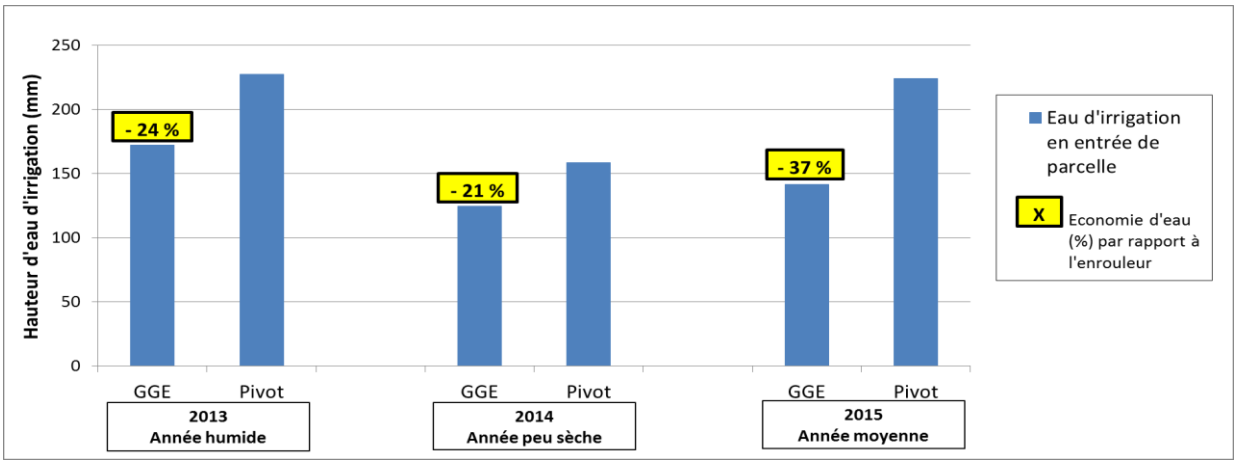


Figure 11. Hauteurs d'eau apportée et économies d'eau réalisées avec le goutte-à-goutte enterré (GGE) par rapport au pivot à Villeneuve-de-Marsan

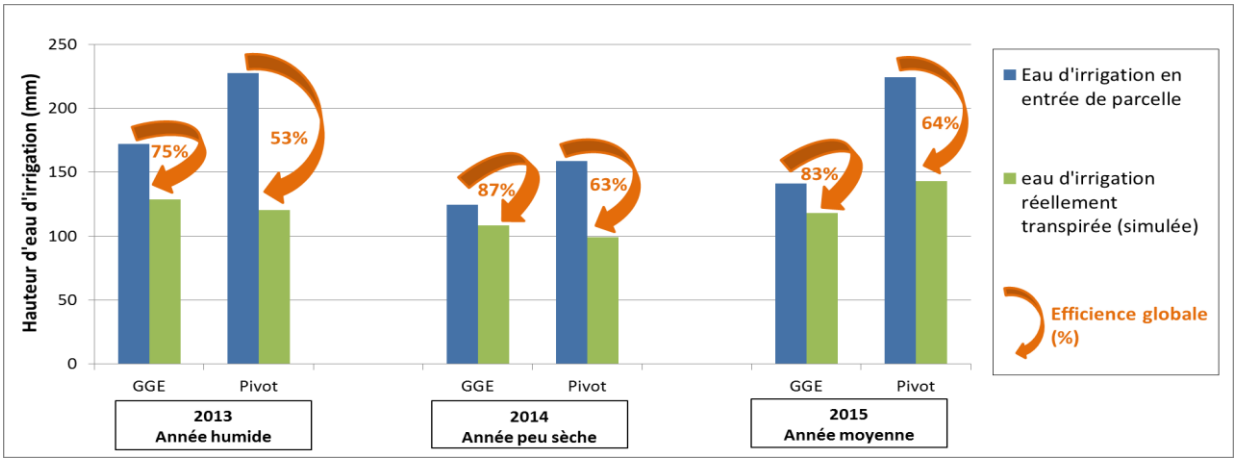


Figure 12. Hauteurs d'eau apportée et réellement transpirée par le maïs, efficience globale d'irrigation avec différents systèmes : pivot et goutte-à-goutte enterré (GGE) à Villeneuve-de-Marsan

Les hauteurs d'eau des différentes étapes de l'efficience, ainsi que les rendements, ont été simulés avec Optirrig de 2013 à 2015. Les rendements simulés sont très proches des rendements observés (figure 10), ce qui confirme que l'on peut utiliser Optirrig pour les estimations de hauteurs d'eau.

Les apports d'eau sont systématiquement réduits en goutte-à-goutte enterré par rapport au pivot sur les 3 années étudiées (figure11). L'économie d'eau réalisée est de 21% en 2014, 27% en 2013 et 29% en 2015. Cependant les rendements en goutte-à-goutte enterré sont inférieurs (jusqu'à 14%) à ceux obtenus sous pivot.

L'efficience globale de l'irrigation, c'est-à-dire la part d'eau d'irrigation réellement transpirée par la culture, calculée par Optirrig, est représentée sur la figure 12. Elle est plus faible en 2013, année humide : 75% en goutte-à-goutte et 53% en aspersion. En 2014 et 2015 elle se situe entre 63 et 87%. Pour les 3 années, l'efficience globale du goutte-à-goutte enterré est nettement supérieure à celle du pivot.

Comme décrit précédemment (§ 3.4.1. Méthodologie de l'évaluation de l'efficience des systèmes), les **pertes par évaporation et dérive** ont été fixées à 0% (**efficience d'application** de 100%) pour l'aspersion par pivot et le goutte-à-goutte enterré.

Les **pertes d'eau restant stockée dans le sol après récolte** (figure 13) diminuent avec le degré de sécheresse de l'année. Elles sont les plus importantes en année humide (2013) où elles représentent 22 à 25% de l'eau en entrée de parcelle soit 48 à 100% des pertes totales. Elles sont réduites en année moyenne (2015) : 17% de l'eau en entrée de parcelle, soit 50 à 100% des pertes totales ; et encore plus faibles en année légèrement sèche (2014) : 13% de l'eau en entrée de parcelle et 35 à 100% des pertes totales. L'**efficience de consommation** est similaire pour le goutte-à-goutte et le pivot : 75 à 78% en 2013, 87% en 2014, 82% en 2015. Les économies d'eau dues à la réduction des pertes en eau d'irrigation restant dans la zone racinaire après la récolte en goutte-à-goutte par rapport à l'aspersion se situent, en valeur absolue, de 5 à 17 mm.

On n'observe pas de **perte par drainage** : **l'efficience de stockage** est de 100% chaque année pour le goutte-à-goutte et le pivot.

L'**évaporation du sol** est nulle en goutte-à-goutte enterré. Sous pivot elle est de 18, 24 et 25% de l'eau en entrée de parcelle en 2015, 2014 et 2013 respectivement. En proportion des pertes totales, l'évaporation du sol est plus importante en année sèche (65% des pertes totales) qu'en année moyenne ou humide (50% des pertes totales environ). Les économies d'eau liées à la réduction de l'évaporation du sol permise par le goutte-à-goutte enterré varient entre 38 et 56 mm.

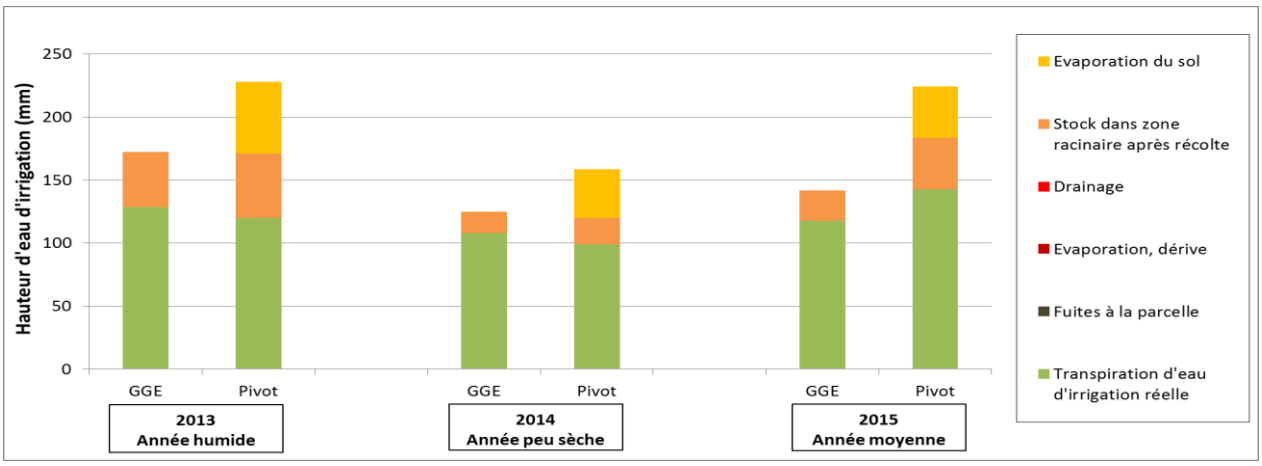


Figure 13. Répartition de l'eau d'irrigation entre la transpiration réelle de la culture et les différentes pertes pour le pivot et le goutte-à-goutte enterré (GGE) à Villeneuve-de-Marsan. Les pertes par fuites à la parcelle, ainsi que par évaporation/dérive sont arbitrairement considérées comme nulles. Les pertes par drainage sont inexistantes dans le cas étudié.

Conclusion

Dans cet essai expérimental, les pertes sont de deux types. (1) L'évaporation du sol, sous pivot uniquement. Cette perte est inhérente au **système d'irrigation** lui-même. Selon les années, l'évaporation du sol représente la moitié ou les 2/3 des pertes. (2) Le stock d'eau restant dans le sol après la récolte n'est pas utilisé par la culture, ni par la culture suivante qui ne sera semée qu'au printemps prochain, donc une fois que la réserve utile du sol aura été remplie par les pluies d'hiver. Cette perte a pour origine la **conduite de l'irrigation** qui n'a pas assez valorisé la contribution de l'eau du sol à l'alimentation hydrique de la culture. Cette eau résiduelle compte pour 100% des pertes totales en goutte-à-goutte enterré et, selon les années, pour 1/3 à la moitié des pertes en aspersion. Elle représente l'équivalent d'un peu plus d'un passage de pivot en année sèche. Même en année sèche, la dernière irrigation aurait vraisemblablement pu être évitée. Ce stock final après récolte est encore plus élevé en année humide où la ressource n'est pas limitée et où l'agriculteur, étant en confort, peut avoir tendance à irriguer davantage.

L'efficience globale d'irrigation s'élève à environ 50-65% pour le pivot et 75-90% pour le goutte-à-goutte enterré. Les économies d'eau permises par le goutte-à-goutte enterré trouvent leur origine dans les performances technologiques du système (évaporation du sol réduite), et, dans une moindre mesure, dans la manière dont l'irrigation est conduite (stock d'eau final du sol après récolte). **L'efficience globale du pivot pourrait être augmentée d'environ 20 à 25% par le changement de système (conversion vers le goutte-à-goutte enterré) et de 10 à 25% par l'optimisation du pilotage.**

6.2. Cas n° 2. Saint-Maurice-de-Gourdans, 2007 et 2009 [fiche n° 2]

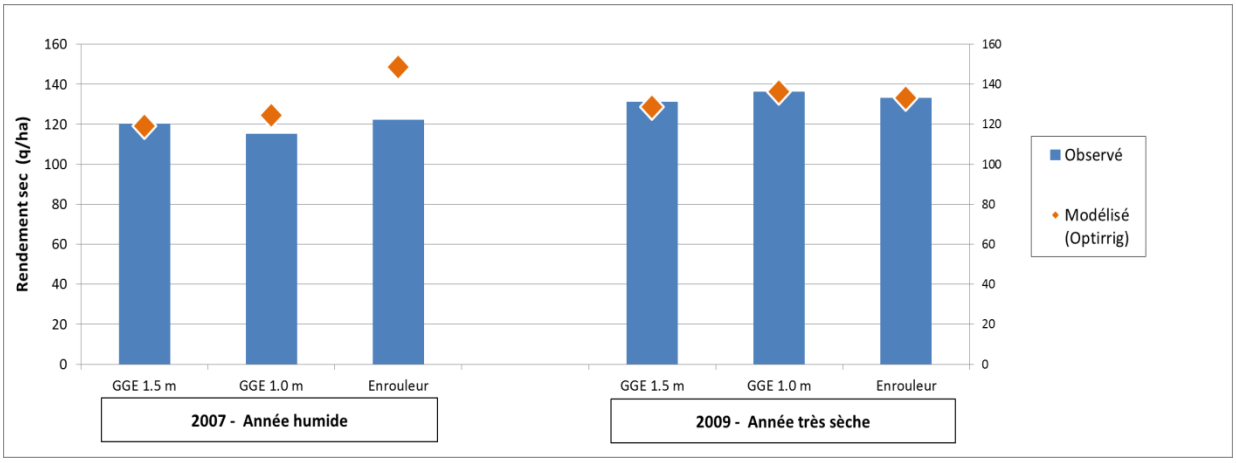


Figure 14. Rendements du maïs observés et simulés avec Optirrig pour les différents systèmes : enrouleur, GGE 1,5 m (gaines espacées de 1,50 m), GGE 1,0 m (gaines espacées de 1,0 m) à St-Maurice

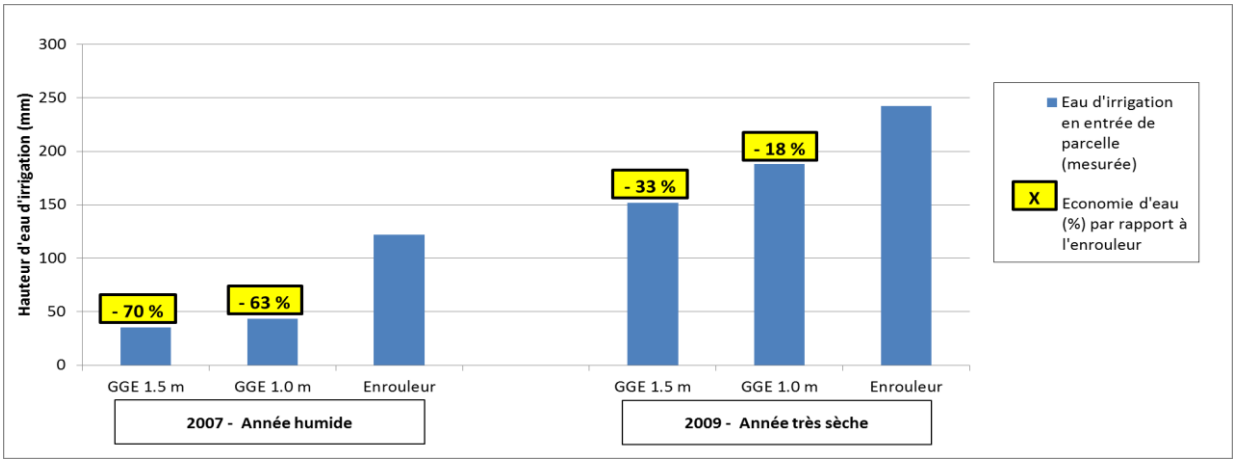


Figure 15. Hauteurs d'eau apportée et économies d'eau réalisées avec le goutte-à-goutte par rapport à l'enrouleur (GGE 1,5 m gaines espacées de 1,50 m ; GGE 1,0 m gaines espacées de 1,0 m) à St-Maurice

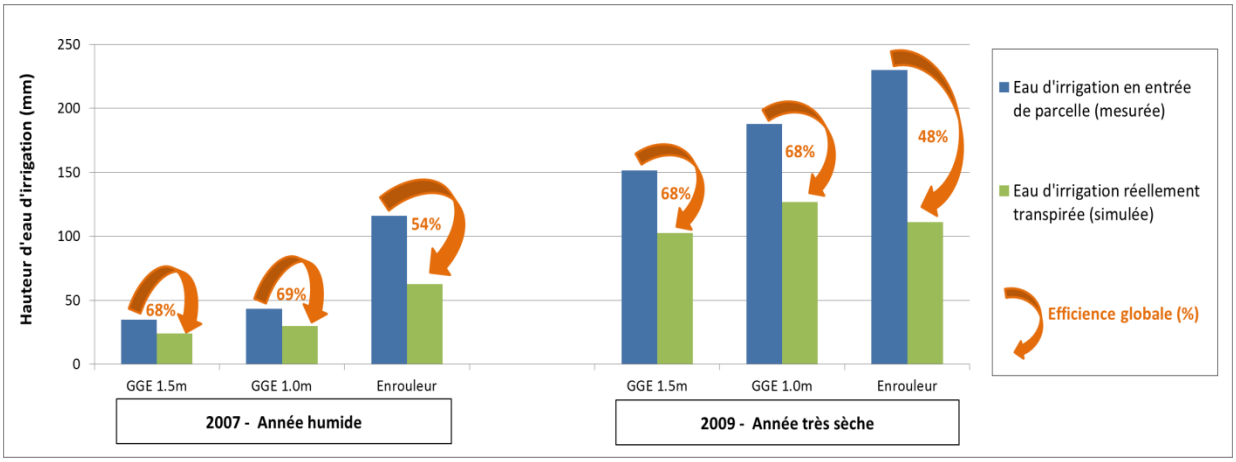


Figure 16. Hauteurs d'eau apportée et réellement transpirée par le maïs, efficience globale d'irrigation avec différents systèmes : enrouleur, GGE 1,5 m (gaines espacées de 1,50 m), GGE 1,0 m (gaines espacées de 1,0 m) à St-Maurice

Les hauteurs d'eau des différentes étapes de l'efficience, ainsi que les rendements, ont été simulés pour les années 2007 (pluvieuse) et 2009 (très sèche). Les rendements simulés sont très proches des

rendements observés (figure 14), hormis pour l'enrouleur en 2007 où le modèle surestime le rendement de 20q/ha environ. On peut donc considérer que les hauteurs d'eau simulées sont fiables.

Les apports d'eau et économies réalisées en goutte-à-goutte par rapport à l'enrouleur sont rappelées dans la figure 15. L'économie d'eau est plus importante avec l'espacement de gaines de 1,5 m qu'avec l'espacement 1,0 m. Elle varie entre 18 et 33% en année sèche et 63 et 70% en année humide, soit une moyenne avoisinant 25% en année sèche et 60 en année humide, sans impact notoire sur le rendement.

Plus le climat de l'année est sec, plus les apports d'eau sont importants. En revanche **l'efficience globale d'irrigation** diffère peu d'une année à l'autre pour chaque système (figure 16) : elle se situe autour de 68% pour le goutte-à-goutte enterré et 50% pour l'enrouleur.

Les **pertes par évaporation et dérive** ont été fixées à 5% pour l'enrouleur (voir §3.4.1. Méthodologie de l'évaluation de l'efficience des systèmes) et sont par principe nulles en goutte-à-goutte enterré. Elles correspondent à **une efficience d'application** de 95% pour l'enrouleur et 100% pour le goutte-à-goutte.

Sur les deux campagnes étudiées, la plus grande partie des pertes est représentée par le **stock d'eau restant dans la zone racinaire après la récolte** (figure 17). Cette perte concerne environ 30% de l'eau en entrée de parcelle en année humide aussi bien qu'en année sèche. Elle représente 50 à 100% des pertes totales. Ce volume d'eau ne sera pas valorisé car aucune culture ne sera semée directement après le maïs. Pour la culture de l'année suivante, on peut supposer que les pluies d'hiver suffiront à remplir la réserve du sol. Ces pertes sont responsables de la réduction de **l'efficience de consommation** qui s'élève à 70% environ pour tous les systèmes.

Les **pertes par drainage** ne sont observées qu'en 2009. Elles sont de 2 à 3% de l'eau en entrée de parcelle pour le goutte-à-goutte et 12% pour l'enrouleur, ce qui représente une **efficience de stockage** de 97-98% en goutte-à-goutte et 88% en aspersion. Le drainage d'eau d'irrigation provient essentiellement d'un apport avec l'enrouleur et deux apports en goutte-à-goutte qui n'ont pas tenu compte d'une pluie de 18 mm survenue quelques jours plus tôt. Le drainage est plus important avec l'enrouleur compte tenu de la doses d'apport (35 mm) plus conséquente qu'en goutte-à-goutte (3,1 mm en GGE 1,0 m et 2,5 mm en GGE 1,5 m).

L'**évaporation du sol** n'entraîne pas de perte d'eau d'irrigation en goutte-à-goutte, mais est à l'origine d'une perte de 9 à 14% de l'eau en entrée de parcelle pour l'aspersion. **L'efficience de transpiration** est de 100% pour le goutte-à-goutte enterré et 82% en moyenne pour l'enrouleur.

Figure 17. Répartition de l'eau d'irrigation entre la transpiration réelle de la culture et les différentes pertes à St-Maurice-de-Gourdans. Les pertes par fuites à la parcelle, ainsi que par évaporation/dérive en GGE, sont arbitrairement considérées comme nulles.

Conclusion

Il apparaît donc que les pertes ont pour origine, par ordre décroissant (1) le stock d'eau d'irrigation restant dans la zone racinaire après la récolte, (2) le drainage, (3) l'évaporation du sol, (4) l'évaporation directe et la dérive en aspersion. Le stock d'eau final ainsi que le drainage sont des pertes liées à la conduite de l'irrigation (dates et doses d'apport). La perte représentée par l'eau résiduelle après récolte aurait pu être évitée en réduisant le dernier apport en aspersion ou les dernières irrigations en goutte-à-goutte. De même, retarder l'irrigation juste après une pluie aurait limité le drainage. Les pertes par évaporation du sol sont liées à la technique d'irrigation ainsi qu'aux pratiques culturales. Enfin, l'évaporation et la dérive pourraient être limitées en évitant les aspersions les jours de grand vent. Cependant, compte-tenu de la part très faible qu'elles représentent au regard des pertes totales, leur réduction n'entraînerait qu'une insignifiante amélioration de l'efficience globale.

Quelle que soit l'année climatique, l'efficience d'irrigation globale du goutte-à-goutte enterré (environ 70%) est supérieure à celle de l'enrouleur de 15 à 20%. En 2007, année humide, la réduction des pertes est liée à la fois au système d'irrigation (diminution de l'évaporation du sol) et à la conduite de l'irrigation (du stock d'eau résiduel dans la zone racinaire). En 2009, année très sèche, l'économie d'eau réalisée en goutte-à-goutte par rapport à l'aspersion provient encore de la diminution de l'évaporation du sol, mais également de la réduction du drainage. Les économies d'eau potentielles, ou le potentiel d'amélioration de l'efficience globale, tiennent donc à la fois aux matériels d'irrigation eux-mêmes et à des progrès dans la conduite de l'irrigation. **L'efficience globale de l'enrouleur pourrait être augmentée de 15 à 20% par un changement de système (conversion vers le goutte-à-goutte enterré) et de 40% par l'optimisation du pilotage.**

7. Conclusion générale et perspectives

Conclusion

La présente étude a permis de balayer bon nombre de références d'**économies d'eau réalisées** sur plusieurs cultures, dans diverses régions du territoire français, avec différents systèmes d'irrigation. 34 contextes agro-pédo-climatiques ont ainsi été étudiés. Ces données ont été acquises au cours d'essais expérimentaux ou de suivis de pratiques d'agriculteurs. A partir de ces références, une méthodologie a été élaborée afin d'estimer *à priori* les **économies d'eau potentiellement réalisables** par un changement d'équipement d'irrigation et de faciliter la constitution d'un dossier de demande de subvention FEADER pour un investissement en matériel. Il est à noter qu'on ne dispose que de peu de données d'économies d'eau en grandes cultures autres que le maïs (blé, pomme de terre, betterave…), et d'aucune référence sur les cultures spécialisées comme les fruits à coque (amandier, châtaignier, noyer, noisetier), les agrumes, les petits fruits (framboises, groseilles, cassis, myrtilles), les asperges, les semences. Des investigations supplémentaires en termes d'expérimentations seraient utiles afin de compléter les références acquises.

Une définition précise des différentes composantes de **l'efficience de l'irrigation** a été donnée. Son **analyse fine** a permis d'identifier et quantifier les différentes pertes d'eau d'irrigation dans deux cas choisis parmi les références collectées. Elle met en évidence que l'efficience globale d'irrigation (eau transpirée par la culture/ eau appliquée en entrée de parcelle) s'élève à 50-65% pour l'aspersion. Elle pourrait être augmentée de 15 à 25% par le **changement de système** (conversion de l'aspersion vers le goutte-à-goutte) et de 10 à 40% par **l'amélioration du pilotage**. En complément d'une évaluation des économies d'eau, il est donc pertinent de distinguer les économies potentielles liées au système d'irrigation à proprement parler, de celles liées aux pratiques d'irrigation.

Les économies d'eau sont imputables, certes, à la **modernisation du matériel d'irrigation** (réduction de l'hétérogénéité de la distribution, de la dérive/évaporation, de l'évaporation du sol), mais également à la **conduite de l'irrigation** qui consiste à apporter la bonne quantité d'eau au bon moment (diminution du drainage, de l'eau résiduelle dans le sol après récolte). Afin de favoriser les économies d'eau, il apparaît donc important de soutenir, parallèlement aux investissements de matériels économes en eau, les améliorations de pratiques des irrigants avec, entre autres, le **pilotage de l'irrigation**.

Cet aspect va dans le sens des recommandations de l'étude MAAF/MEEM « *Economiser l'eau pour l'irrigation en agriculture : analyse comparée de politiques publiques et pistes d'amélioration en France, 2017 »* qui préconise de soutenir le recours à des **OAD pour le pilotage**. Par ailleurs, l'« *Etude pour le renforcement des actions d'économies d'eau en irrigation dans le bassin Adour-Garonne, 2017* » a également mis en évidence, parmi les gisements d'économies d'eau en irrigation, le développement du conseil en irrigation et des **outils de pilotage**.

Afin de permettre aux agriculteurs d'améliorer les performances technologiques de leur matériel d'irrigation, ainsi que leur mode de conduite, la **formation** serait également à intensifier. Sur le modèle de la certification « Certiphyto » du plan EcoPhyto, une **certification** du type « Certirrig » pourrait attester d'un niveau de formation et de connaissance assurant une utilisation des équipements et une pratique économes en eau.

Perspectives

Au cours de cette étude sont apparus plusieurs aspects qui mériteraient d'être approfondis afin de valoriser l'étude dans la sphère opérationnelle.

Test de l'outil et intégration de nouvelles références

Lors de la première partie du travail, il a été difficile de tester l'adaptation de l'outil proposé aux attentes des agriculteurs et des conseillers. Une phase de test est donc nécessaire pour évaluer sa pertinence.

L'outil méthodologique a été conçu de façon à être évolutif, c'est-à-dire à pouvoir intégrer régulièrement de nouvelles références au fur et à mesure de leur mise à disposition. Parmi les organismes ayant fourni des données pour la première partie de l'étude, plusieurs ont encore des essais en cours. Leurs résultats pourront avantageusement compléter l'outil, soit en intégrant des cultures ou conditions pédo-climatiques non-encore renseignées jusqu'ici, soit en confortant ou modulant les données déjà intégrées. Comme évoqué plus haut, de nouveaux essais expérimentaux seraient nécessaires afin de compléter les références d'économies d'eau sur les grandes cultures autres que le maïs et les cultures spécialisées. La fiabilité et la robustesse de l'outil d'évaluation des économies d'eau s'en trouveront ainsi renforcées.

Extension aux économies d'énergie et de main d'œuvre

L'efficience d'irrigation a servi d'indicateur pour évaluer les consommations en eau des systèmes d'irrigation, et donc les économies d'eau potentiellement réalisables. On sait que les facteurs d'efficience de l'eau d'irrigation vont souvent de pair avec l'efficience énergétique. De même, le besoin en main d'œuvre est un élément décisif dans le choix d'une technologie ou d'un mode de conduite par les agriculteurs. Lors d'une réunion du comité de pilotage de la présente étude, l'Agence de l'Eau Adour-Garonne avait manifesté un vif intérêt pour ce sujet, pointant le fait que ces aspects énergie et main d'œuvre conditionnent plus la motivation des irrigants pour moderniser leurs installations que les économies d'eau proprement dites.

Il s'avère donc pertinent de prendre en compte les aspects consommation énergétique et besoin en main d'œuvre dans les éléments de choix proposés par le guide. Des références sur les consommations énergétiques et les besoins en main d'œuvre des matériels d'irrigation pour diverses cultures et situations pédo-climatiques seront donc collectées, comme celles du projet EDEN.

Elargissement de l'étude aux DOM-TOM

Des demandes émanent en particulier des DAAF de la Martinique et de la Réunion. Les PDR de ces régions soutiennent prioritairement l'optimisation de l'irrigation en faveur d'une gestion efficiente et raisonnée de la ressource en eau. L'outil d'évaluation *ex-ante* des économies d'eau pourrait être un support particulièrement utile, aussi bien pour les demandeurs que pour le service instructeur des demandes d'aides. Ces DAAF souhaitent donc que l'étude puisse être étendue aux DOM-TOM, en tenant compte des spécificités de sols, de climats et de cultures de ces territoires.

Il s'agira donc de collecter et d'analyser les résultats d'études expérimentales à partir de la bibliographie et de la « littérature grise », afin d'acquérir des références pouvant alimenter l'outil

d'évaluation des économies d'eau potentielles dans le contexte particulier des DOM-TOM. Seront contactés : les chambres d'agriculture locales, les instituts techniques tels le Centre Technique de la Canne à Sucre (CTICS) et l'Institut Technique Tropical (IT2), les organismes de recherche (CIRAD, Inra).

Développement d'un outil informatique

Afin de faciliter la diffusion et l'appropriation de l'outil par les agriculteurs, il est envisagé de faire évoluer l'outil de la forme d'abaques ou de feuille de calcul, vers un logiciel facile d'accès et d'utilisation. Il conviendra donc d'élaborer le cahier des charges de cet outil informatique, de concevoir l'outil, de le développer (ou le faire développer) et enfin de le tester auprès des utilisateurs potentiels.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Abouziena, H. F., El-Saeid, H. M. & Amin, A. A. E. (2014). Water loss by weeds: a review. *International Journal of ChemTech Research* 7(1): 323-336.

Ahadi, R., Samani, Z. & Skaggs, R. (2013). Evaluating on-farm irrigation efficiency across the watershed: A case study of New Mexico's Lower Rio Grande Basin. *Agricultural Water Management* 124: 52-57.

Ali, A. B., Hong, L., Elshaikh, N. A., Basheer, A. K. & Haofang, Y. (2016). Impact of center pivot sprinkler speed and water regimes on potato crop productivity. *International Journal of Agriculture and Biology* 18: 1174–1180.

Andres, R. & Cuchi, J. A. (2014). Analysis of sprinkler irrigation management in the LASESA district, Monegros (Spain). *Agricultural Water Management 131* 131: 95-107.

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. *Irrigation Science* 32(6): 405-420.

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.

Bonachela, S. F., Orgaz, F., Villalobos, F. J. & Fereres, E. (2001). Soil evaporation from drip-irrigated olive orchards. *Irrigation Science* 20: 65-71.

Canone, D., Previati, M., Bevilacqua, I., Salvai, L. & Ferraris, S. (2015). Field measurements based model for surface irrigation efficiency assessment. *Agricultural Water Management* 156: 30-42.

Carrión, F., Montero, J., Tarjuelo, J. M. & Moreno, M. A. (2014). Design of sprinkler irrigation subunit of minimum cost with proper operation. Application at corn crop in spain. *Water Resource Management* 28: 5073–5089.

Causape, J., Quilez, D. & Aragües, R. (2006). Irrigation efficiency and quality of irrigation return flows in the ebro river basin: An overview. *Environmental Monitoring and Assessment* 117: 451–461.

Cheviron, B., Vervoort, R. W., Albasha, R., Dairon, R., Le Priol, C. & Mailhol, J. C. (2016). A framework to use crop models for multi-objective constrained optimization of irrigation strategies. *Environmental Modelling & Software* 86: 145-157.

European Commission (2010). Water scarcity and drought in the European Union, Factsheet August 2010. European Commission, Brussels.

Food and Agriculture Organization (FAO) (2002). Crops and Drops: Making the Best Use of Water for Agriculture. FAO, Rome.

Ghinassi, G. (2012).Field comparison of drip and hose reel irrigation performance: results of a three year research project in Italy. In Sustainable Irrigation and Drainage IV, 303-310 (Eds H. Bjornlund, C. A. Brebbia and S. Wheeler). WIT Transactions on Ecology and The Environment, Vol 168, WIT Press.

Granier, J. & Deumier, J. M. (2013). Efficience hydraulique et énergétique : les nouveaux critères de performances pour les systèmes d'irrigation du futur. *Sciences, Eaux et Territoires* 11: 30-35.

Granier, J., Molle, B. & Deumier, J. M. (2003).IRRIPARC-Part 1: Modeling spatial water distribution under a sprinkler in windy conditions. In *ICID Meeting*Montpellier.

Howell, T. A. (2003).Irrigation Efficiency. In *Encyclopedia of Water Science*, 467-472 (Eds B. A. Stewart and T. A. Howell). New York: Marcel Dekker.

Hsiao, T. C., Steduto, P. & Fereres, E. (2007). A systematic and quantitative approach to improve water use efficiency in agriculture. *Irrigation Science* 25: 209-231.

Huang, Q., Wang, J. & Li, Y. (2017). Do water saving technologies save water? Empirical evidence from North China. *Journal of Environmental Economics and Management* 82: 1-16.

Jara, J., Stockle, C. O. & Kjelgaard, J. (1998). Measurement of evapotranspiration and its components in a corn (*Zea mais* L.) field. *Agricultural and Forest Meteorology* 92: 131-145.

Jensen, M. E. (2007). Beyond irrigation efficiency. *Irrigation Science* 25: 233–245.

Lamm, F. R. & Manges, H. L. (2000). Partitioning of sprinkler irrigation water by a corn canopy. *Transaction of the ASAE* 43(4): 909-918.

Lankford, B. (2006). Localising irrigation efficiency. *Irrigation and drainage* 55: 345-362.

Lankford, B. (2012). Fictions, fractions, factorials and fractures; on the framing of irrigation efficienc. *Agricultural Water Management* 108: 27-38.

Lecina, S. (2016). Farmerless profit-oriented irrigation scheduling strategy for solid sets. I: Development. *J. Irrig. Drain Eng.* 142(4).

Lecina, S., Isidoro, D., Playan, E. & Aragues, R. (2010a). Irrigation Modernization in Spain: Effects on Water Quantity and Quality—A Conceptual Approach. *Water Resources Development* 26(2): 265-282.

Lecina, S., Isidoro, D., Playan, E. & Aragues, R. (2010b). Irrigation modernization and water conservation in Spain: The case of Riegos del Alto Aragón. *Agricultural Water Management* 97: 1663-1675.

Lecina, S., Playan, E., Isidoro, D., Dechmi, F., Causape, J. & Faci, J. M. (2005). Irrigation evaluation and simulation at the Irrigation District Vof Bardenas (Spain). *Agricultural Water Management* 73: 223-245.

Li, J. & Rao, M. (2001). Crop Yield as Affected by Uniformity of Sprinkler Irrigation System. *Agricultural Engineering International : CIGR Journal* III.

Lozano, D., Ruiz, N. & Gavilan, P. (2016). Consumptive water use and irrigation performance of strawberries. *Agricultural Water Management* 169: 44-51.

Merchan, D., Causapé, J., Abrahão, R. & García-Garizábal, I. (2015). Assessment of a newly implemented irrigated area (Lerma Basin, Spain) over a 10-year period. I: Water balances and irrigation performance. *Agricultural Water Management* 158: 277–287.

Molden, D., Oweis, T. Y., Pasquale, S., Kijne, J. W., Hanjra, M. A., Bindraban, P. S., Bouman, B. A. M., Cook, S., Erenstein, O., Farahani, H., Hachum, A., Hoogeveen, J., Mahoo, H., Nangia, V., Peden, D., Sikka, A., Silva, P., Turral, H., Upadhyaya, A. & Zwart, S. (2007).Pathways for increasing agricultural water productivity. In *Water for food, water for life. A comprehensive assessment of water management in agriculture*, 279-310 (Ed D. Molden). London, UK: Earthscan; Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute (IWMI).

Molle, B. (1998).Programme Régional d'Appui Technique aux Irrigants d'Aquitaine. Compte-rendu des actions 1992-1997. Pivots et rampes frontales. Rapport CEMAGREF.

Molle, B., Huet, L. & Granier, J. (2009).Composition et état du parc de materiels d'irrigation en France. 93: Rapport CEMAGREF, UMR G-EAU. Convention avec la DGPAAT, Ministère de l'alimentation, de l'agriculture et de la pêche.

Molle, B., Tomas, S., Hendawi, M. & Granier, J. (2012). Evaporation and wind drift losses during sprinkler irrigation influenced by droplet size distribution. *Irrigation and drainage* 61: 240-250.

Molle, F. (2017). Conflicting policies: agricultural intensification vs. water conservation in Morocco. G-EAU Working Paper/Rapport de Recherche No.1. Montpellier, France. http://www.g-eau.net/

Ortiz, J. N., de Juan, J. A. & Tarjuelo, J. M. (2010). Analysis of water application uniformity from a centre pivot irrigator and its effect on sugar beet (Beta vulgaris L.) yield. *Biosystems Engineering* 105: 367–379.

Perry, C.J. (1999). The IWMI water resources paradigm—definitions and implications. Agricultural Water Management 40: 45–50.

Pfeiffer, L. & C., L. C.-Y. (2014). Does efficient irrigation technology lead to reduced groundwater extraction? Empirical evidence. *Journal of Environmental Economics and Management* 67: 189-208.

Playan, E. & Mateos, L. (2006). Modernization and optimization of irrigation systems to increase water productivity. *Agricultural Water Management* 80: 100-116.

Playan, E., Salvador, R., Faci, J. M., Zapata, N., Martinez-Cob, A. & Sanchez, I. (2005). Day and night wind drift and evaporation losses in sprinkler solid-sets and moving laterals. *Agricultural Water Management 76* 76: 139–159.

Ruelle, P., Mailhol, J. C. & Itier, B. (2004). Évaluation des pertes par évaporation lors des irrigations par aspersion en condition de fort déficit hydrique. *Ingénieries* 38: 13-20.

Seckler, D., Molden, D. & Sakthivadivel, R. (2003).The concept of efficiency in water resources management and policy. In *Water productivity in agriculture: Limits and opportunities for improvement* (Eds J. W. Kijne, R. Barker and D. Molden). CAB International.

Skhiri, A. & Dechmi, F. (2012). Impact of sprinkler irrigation management on the Del Reguero river (Spain). I: Water balance and irrigation performance. *Agricultural Water Management* 103: 120– 129.

Törnqvist, R. & Jarsjö, J. (2012). Water savings through improved irrigation techniques: basin-scale quantification in semi-arid environments. *Water Resources Management* 26: 949-962.

Van Halsema, G. E. & Vincent, L. (2012). Efficiency and productivity terms for water management: A matter of contextual relativism versus general absolutism. *Agricultural Water Management* 108: 9 – 15.

Ward, F. A. & Pulido-Velazquez, M. (2008). Water conservation in irrigation can increase water use. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 105(47): 18215-18220.

Werner, B. & Collins, R. (2012).Towards efficient use of water resources in Europe. (EEA. Report). 70p. European Environment Agency, Copenhagen.

Zou, X., Li, Y. E., Gao, Q. & Wan, Y. (2012). How water saving irrigation contributes to climate change resilience—a case study of practices in China. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 17: 111-132.

ANNEXES

ANNEXE 1. Références économies d'eau ……. 72

ANNEXE 2. Liste complète des organismes contactés ……. 73

ANNEXE 3. Liste des fiches de synthèses des références d'économies d'eau collectées …….. 77

ANNEXE 4. Fiches de synthèses des références d'économies d'eau collectées ……. 80

ANNEXE 1. Références économies d'eau

Ratio de consommations en eau des systèmes d'irrigation, tels que détaillés dans la Loi sur l'Eau et les Milieux Aquatiques:	
Système d'irrigation gravitaire	10 000 m^3/ha/an
Par aspersion	5 000 m^3/ha/an
En goutte à goutte	3 000 m^3/ha/an

ANNEXE 2. Liste complète des organismes contactés

Personnes ressources	Organismes	Adresses mail
Equipementiers, installateurs		
PANAGET Emeraude	NETAFIM	emeraude.panaget@netafim.com
Capteurs et TIC pour l'automatisation et le pilotage de l'irrigation		
CONTARDO Michel	COMSAG	m.contardo@tcsd.fr
FERNANDEZ Guillaume	AGRISCOPE	guillaume@agriscope.fr
BERTHOUMIEU Jean-François	AGRALIS	jfberthoumieu@agralis.fr
EFTIMAKIS Xavier	Challenge Agriculture (Watermark)	
Chambres d'agriculture (CRA n=5 ; CA n=19)		
LAFON Christophe	CRA LR	christophe.lafon@lrmp.chambagri.fr
CASTEIGNAU Daniel	CA11	daniel.casteignau@aude.chambagri.fr
DAINESE Sabine	CA11	sabine.dainese@aude.chambagri.fr
Muriel LEROUX	CA 30	muriel.leroux@gard.chambagri.fr
Bernard ASSENAT	CA 30	bernard.assenat@gard.chambagri.fr
GENEVET Bernard	CA 30	bernard.genevet@gard.chambagri.fr
Léonie CAMBREA	CA 34	CAMBREA@herault.chambagri.fr
William TRAMBOUZE	CA 34	trambouze@herault.chambagri.fr
SUZOR Hélène	CA 34	suzor@herault.chambagri.fr
Anne-Claire GUENEE	CA 48	Anne-Claire.Guenee@lozere.chambagri.fr
Jean BERTRAND	CA 66	j.bertrand@pyrenees-orientales.chambagri.fr
Jacques FERAUD	CA 66	j.feraud@pyrenees-orientales.chambagri.fr
Anne-Claire VIAL	Présidente CA26, vice-présidente CRA RA	
Régis PERIER	CA 07	regis.perier@ardeche.chambagri.fr
Jean-Damien ROMEYER	CA 69	Jean-Damien.Romeyer@rhone.chambagri.fr

Thierry DANSETTE	CA 69	thierry.dansette@rhone.chambagri.fr
Eric FARRE	CA 69	eric.farre@rhone.chambagri.fr
Fabien THOMAZET	CA 01	f.thomazet@ain.chambagri.fr
Laure OHLEYER, Jérôme GERVAIS	CA 21	laure.ohleyer@cote-dor.chambagri.fr
VINGUT Claire	CRA MP	claire.vingut@lrmp.chambagri.fr
PITON Noël	CRA PACA	npiton@ahp.chambagri.fr
DENIS Patrice	CRA Alsace	p.denis@alsace.chambagri.fr
GOLAZ Francis	CA 28	f.golaz@eure-et-loir.chambagri.fr
DION Christophe	CRA IdF	c.dion@ile-de-france.chambagri.fr
Hugo Gabriel	CA 81 conseiller irrigation Tarn	h.gabriel@tarn.chambagri.fr
Jacques Georges	CA 31 conseiller irrigation Haute Garonne	jacques.georges@haute-garonne.chambagri.fr
LARRIEU Jean Francois	CA 82 conseiller arbo Tarn et Garonne	jf.larrieu@agri82.fr
GIRARD Xavier	CA 45 Loiret (Orléans)	xavier.girard@loiret.chambagri.fr
RABE Julien	CA 47 Lot et Garonne (Agen)	julien.rabe@landes.chambagri.fr
DEROCHE Olivier	CA 17 Charentes Maritimes (La Rochelle)	Olivier.DEROCHE@charente-maritime.chambagri.fr
COULAUD Laurent	CA 24 Dordogne	laurent.coulaud@dordogne.chambagri.fr
GRUGEON Benoît	CA 02 (Aisne)	benoit.grugeon@ma02.org
DUBOCS François	CA 26	fdubocs@drome.chambagri.fr
MUSCAT Anthony	CA 84	anthony.muscat@vaucluse.chambagri.fr
BOUVET Ghislain	CA 38 (noix)	ghislain.bouvet@isere.chambagri.fr
JURY Nathalie	CA 38 (irrigation)	nathalie.jury@isere.chambagri.fr
DESCHAMPS Nathalie	CA 24 (fraise)	nathalie.deschamp@dordogne.chambagri.fr
BOUCHET-LANNAT Fabien	CA 46 (Lot - asperge)	f.bouchet-lannat@lot.chambagri.fr
Syndicats, associations d'irrigants, organisations de producteurs		
ADIV Association des Irrigants du Vaucluse	MUSCAT Anthony	anthony.muscat@vaucluse.chambagri.fr
		adiv@irrigation84.fr
SAR		
BRL	GONTARD François	Francois.Gontard@brl.fr
SCP	RACT MADOUX Alice BLANC-COUTAGNE Eugénie	Alice.RACTMADOUX@canal-de-provence.com Eugenie.BLANC_COUTAGNE@canal-de-provence.com

CACG	WEBER Jean-Jacques	jj.weber@cacg.fr
Instituts techniques		
Arvalis	GENDRE Sophie	s.gendre@arvalis.fr
	BOUTHIER Alain (Le Magneraud)	a.bouthier@arvalis.fr
	POUSSET Yves	y.pousset@arvalis.fr
	FONTAINE Bruno	b.fontaine@arvalis.fr
CTIFL Balandran	PIERRE Sandra-Prisca	pierresp@ctifl.fr
CTIFL Lanxade	BARDET Alain (Dordogne)	Bardet@ctifl.fr
ITB	ESCRIOU Hervé (Directeur du Dép^{t} scientifique)	escriou@itbfr.org
TERRES INOVIA (anc. CETIOM)	CHAMPOLIVIER Luc	l.champolivier@terresinovia.fr
IFV	PAYAN Jean-Christophe	Jean-Christophe.PAYAN@vignevin.com
ACTA	VISSAC Philippe	philippe.vissac@acta.asso.fr
Coopératives		
Terrena	PINEL Bertrand (R&D project leader)	bpinel@terrena.fr
Arterris	CAUMES-SUDRE Edith	ECAUMES-SUDRE@arterris.fr
Limagrain	NOWAK Benjamin (Chargé Innovation)	benjamin.nowak@limagrain.com
Maïs Adour	LAMOTHE Bastien PEAN Philippe	b-lamothe@maisadour.com PEAN@MAISADOUR.com>
Terres du Sud	BROSSET Franck	franck.brosset@groupe-terresdusud.fr
ASA	POLGE Marc (resp ASA info)	
Gignac	HUGODOT Céline	direction@asagignac.fr
Carpentras	PIGNARD Sandrine (Dir adjointe)	sandrine.pignard.ccanal@wanadoo.fr
COULAUD Laurent	ADHA Dordogne	laurent.coulaud@dordogne.chambagri.fr
KRAAK Nicolas (Directeur)	SMHAR Syndicat mixte d'Hydraulique Agricole du Rhône	nicolas.kraak@smhar.fr
VERMANDE Sylvain	UASA Lot	s.vermande@lot.chambagri.fr
BUHE Louise	Directrice de l'Union des ASA d'Hydraulique de l'Est Audois (ASEAUDE)	lbuhe.aseaude@gmail.com
PENDRIEZ Emma	Directrice de l'Union des ASA de l'Aude Médiane	emma.pendriez@prestasa.fr
CETA		

GRCETA SFA (sols forestiers d'Aquitaine)	PONTICO Ludovic (Directeur)	ludovic.pontico@grceta-sfa.fr
AGRO D'OC (Union des CETA d'Oc)	LAURENT Jérôme (Dir pôle conseil)	jerome.laurent@agrodoc.fr
ARDEPI		
BOYER Isabelle	ARDEPI	i.boyer@ardepi.fr
Conseillers indépendants en irrigation et gestion de l'eau		
GUINET Patrice	AgroRessources	info@agroressources.com
Stations expérimentales		
CEHM	CRETE Xavier	xcrete@sudexpe.net
La SERAIL	VERNAY Lucile	vernay.serail@orange.fr
SERFEL (Saint-Gilles)	BLANC Philippe	
LCA	GENY Annie (fraise)	annie.geny@loir-et-cher.chambagri.fr
	FLEURANCE Christophe (poireaux)	christophe.fleurance@loir-et-cher.chambagri.fr
Filières		
Nicolas DAUDE	Semenciers du Sud	nicolasdaudesams34@hotmail.fr
Jean-Gilbert RICARD	Semenciers du Sud	jean-gilbert.ricard@wanadoo.fr
Christophe GARCIN	Technicien chez Force Sud	c.garcin@forcesud.fr
Agriculteurs		
MOUROT Paul	Arboriculteur, viticulteur	paul_mourot@hotmail.com
BARGE Jean-Yves	Gdes cultures (GGE)	
Espagne		
PLAYAN Enrique	CSIC- Zaragossa	enrique.playan@csic.es
MATEOS Luciano	CSIC - Cordoba	luciano.mateos@ias.csic.es
TARJUELO MARTIN-BENITO Jose Maria	CREA - Universidad de Castilla-La Mancha	Jose.Tarjuelo@uclm.es
ZAPATA Nery	CSIC- Zaragossa	v.zapata@csic.es
MADURGA DEL CURA Cristina	CENTER - Madrid	cmadurga@tragsa.es

ANNEXE 3. Liste des fiches de synthèses des références d'économies d'eau collectées

N° fiche	Irrigation ou Pilotage	Organisme	Année	Localisation	Culture	Comparaison matériel 1	Comparaison matériel 2	Comparaison matériel 3	Pilotage/Irrigation
Essais expérimentaux									
Maïs									
1	P/I	CACG	2012-2016	Masseube (32)	Maïs	Couverture intégrale	GGE	GGS	3 régimes d'irrigation
2	I	CA01-KULKER	2006-2009	St-Maurice-de-Gourdans (01)	Maïs	Enrouleur	GGE 1.00m et 1.50m		Tensiomètres
3	I	IRSTEA	2008-2013	Montpellier (34)	Maïs	Enrouleur	GGE 0.80m, 1.20m et 1.60m		Tensiomètres, sondes capacitives
4	I	CA69	2012-2015	Genas (69)	Maïs	Enrouleur	GGE		Tensiomètres
5	I	CA40	2012-2015	Villeneuve de Marsan (40)	Maïs	Pivot	GGE		Bilan hydrique et tensio
6	I	ARVALIS	2014-2015	Le Magneraud (17)	Maïs	Rampe sur enrouleur	GGS 1.50m	GGE 1.50m	Irrinov-tensiomètres
7	I	ARVALIS	2015	Pusignan (69)	Maïs	Rampe sur enrouleur	GGS		Tensiomètres
Autres grandes cultures									
8	I	ARVALIS	2007-2010	Bergerac (24)	Tabac	Couverture intégrale	GGS		
9	P	ARVALIS	2000-2001	Villers-Saint-Christophe (02)	Pomme de terre	Pilotage 100, 80, 60% ETM	Pilotage tensiomètres		GGS
10	P	CA45	2014	Epieds-en-Beauce (45)	Blé	Sans cartographie ni logiciel	Avec cartographie et logiciel		Rampe repliable sur enrouleur

Arboriculture									
11	I	CEFEL	2015-2016	Montauban (82)	Pommier	Couverture intégrale	Micro-jet	GG suspendu	Pilotage : bulletin d'irrig, tensio, dendro
12	I	CTIFL	1989-1997	Lanxade (24)	Pommier	Couverture intégrale	Mini-diffuseur	GGS	Tensiomètres
13	I	ARDEPI	1998-2005	Les Mées (05)	Olivier	Microjet	GG		Tensiomètres
14	I	SERFEL/SUDEXPE	2014-2016	Saint-Gilles (30)	Nectarine	Micro-jet	GGE puis GGS		Tensio, sondes capacitives
15	P	COMGAG	2015	Montauban (82)	Pommier	Pilotage bulletin irrigation	Pilotage automatisé sonde centrale		CI / GG
Maraîchage									
16	I	SERAIL	2009-2012	Brindas (69)	Oignon	Couverture intégrale	GGE	GGS	Tensiomètres
17	I	ARDEPI	2006	St-Martin-de-Crau (13)	Salade	Microaspersion pendulaire	GGS		Tensiomètres
18	P	CTIFL	2015-2016	Balandran (30)	Courgette	Pilotage ETM	Pilotage tensiomètres		GGS
19	P	CIREF	2001-2002	Douville (24)	Fraise	Pilotage ETM	Pilotage tarière	Pilotage tensiomètres	GGS
20	P	CTIFL	2013-2014	Lanxade (21)	Fraise	Pilotage ETM	Pilotage sondes cappacitives		GGS
21	P	LCA	2009-2013	Tour en Sologne (41)	Fraise	Pilotage ETM	Pilotage tensio		GGE
22	P	LCA	2011-2012	Tour en Sologne (41)	Poireau	Pilotage tensiomètres	Pilotage sondes cappacitives		Rampe oscillantes
Suivi de pratiques d'agriculteurs									
Maïs									
23	I	Semenciers du Sud	2006	Gard (30)	Maïs	Couverture intégrale	GGS espacement entre goutteurs 20, 40 ou 80 cm		
24	I	CA38	2003-	Isère (38)	Maïs	Enrouleur	Pivot basse		

			2015				pression		
25	I	ASIA	2016	St-Vuilbas et Loyettes (01)	Maïs	Enrouleur	Pivot basse pression		
26	I	CA81	2014-2015	Parisot et Montdragon (81)	Maïs	Enrouleur	Couverture intégrale	GGS et GG semi-enterré	
27	I	Limagrain	2015-2016	Gignat, Thuret, Vic-le-Comte (63)	Maïs	Enrouleur	GGS		
Autres grandes cultures									
28	I	SCP	2015-2016	Reillanne, Roumoules (04)	Blé, Pois	Aspersion	GGE		
29	I	CA28	1995-1996	Eure-et-Loir (28)	Pomme de terre	Enrouleur ou rampe sur enrouleur	GGE		
Arboriculture									
30	I	CA34	2006	Bassin de l'Etang de l'Or (34)	Pommier	Aspersion sur/sous frondaison	Micro-aspersion	GGS	
31	I	CA38	2003-2015	Isère (38)	Noyer	Couverture intégrale	GGS		
32	I	CA66	2014	Pyrénées Orientales (66)	Abricot, pêche	Micro-aspersion	GG suspendu		
33	P	Agroressources	2009-2014	Nord Sisteron (05)	Pommier	Pas de matériel de pilotage	Pilotage tensiomètres	Pilotage tensio+dendromètre	Couverture intégrale
Maraîchage									
34	I	APREL	2015	Bouches-du-Rhône (13)	Fraise HS	Pas de recyclage de solution nutritive	Recyclage de solution nutritive		

ANNEXE 4. Fiches de synthèse des références d'économies d'eau collectées

Référence n° 1

Essai expérimental
Maïs – CACG – 2012-2016
Aspersion / Goutte-à-goutte

Sol de boulbène. Selon les parcelles : **RU = 105 mm sur 75 cm à 170 mm sur 110 cm**

Grandes cultures

Maïs

CACG – Compagnie d'Aménagement des Coteaux de Gascogne - La Mirandette - 32140 MASSEUBE

Contact : Jean-Jacques WEBER jj.weber@cacg.fr

Objectif : Conduite raisonnée de l'irrigation ; performances agronomiques des différents systèmes et conduites d'irrigation et de fertigation
Paramètres suivis : Humidité du sol, tension de l'eau, indice foliaire, indice chlorophyllien, rendement

Références

- Dejean, C., Lopez, J. M., Albasha, R. & Mailhol, J. C. (2012). Appui à la mise en place, au suivi et à l'analyse des résultats d'un dispositif expérimental d'irrigation en goutte à goutte enterré sur grande culture. Ferme expérimentale de la Mirandette. Résultats de la campagne agricole Maïs-2012. Rapport de prestation de service IRSTEA - CACG
- Dejean, C., Lopez, J. M., Albasha, R., Mailhol, J. C. & Bozza, J. L. (2014). Appui à la mise en place, au suivi et à l'analyse des résultats d'un dispositif expérimental d'irrigation en goutte à goutte enterré sur grande culture. Ferme expérimentale de la Mirandette. Résultats de la 2ème campagne agricole Maïs-2013. Rapport de prestation de services IRSTEA – CACG.
- Lopez, J. M., Dejean, C. & Bozza, J. L. (2015). Appui à la mise en place, au suivi et à l'analyse des résultats d'un dispositif expérimental d'irrigation en goutte à goutte enterré sur grande culture. Ferme expérimentale de la Mirandette. Résultats de la 3ème campagne agricole Maïs-2014. Rapport de prestation de services IRSTEA – CACG.
- Lopez, J. M. & Dejean, C. (2016). Appui à la mise en place, au suivi et à l'analyse des résultats d'un dispositif expérimental d'irrigation en goutte à goutte enterré sur grande culture. Ferme expérimentale de la Mirandette. Résultats de la 4ème campagne agricole Maïs-2015. Rapport de prestation de services IRSTEA – CACG
- Dejean, C. & Lopez, J. M. (2017). Appui à la mise en place, au suivi et à l'analyse des résultats d'un dispositif expérimental d'irrigation en goutte à goutte enterré sur grande culture. Ferme expérimentale de la Mirandette. Résultats de la 5ème campagne agricole Maïs-2015. Rapport de prestation de services IRSTEA – CACG

ASPERSION
Couverture intégrale

Espacement 18 x 18 m

IRRIGATION LOCALISEE
GG enterré (GGE)
Profondeur 40 cm
NAANDANJAIN
AmmonDrip PC AS
1,6l/h à 3,0 bars
Gaine rigide ø 16 mm
50 cm entre les goutteurs
Espacement entre lignes
- 1,00 m (GGE 100)
- 1,50 m (GGE 150)

IRRIGATION LOCALISEE
GG de surface (GGS)

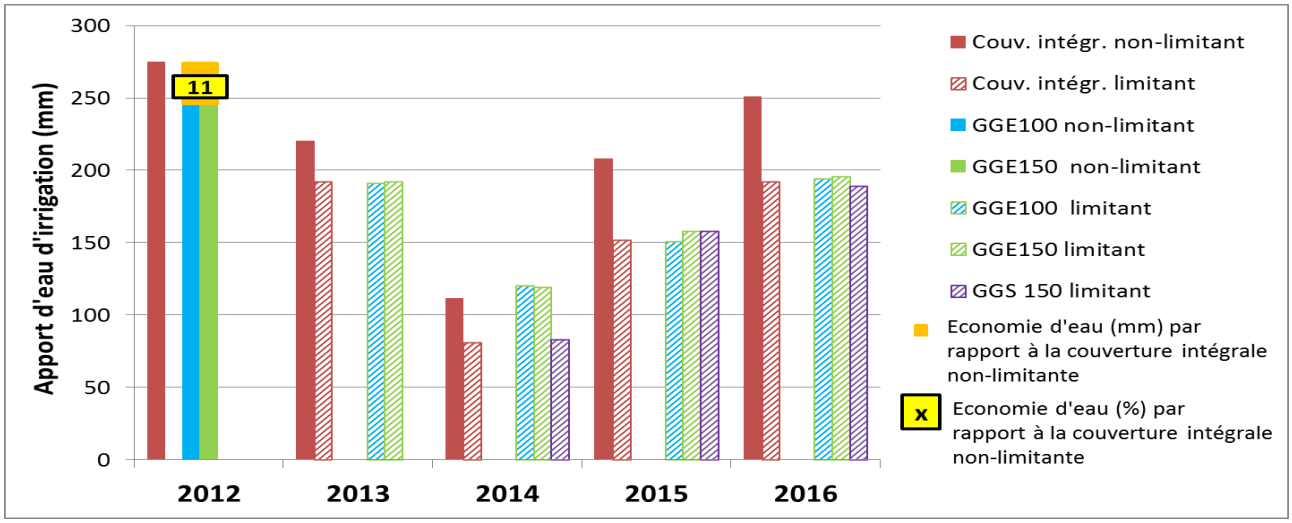
1,50 m entre les lignes

3 régimes hydriques. Irrigation non-limitante, irrigation limitante (85% ETM en 2013 et 2014, 80% ETM en 2015 et 2016)

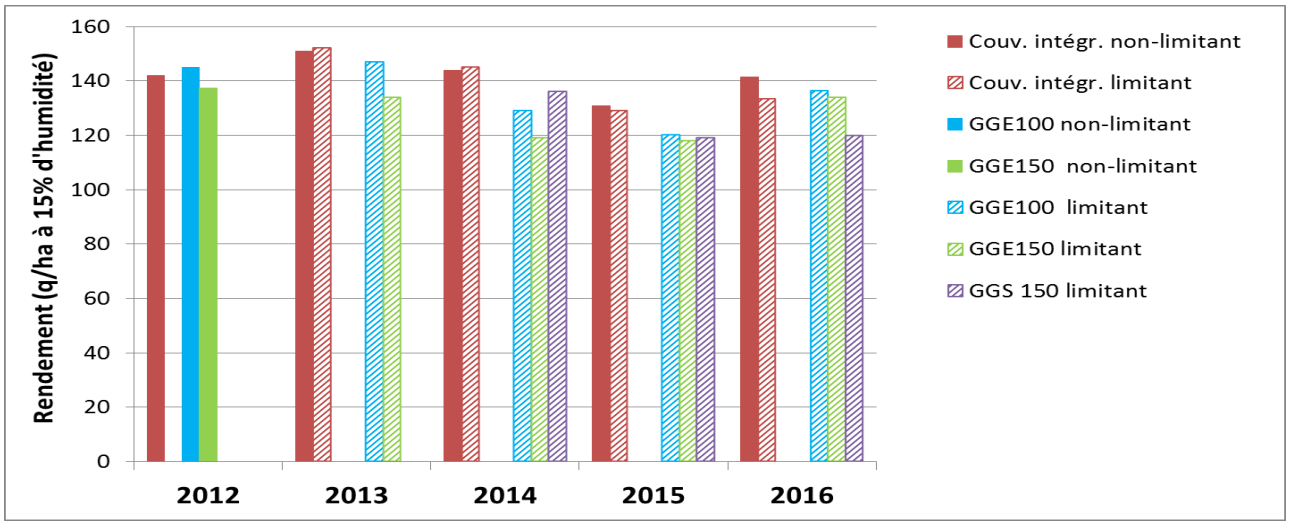
En régime non-limitant, le goutte-à-goutte enterré permet de réduire les apports d'eau de 11% par rapport à la couverture intégrale sans réduction de rendement.
L'aspersion par couverture intégrale permet de conduire l'irrigation en régime limitant (jusqu'à 80% de l'ETM) sans impact sur le rendement. Par contre, à l'exception de 2016, le rendement du goutte-à-goutte diminue en régime limitant, la baisse étant plus nette (jusqu'à 12%) en GGE espacé de 1,50 m.

Résultats – Maïs – CACG – 2012-2016

Apport en eau des différentes modalités d'irrigation



Rendement des différentes modalités d'irrigation



Irrigation non-limitante

En 2012, le GGE a permis de réduire les apports d'eau de 11% par rapport à la couverture intégrale. Les gaines espacées de 1,00 m présentent un rendement de 2% supérieur à la couverture intégrale. L'espacement de 1,50 m pénalise l'alimentation hydrique des rangs situés en inter-gaine et entraîne une baisse de rendement de 3% ou plus selon les années.

Irrigation limitante

En aspersion, la conduite d'irrigation limitante ne réduit pas les rendements, ni à 85% de l'ETM (2012 à 2014), ni à 80% de l'ETM en 2015. On observe uniquement une légère baisse (6%) en 2016.

De 2013 à 2015, le GG limitant a des rendements plus faibles que l'aspersion limitante, la différence étant plus marquée pour le GGE 1,50 m. En 2016, le GGE limitant présente des rendements équivalents à l'aspersion limitante.

Remarque : en 2014 les volumes apportés en GGE sont supérieurs à l'objectif initial de 85% de l'ETM en raison des fertigations de juin réalisées alors que le maïs n'avait pas besoin d'irrigation. La baisse de rendement GGE en 2014 s'explique par une sous-nutrition azotée et non un stress hydrique.

Référence n° 2

Essai expérimental
Maïs – CA Ain – 2006-2009
Enrouleur / Goutte-à-goutte

Sol d'alluvions **RU = 60-80 mm**

Grandes cultures

Maïs

Chambre d'Agriculture de l'Ain – 01000 BOURG-en-BRESSE
Partenaire : KULKER - 117 route d'Orléans - 45600 SULLY-sur-LOIRE

KULKER

Contact : Fabien THOMAZET fabien.thomazet@ain.chambagri.fr

Objectif : Tester la faisabilité, les économies d'eau potentiellement réalisables et le rendement avec le goutte-à-goutte enterré sur maïs, ainsi que la pérennité du système
Paramètres suivis : Doses d'irrigation apportées, eau dans le sol (tensiométrie), colonisation racinaire, rendement

Référence
Thomazet, F. (2016). Communication personnelle.

Aspersion
Enrouleur

Longueur tuyau PE 400 m
Ø tuyau 100 mm
Ø buse principale 24 mm

Goutte-à-goutte enterré (GGE)

- Aqua-Traxx
- Gaines en PE, épaisseur 375 µm
- Goutteurs 1,14 L/h
- 30 cm entre goutteurs
- Profondeur 50 cm
- **1,0 m ou 1,5 m entre les gaines**

Pilotage tensiométrique. Sondes Watermark

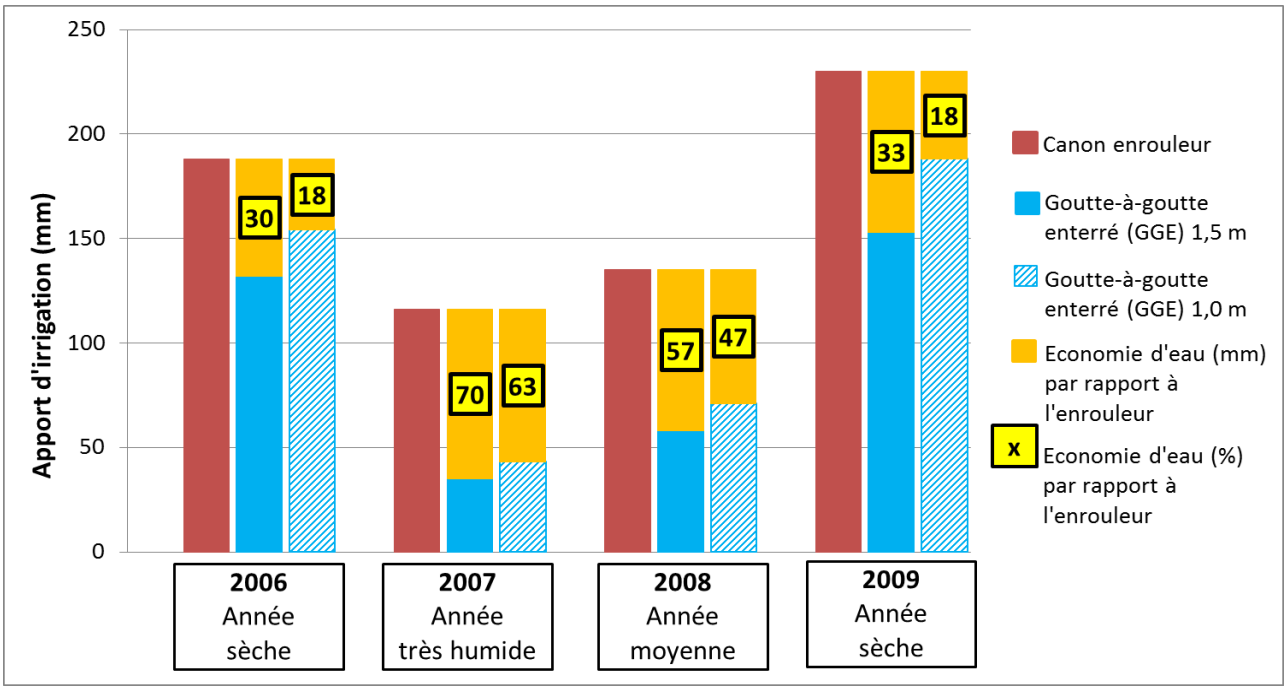
Volumes d'eau
Les parcelles en GGE reçoivent systématiquement moins d'eau que la parcelle sous enrouleur. Avec l'espacement des gaines de 1,5 m, les apports sont moins importants qu'avec l'espacement de 1,0 m. L'amplitude de la diminution des apports varie selon le climat de l'année : 30% à 18% en année sèche (GGE 1,5 m et GGE 1,0 m respectivement), et 70 à 63 % en année humide (GGE 1,5 m et GGE 1,0 m respectivement).

Rendement
Les rendements obtenus en GGE sont comparables à ceux obtenus avec l'enrouleur (94 à 102 %). Ces résultats demandent à être confirmés sur le long terme.

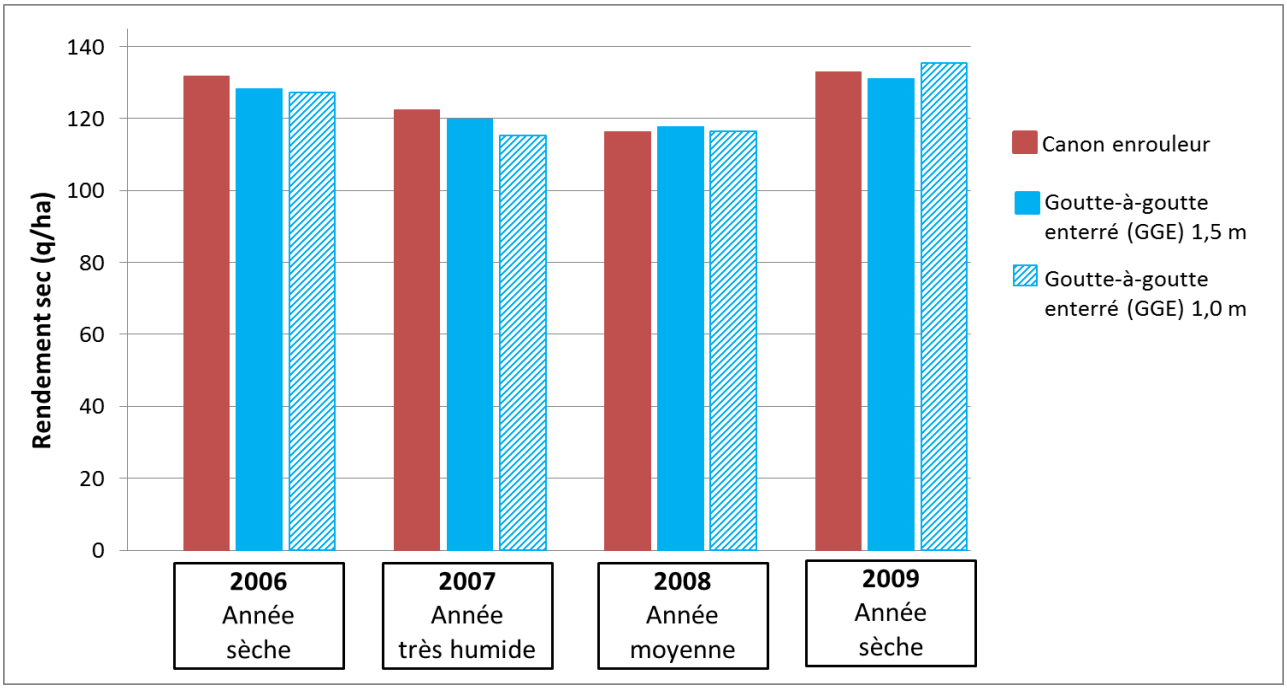
Les apports d'eau sont systématiquement réduits en GGE par rapport à l'enrouleur sur les 4 années étudiées. L'économie d'eau est plus importante avec l'espacement de gaines de 1,5 m qu'avec l'espacement 1,0 m. Elle varie entre 20 et 30% en année sèche et 60 et 70% en année humide, sans impact notoire sur le rendement.

Résultats – Maïs – CA Ain – 2006-2009

Apport d'irrigation sur les campagnes 2006 à 2009



Rendement sur les campagnes 2006 à 2009



Référence n° 3

Essai expérimental
Maïs – IRSTEA Montpellier (Lavalette) – 2008-2013
Aspersion / Goutte-à-goutte enterré

Sol colluvio-alluvial - **RU = 180 mm/m sur 1,20m de profondeur**

Grandes cultures

Maïs (variété PR35Y65)

IRSTEA Montpellier– 34196 Montpellier

Contact : Bruno MOLLE bruno.molle@irstea.fr

Objectif : Evaluer les performances agronomiques et énergétiques du goutte-à-goutte enterré en grandes cultures.

Paramètres suivis : Doses d'irrigation apportées, eau dans le sol (tensiomètres, sonde neutronique), indice foliaire, biomasse aérienne, teneur en azote, rendement

Référence

- Ait-Abbas, M. (2008). Evaluation agro-environnementale du goutte-à-goutte en culture traditionnelle et SCV. Rapport de stage, *Licence Professionnelle «Conseil et développement agricole, Agriculture Raisonnée* ». Montpellier SupAgro.
- Albasha, R. (2015). Evaluation de la productivité de l'eau d'irrigation par la modélisation : le cas du maïs sous goutte-à-goutte enterré en sol limoneux profond. Thèse de doctorat, Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement (AgroParisTech). 203 p.

Aspersion - Enrouleur

IRRIFRANCE
Canon enrouleur OPTIMA
Pression 5 bars
25 mm/h
ø buse 16 mm
Portée 30-35m

Goutte-à-goutte enterré (GGE)

Gaines John Deere Hydrogol
Gaines JAIN Chapin Deluxe (ø 16 mm - 2,98 L/h - 50 cm)
Profondeur 35cm. Espacement entre les lignes :
- 0,8m (GGE80)
- 1,2m (GGE120)
- 1m60 (GGE160)

Pilotage: tensiomètres, sonde neutronique

Volumes d'eau

Hormis en année très sèche (2009), les apports sont réduits en GGE par rapport à l'aspersion de 12 à 24% (moyenne 19%). Les apports sont sensiblement équivalents quel que soit l'espacement entre les gaines.

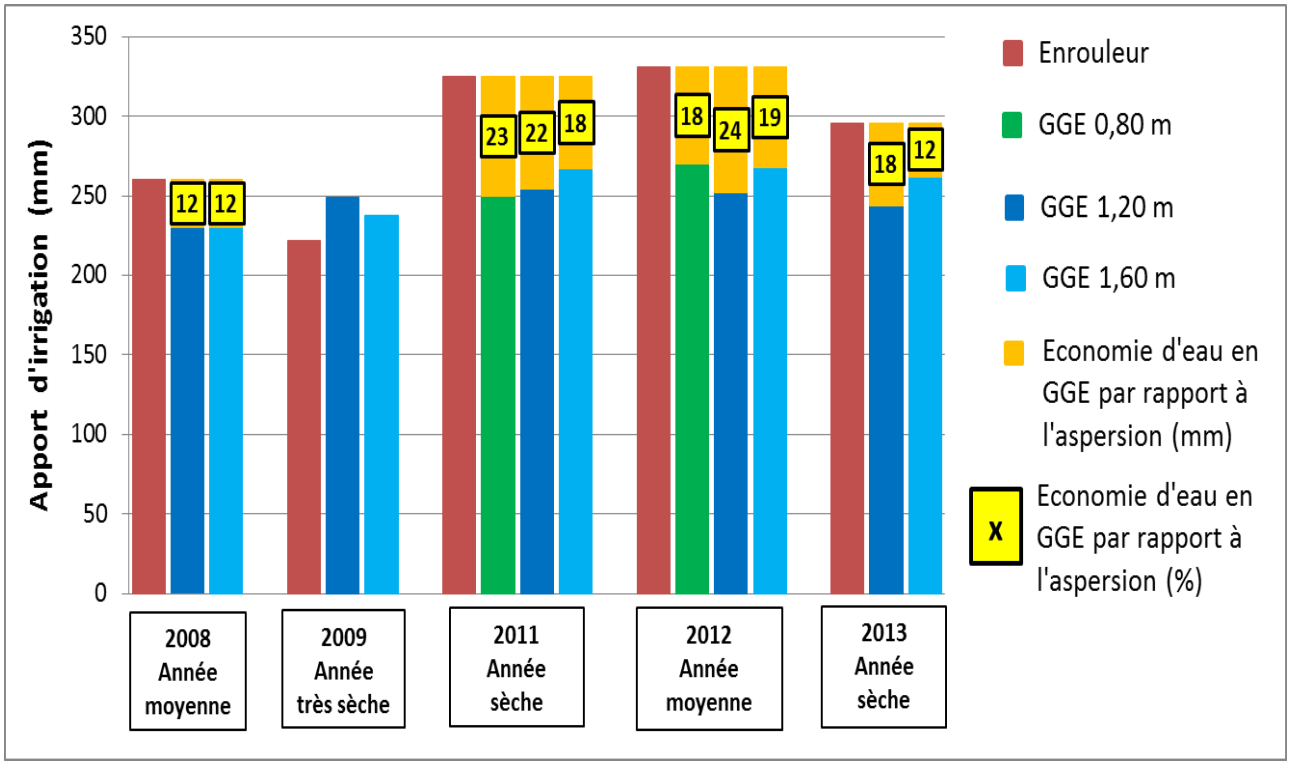
Rendement

En 2008 et 2009, les rendements obtenus en GGE sont supérieurs de 18 à 42% à ceux obtenus avec l'enrouleur. En 2008, on n'observe pas de différence entre les espacements de gaines (1,20 et 1,60 m). En 2009, année très sèche, le rendement avec l'espacement 1,60 m est légèrement inférieur.
En 2011 et 2012, malgré des apports d'eau moindres, les rendements en GGE ne sont pas significativement différents de ceux obtenus en aspersion pour les espacements des gaines de 0,80 m et 1,20 m. En revanche, l'espacement 1,60 m présente des rendements significativement inférieurs à l'aspersion.
En 2013, les rendements en GGE sont significativement plus faibles qu'en aspersion. Ceci pourrait s'expliquer par un compactage du sol en 2013 qui aurait réduit l'accès des racines au bulbe d'humectation.

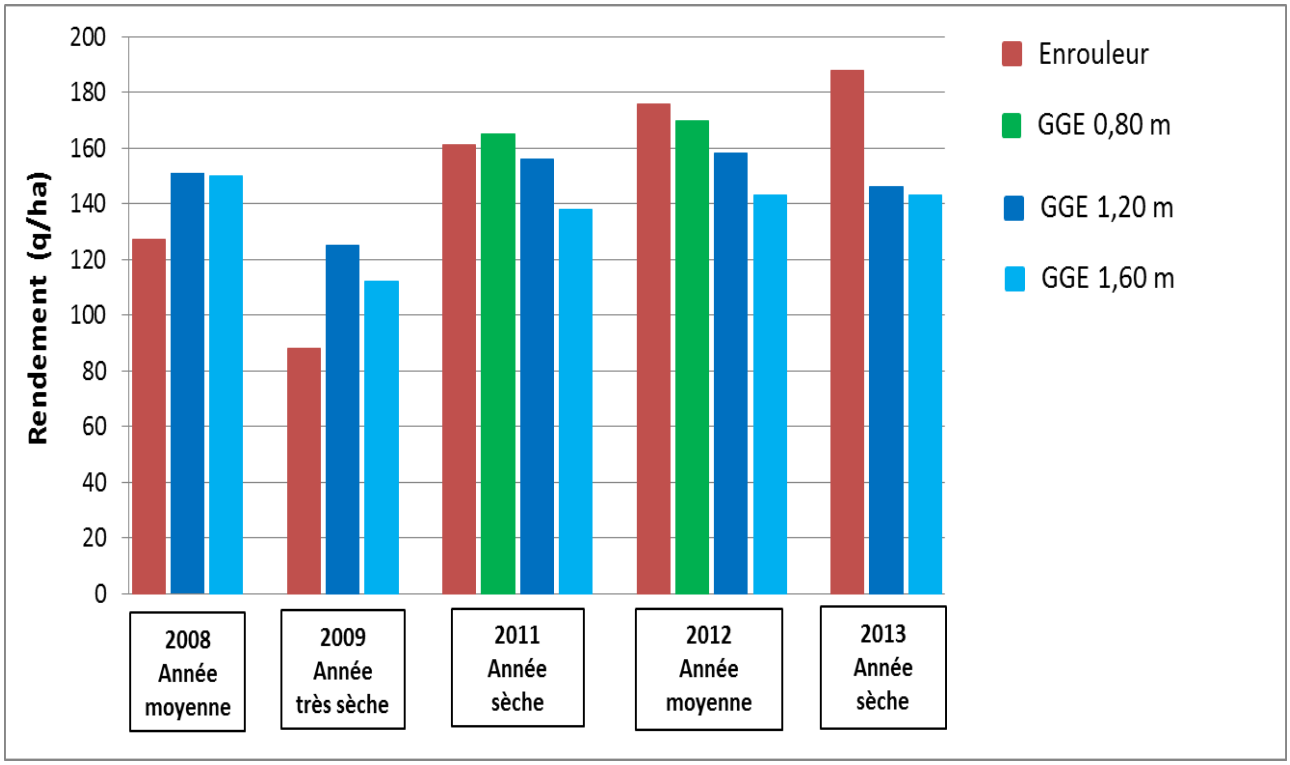
Pour des espacements de gaines inférieurs de 1,60 m, l'irrigation par GGE permet de réaliser des économies d'eau de 12 à 24% (19% en moyenne) par rapport à l'aspersion, sans réduction significative du rendement.

Résultats – Maïs – IRSTEA Lavalette – 2008-2013

Apport d'irrigation sur les campagnes 2008 à 2013



Rendement sur les campagnes 2008 à 2013



Référence n° 4

Essai expérimental
Maïs – CA Rhône – 2012-2015
Enrouleur / Goutte-à-goutte

Sol de graviers **RU = 130 mm**

Grandes cultures

Maïs

Chambre d'Agriculture du Rhône – 69890 LA TOUR-DE-SALVAGNY

Contact : Eric FARRE eric.farre@rhone.chambagri.fr

Objectif : Etude du goutte-à-goutte enterré à Genas (69) : performances, rentabilité
Remarque : Parcelles en non-labour depuis 2008
Paramètres suivis : Doses d'irrigation apportées, rendement

Référence
Pousset, Y. & Farre, E. (2016). Le goutte-à-goutte en grandes cultures. Colloque Arvalis « Innover pour une meilleure irrigation », Genas (69), 26 Mai 2016.

Aspersion
Enrouleur

Goutte-à-goutte enterré (GGE)

- Goutteurs 0,6 L/h
- 50 cm entre goutteurs
- 1,10 m entre les lignes
- Profondeur 35-40 cm

Pilotage tensiométrique

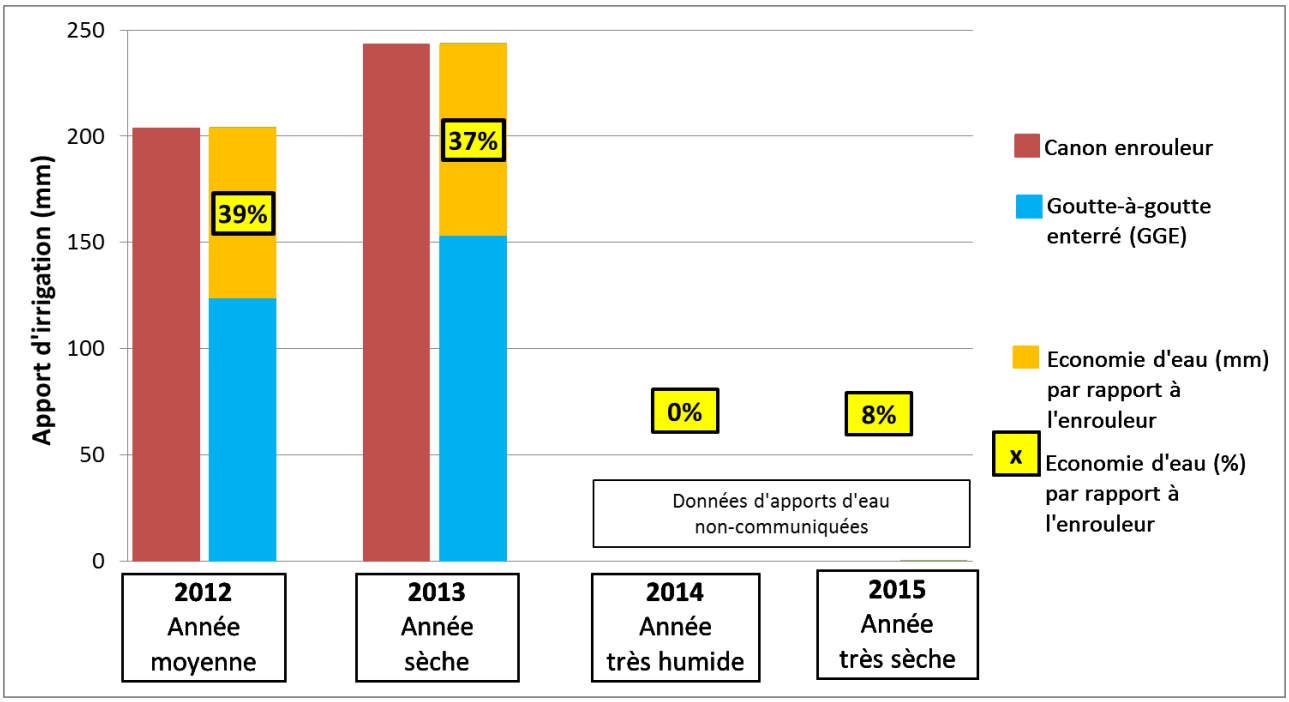
Volumes d'eau
En années moyenne et sèche, les apports d'eau ont été réduits de 39 et 37% respectivement par rapport à l'aspersion.
En année très humide (2014), l'irrigation fut très réduite, lissant la différence entre les deux systèmes d'irrigation et ramenant l'économie d'eau à 0%.
En année de sécheresse sévère (2015), l'économie a été de 8%.

Rendement
Données non-communiquées

Les économies d'eau en goutte-à-goutte enterré, par rapport à l'enrouleur, sont de 20% en moyenne sur 4 ans, avec de grandes disparités : 37% en 2012 et 2013, 0% en 2014 (année très pluvieuse) et 8% en 2015.
N'ayant pas d'informations sur les rendements, il est difficile de tirer des conclusions sur cet essai.

Résultats – Maïs – CA Rhône – 2012-2015

Apport d'irrigation sur les campagnes 2012 à 2015



Référence n° 5

Essai expérimental
Maïs – CA Landes – 2012-2015
Pivot / Goutte-à-goutte

« Sables de Marsan » RU = 68 mm

Grandes cultures

Maïs

Chambre d'Agriculture des Landes – 40000 MONT de MARSAN

Contact : Julien RABE julien.rabe@landes.chambagri.fr

Objectif : Tester l'efficacité et les économies d'eau potentiellement réalisables avec le goutte-à-goutte enterré sur maïs, en comparaison avec un système conventionnel par pivot, sur un bassin déficitaire (Villeneuve de Marsan, bassin du Midou)
Remarque : Parcelles en semis direct
Paramètres suivis : Doses d'irrigation apportées (compteur, pluviomètre), eau dans le sol (tensiométrie), rendement

Références

- Compte-rendu de la Chambre d'Agriculture des Landes (2012). Appui technique aux irrigants d'Aquitaine. Essai irrigation par goutte à goutte enterré sur maïs.
- Compte-rendu de la Chambre d'Agriculture des Landes (2013). Appui technique aux irrigants d'Aquitaine. Essai irrigation par goutte à goutte enterré sur maïs. Résultats de la 2ème année de suivi : 2013.
- Compte-rendu de la Chambre d'Agriculture des Landes (2014). Appui technique aux irrigants d'Aquitaine. Essai irrigation par goutte à goutte enterré sur maïs. Résultats de la 3ème année de suivi : 2014.
- Compte-rendu de la Chambre d'Agriculture des Landes (2015). Appui technique aux irrigants d'Aquitaine. Essai irrigation par goutte à goutte enterré sur maïs. Résultats de la 4ème année de suivi : 2015.

Aspersion
Pivot
Longueur : 3 travées
Rotators sans cannes de descente

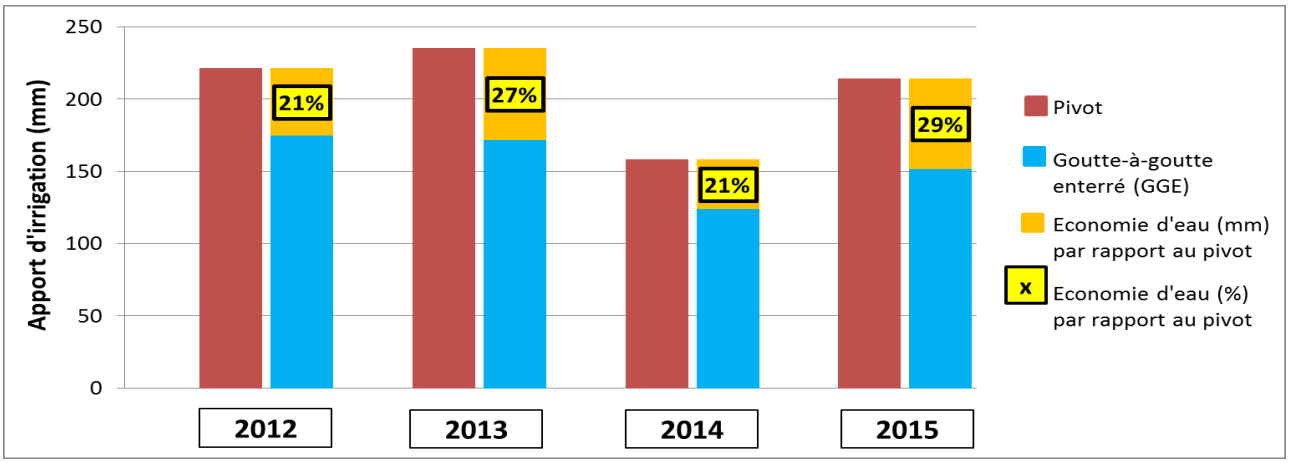
Goutte-à-goutte enterré (GGE)
- Gaines en polypropylène Ø 16 mm, épaisseur 0,6 mm
- Goutteurs autorégulants, 0,6 L/h, anti pénétration racinaire
- 50 cm entre goutteurs, 100 cm entre gaines
- Profondeur 33cm

Deux méthodes de pilotage complémentaires : bilan hydrique et tensiométrie
Sondes à 30 et 60 cm de profondeur, télétransmetteur GSM, seuil de déclenchement 30 cbars
Objectif : confort hydrique

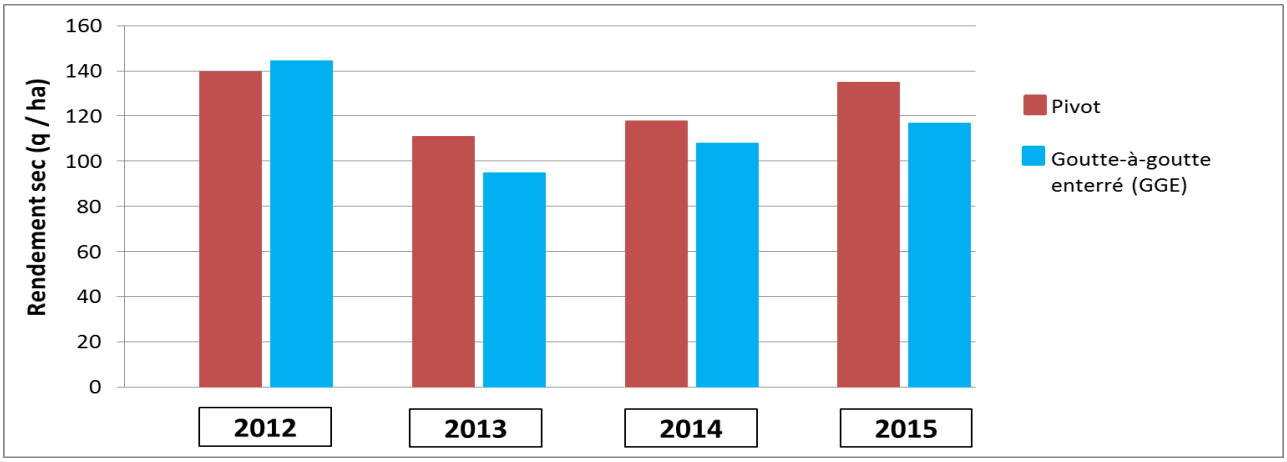
Les apports d'eau, afin de maintenir la culture de maïs en confort hydrique, sont systématiquement réduits en GGE par rapport au pivot sur les 4 années étudiées. L'économie d'eau réalisée varie entre 21 et 29% selon les années. Cependant, hormis en 2012, les rendements en GGE sont inférieurs (jusqu'à 14%) à ceux obtenus sous pivot.

Résultats – Maïs – CA Landes – 2012-2015

Apport d'irrigation sur les campagnes 2012 à 2015



Rendement sur les campagnes 2012 à 2015



Volumes d'eau

La parcelle en GGE reçoit systématiquement moins d'eau que la parcelle sous pivot. Les apports sont réduits de 21, 27, 21 et 29% en 2012, 2013, 2014 et 2015 respectivement.

Rendement

La diminution globale de rendement en 2013 par rapport à 2012 s'explique par les conditions météorologiques du printemps (excès d'eau après le semis).

Le rendement en GGE est légèrement supérieur (+4%) par rapport au pivot en 2012 uniquement. Les 3 autres années, on assiste, en GGE, à une réduction du rendement (-8 à -14%). Cette baisse de rendement n'est pas due au manque d'eau, comme en témoignent les mesures tensiométriques. En 2013 elle pourrait être due à une moindre valorisation de l'azote qui peine à se solubiliser et diffuser en GGE par temps sec. En 2014 et 2015 cette baisse de rendement pourrait trouver son origine dans une sous-évaluation des besoins en eau du maïs lors de la floraison.

Référence n° 6

Essai expérimental
Maïs – ARVALIS Le Magneraud – 2014-2015
Aspersion / Goutte-à-goutte de surface et enterré

Sol caillouteux : terres de Groies, RU = 170 mm, RFU = 80-90 mm

Grandes cultures

Maïs (variété DKC4795)

ARVALIS - Domaine expérimental du Magneraud - 17700 SAINT PIERRE d'AMILLY

Contact : Alain BOUTHIER a.bouthier@arvalis.fr

Objectif : Comparaison de goutte-à-goutte avec l'aspersion en termes d'économie d'eau, de productivité de l'eau en condition d'accès à une ressource en eau pour l'irrigation suffisante et restrictive.
Paramètres suivis : Etat hydrique du sol, composantes du rendement, azote absorbé par le maïs

Références

- Bouthier, A., Moynier, J. L., Deschamps, T., Bonnifet, J. P. & Plantecoste, L. (2016). Le goutte-à-goutte évalué en terres de Groies. *Perspectives Agricoles* 435: 51-55.
- Plantecoste, L., Bonnifet, J. P. & Bouthier, A. (2014). Compte-rendu de l'essai goutte-à-goutte du Magneraud. Campagne 2014. Compte-rendu Arvalis.

ASPERSION
Rampe basse pression sur enrouleur
Largeur 48 m
Asperseurs débit 2,1 m^3/h
à 3 m de haut, espacés d'1 m
Buses miroir, jet plat circulaire
Sans cannes de descente

IRRIGATION LOCALISEE
GG de surface (GGS)
NETAFIM
Dripcorn PCAS 250
Gaine ø 16 mm
épaisseur 0,63 mm
0,6L/h
50 cm entre les goutteurs
1,50 m entre les lignes

IRRIGATION LOCALISEE
GG enterré (GGE)
Profondeur 30 cm
NETAFIM
Dripcorn PCAS 250
Gaine ø 16 mm
épaisseur 0,63 mm
0,6L/h
50 cm entre les goutteurs
1,50 m entre les lignes

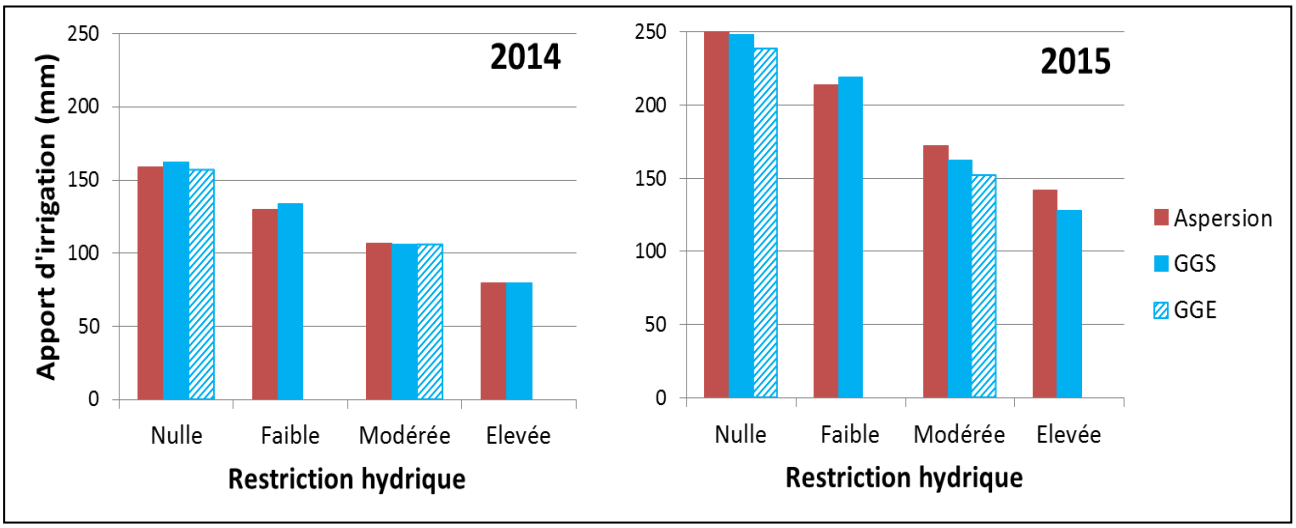
Pilotage. Aspersion non-limitante : méthode IRRINOV® Vendée-terres de groies (sondes Watermark)

4 régimes hydriques. 1 non-limitant ; 3 limitants : restriction faible (–20%), modérée (-30%) et élevée (-50%)

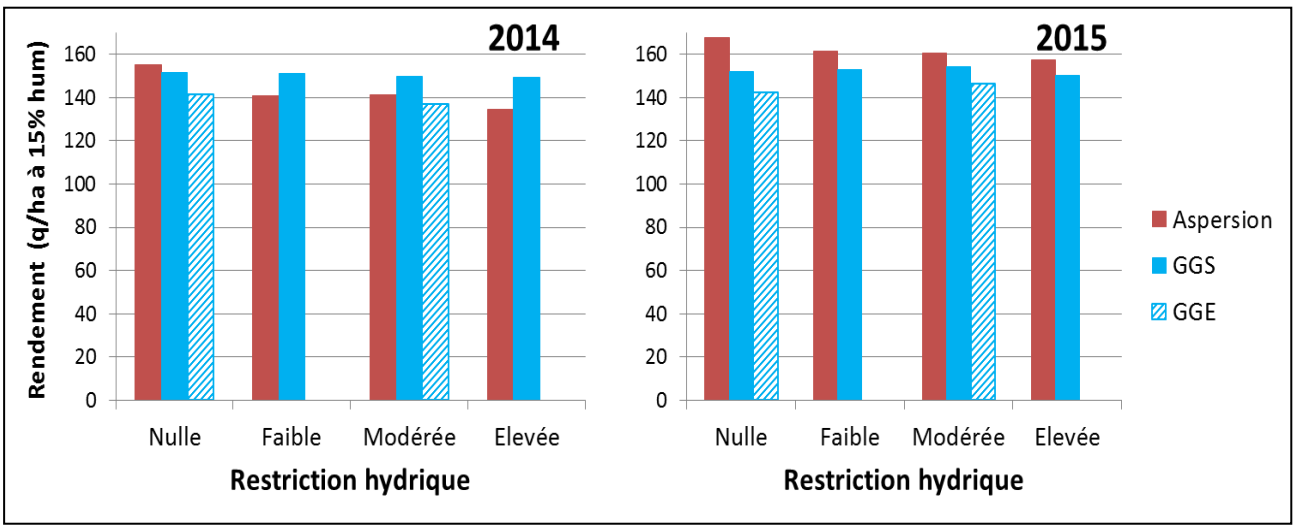
En année à faible déficit hydrique (2014, déficit hydrique proche de la médiane), le GGS pourrait permettre de réduire les volumes d'irrigation par rapport à l'aspersion, sans voir le rendement affecté. Par contre, en année sèche (2015, année quinquennale sèche), le GGS n'autorise pas le même rendement que l'aspersion, aussi bien en régime bien irrigué qu'en restrictif ; il ne permet donc pas d'économie d'eau. Quant au GGE, il ne permet pas de réduire les volumes d'irrigation sans baisse de rendement.
Dans ce sol à faible RFU, l'écartement des gaines de 1,50 m est peut-être un peu trop important et semblerait pénaliser l'alimentation hydrique du maïs.
Les résultats des campagnes 2016 et 2017, non encore diffusés à ce jour, permettront de conforter ces conclusions.

Résultats – Maïs – ARVALIS – 2014-2015

Apport en eau des différentes modalités d'irrigation



Rendement des différentes modalités d'irrigation



Aspersion par rampe basse pression

La restriction en eau (volumes d'irrigation réduits d'environ 20, 30 et 50%), diminue le rendement en aspersion. En 2014, les modalités à apport d'eau réduit présentent une réduction du rendement importante (de 9 à 13%), imputable à un retard du démarrage de l'aspersion. La différence de rendement en conduite restrictive semble provenir plus de la conduite de l'irrigation que du système lui-même. En 2015, on observe également une tendance à la baisse de rendement dans les modalités ayant reçu moins d'eau, toutefois cette baisse n'est pas significative.

Goutte à goutte de surface

En l'absence de restriction, le rendement du GGS est égal (année humide) ou inférieur (année sèche) à celui de l'aspersion. La moins bonne performance du GGS en 2015 s'expliquerait par un léger retard des apports d'eau du GGS par rapport à l'aspersion, donc plutôt par le mode de conduite de l'irrigation avec ce système que par un effet du système. La conduite d'irrigation restrictive ne pénalise pas le rendement en GGS. Même avec un apport réduit de moitié, le rendement (149 q/ha en 2014 et 150 q/ha en 2015) n'est pas significativement différent de celui en irrigation non-limitante (155 et 168 q/ha respectivement).

Goutte à goutte enterré

Le GGE présente systématiquement des rendements inférieurs au GGS d'environ 10 q/ha, aussi bien en conduite non-limitante qu'en conduite restrictive. En effet, le GGE semble ne pas satisfaire les besoins en eau de la culture en début de cycle.

Référence n° 7

Essai expérimental
Maïs – ARVALIS Pusignan - 2015
Rampe sur enrouleur / Goutte-à-goutte

Sol de graviers profond **RU = 130 mm – RFU = 65 mm**

Grandes cultures

Maïs (variété DKC 5632)

ARVALIS – Station expérimentale de Pusignan – 69330 PUSIGNAN

Contact : Yves POUSSET Y.pousset@arvalisinstitutduvegetal.fr

Objectif : Etablir un bilan sur le gain en productivité et en économie d'eau entre un système en aspersion et un système en goutte-à-goutte (résultats présentés seulement pour la fertilisation azotée non-limitante)
Paramètres suivis : Doses d'irrigation, eau dans le sol, composantes du rendement

Référence
Pousset, Y. (2016). Communication personnelle.

Aspersion
Rampe sur enrouleur

⟷

Goutte-à-goutte de surface (GGS)

Pilotage tensiométrique. Sondes Watermark à 30 et 60 cm de profondeur

2 régimes hydriques. Sans restriction et avec restriction hydrique (-30%)

Volumes d'eau

En confort hydrique comme en restriction, les quantités d'eau apportées sont quasiment identiques en aspersion avec rampe et en goutte-à-goutte de surface.

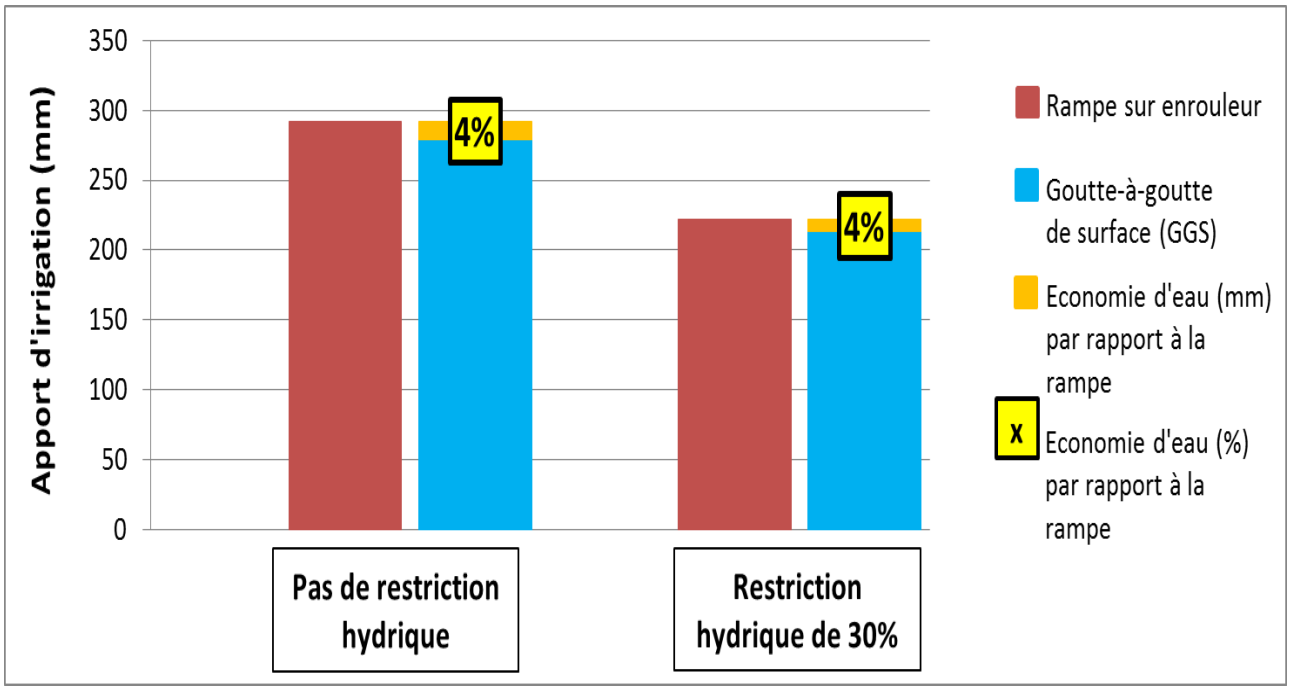
Rendement

Entre les systèmes d'irrigation, on n'observe pas de différence significative de rendement, que ce soit en régime hydrique non limitant ou en régime restreint.
Entre régimes d'irrigation, on observe une baisse du rendement, mais non-significative, en régime restreint par rapport au non-limitant.

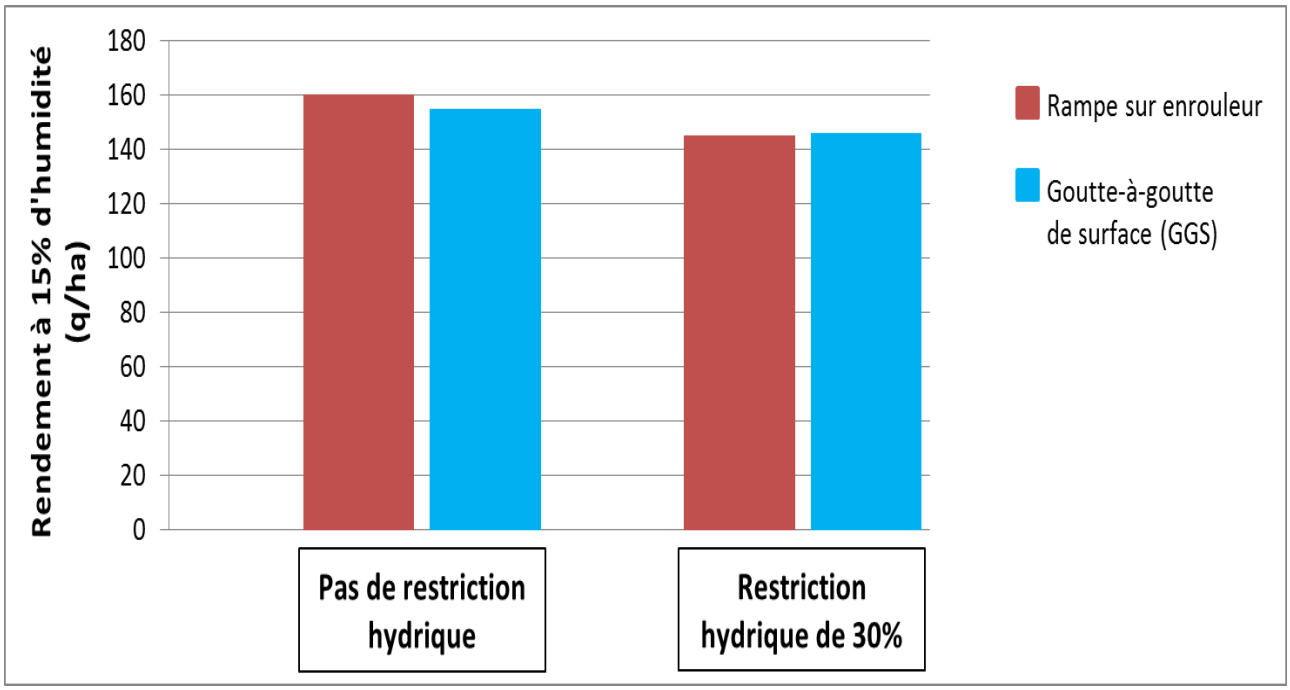
Le goutte-à-goutte de surface ne permet pas d'économie d'eau conséquente par rapport à la rampe sur enrouleur, que ce soit en régime hydrique non limitant ou en régime hydrique restrictif.

Résultats – Maïs – ARVALIS Pusignan - 2015

Apport d'irrigation sur la campagne 2015



Rendement sur la campagne 2015



Référence n° 8

Essai expérimental
Tabac – Arvalis – 2007-2010
Aspersion / Goutte-à-goutte

Sol : limon argilo-sableux
RU = 80 mm à l'optimum de l'enracinement du tabac

Grandes cultures

Tabac (variétés Virginie et Burley)

Arvalis – Domaine de la Tour - 24100 BERGERAC

Contact : Bruno FONTAINE b.fontaine@arvalis.fr

Objectif : Obtenir de nouvelles références d'irrigation du tabac en goutte-à-goutte en zone de production soumise à restriction, en vue d'adopter une gestion fine des volumes d'eau prélevés
Paramètres suivis : Doses d'irrigation (compteur volumétrique), rendement brut et net, indice de qualité (pourcentage de la récolte classé en 1er choix), alcaloïdes, nitrates

Références

Mauline, C. (2007). Action Irrigation : goutte à goutte Virginie. Compte-rendu Périgord Tabac / ANITTA.
Mauline, C. (2008). Action Irrigation : goutte à goutte Virginie. Compte-rendu Périgord Tabac / ANITTA.
Mauline, C. (2009). Effets du goutte à goutte sur Burley de base. Compte-rendu Périgord Tabac.
Mauline, C. (2010). Effets du goutte à goutte sur Burley de base. Compte-rendu Périgord Tabac.

Aspersion
Couverture intégrale

Sprinklers 4 mm/h

Irrigation 1 fois / semaine pendant 4 à 5 heures

Goutte-à-goutte de surface

- Goutteurs DripNet PC 16/150, 1,47 L/h
- 40 cm entre goutteurs
- Gaines un rang sur deux

Irrigation 2 fois / semaine pendant 3 heures

Volumes d'eau

Les apports d'eau sont systématiquement réduits en goutte-à-goutte par rapport à la couverture intégrale, de 46% à 66% selon les années.

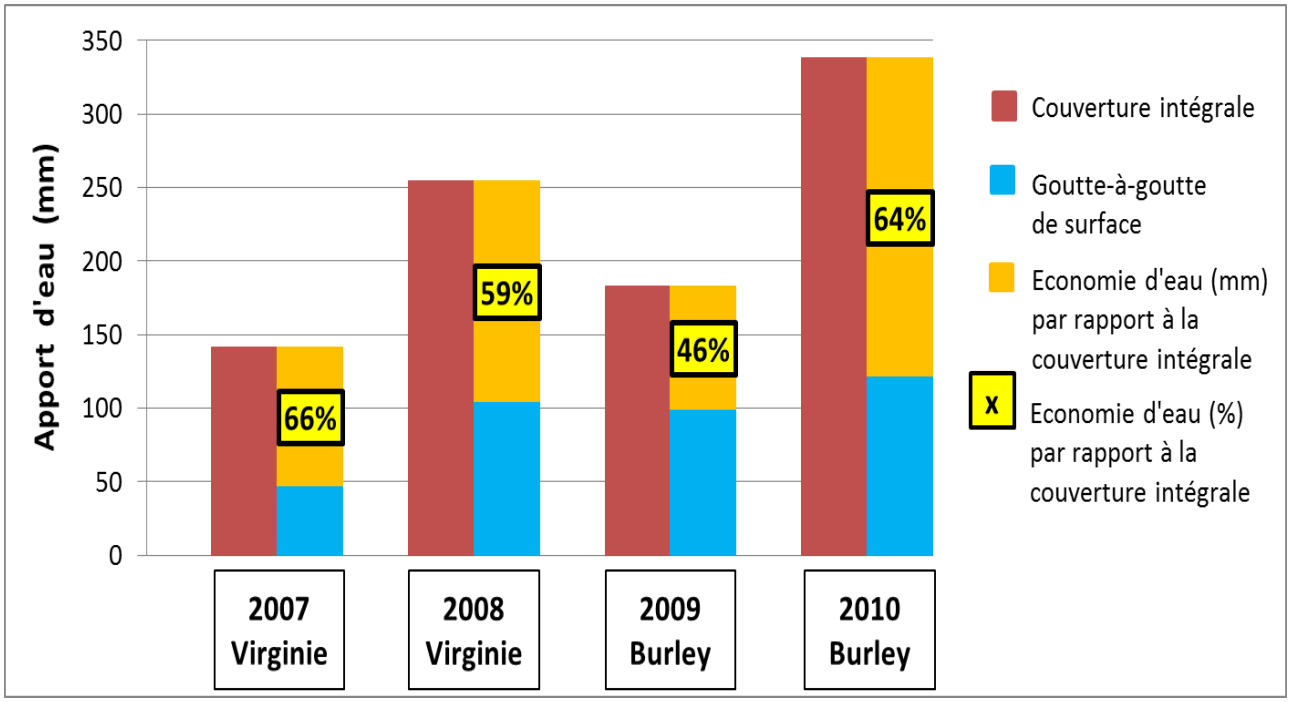
Rendement et qualité

Globalement, avec le goutte-à-goutte, on observe une tendance (non-significative) à la hausse des rendements par rapport à la couverture intégrale. Les rendements sont également plus réguliers et homogènes. L'indice de qualité ne varie pas significativement avec le système d'irrigation.

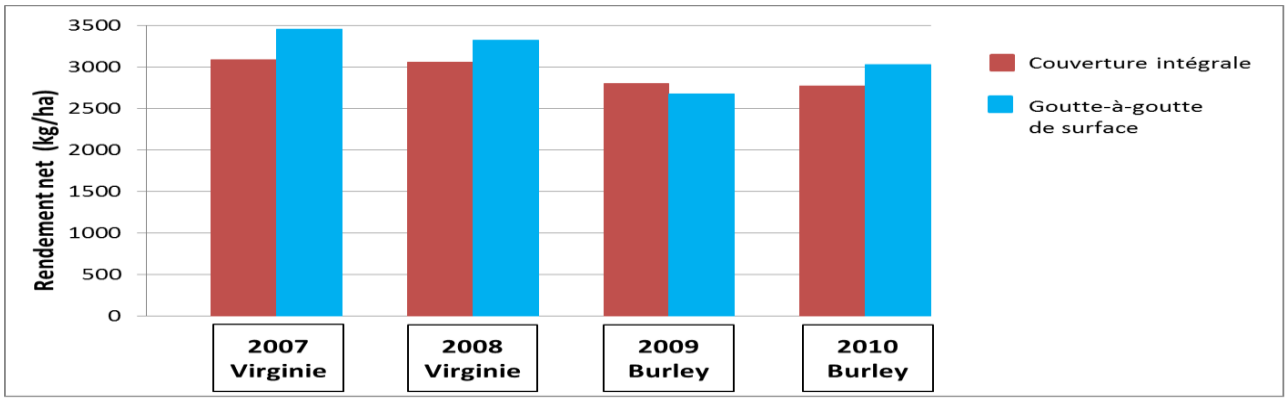
Les économies d'eau en goutte-à-goutte de surface, par rapport à la couverture intégrale, vont de 46 % à 66 % selon les années. Les rendements et la qualité du tabac ne sont pas affectés par le goutte-à-goutte. On observe même une meilleure homogénéité de la production sur la parcelle irriguée en goutte-à-goutte.

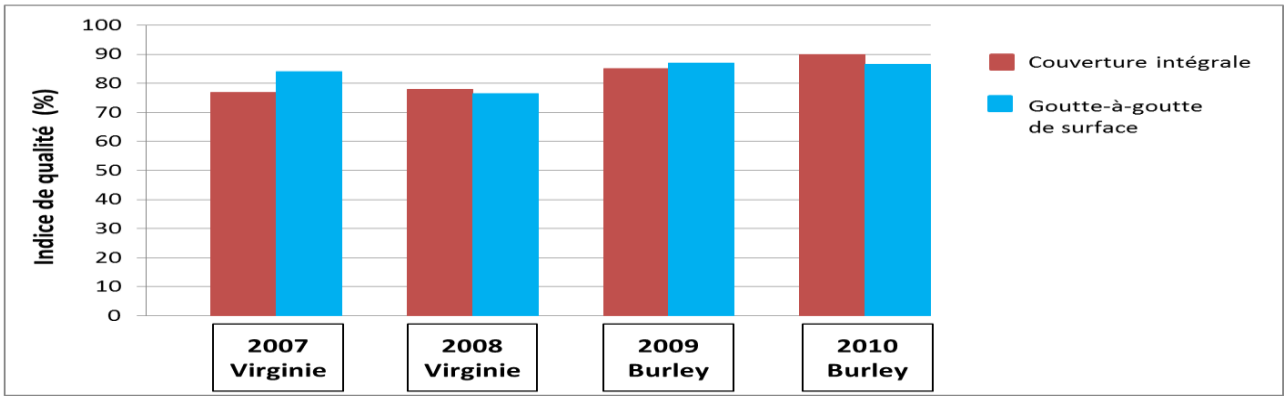
Résultats – Tabac – Arvalis – 2007-2010

Apport d'irrigation sur les campagnes 2007-2010



Rendement net et indice de qualité sur les campagnes 2007-2010





Référence n° 9

Essai expérimental
Pomme de terre – Arvalis – 2000-2001
Pilotage tensiométrique

Sol de limon du Santerre, **RFU = 60 mm ; RU = 150 mm**

Grandes cultures

Pomme de terre (variété Bintje)

Arvalis – 02590 Villers-Saint-Christophe

Contact : Sophie GENDRE s.gendre@arvalis.fr

Objectif : Tester si la tensiométrie permet d'améliorer la conduite de la micro-irrigation, préciser la méthode de la mesure des tensions

Paramètres suivis : Doses d'irrigation apportées, rendement

Référence

Deumier, J. M. (2002). Résultats de 3 ans d'essai de micro-irrigation à Villers-St-Christophe. Arvalis. Rapport non diffusable

Goutte-à-goutte de surface. Rampes de goutteur tous les deux rangs de pomme de terre, en fond de sillon , espacement entre goutteurs 80 cm, débit 1L/h

T1
Pilotage selon l'ETM

- Déclenchement des irrigations après 8 jours sans pluie
- Si absence de pluie, irrigations selon l'ETM
- Si pluie, interruption de l'irrigation selon la règle :
  - si le cumul de pluie sur les 5 jours précédents (CP) est inférieur à 5 mm, continuer l'irrigation,
  - si 5 ≤ CP ≤ 15 mm, interruption pendant n jours n = CP/5
  - si CP > 15 mm interruption pendant 4 j ours

T2
Dose journalière = 80% de T1

T3
Dose journalière = 60% de T1

T4 Pilotage tensiométrique

Sondes positionnées entre la ligne de goutteurs et le sommet de la butte, en face des goutteurs, à 30 cm de profondeur

- tension 0 à 15 cbars : dose = 60 % de T1
- tension 15 à 30 cbars : dose = 80 % de T1
- tension > 30 cbars : dose = T1

Volumes d'eau

Les apports d'eau du pilotage tensiométrique sont équivalents à ceux du pilotage T2=80% de T1 en 2000 et T3=60% de T1 en 2001. Cependant, ces deux années ont été humides (213 et 139 mm de pluies respectivement) et les périodes d'irrigation de courte durée.

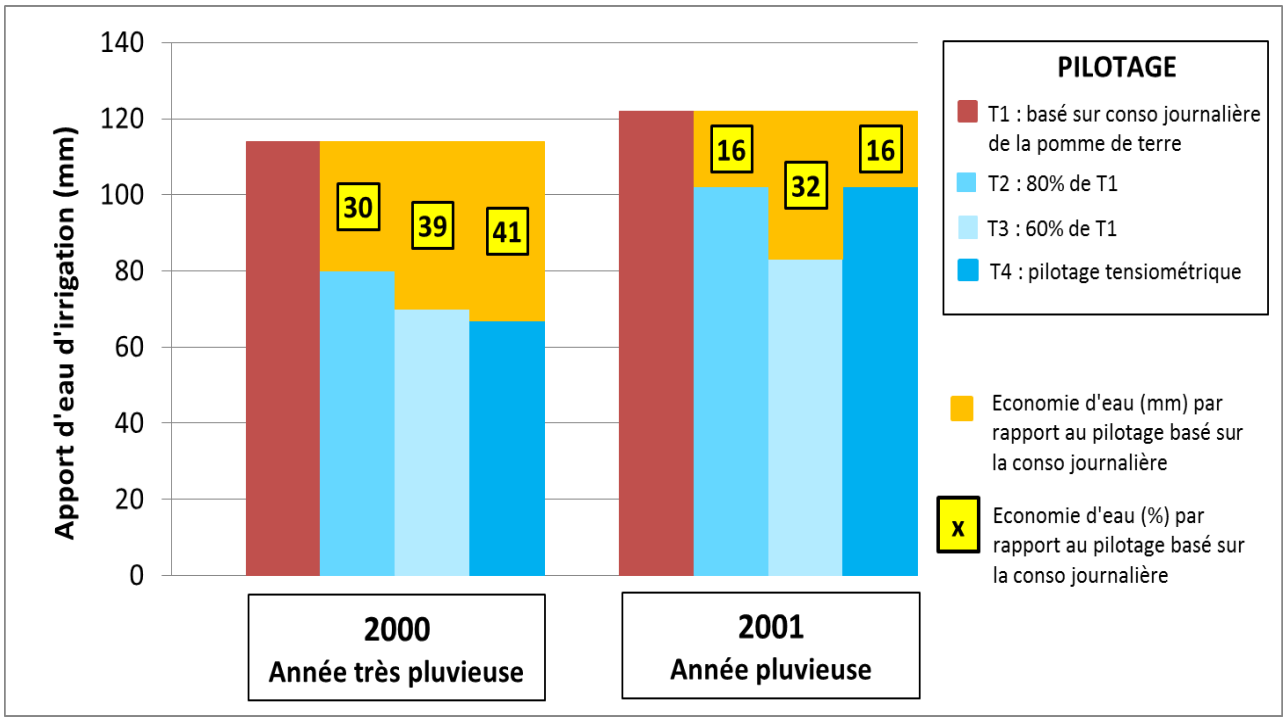
Rendement

On n'observe pas de différence significative entre les rendements totaux et calibre > 50 mm des diverses modalités de pilotage.

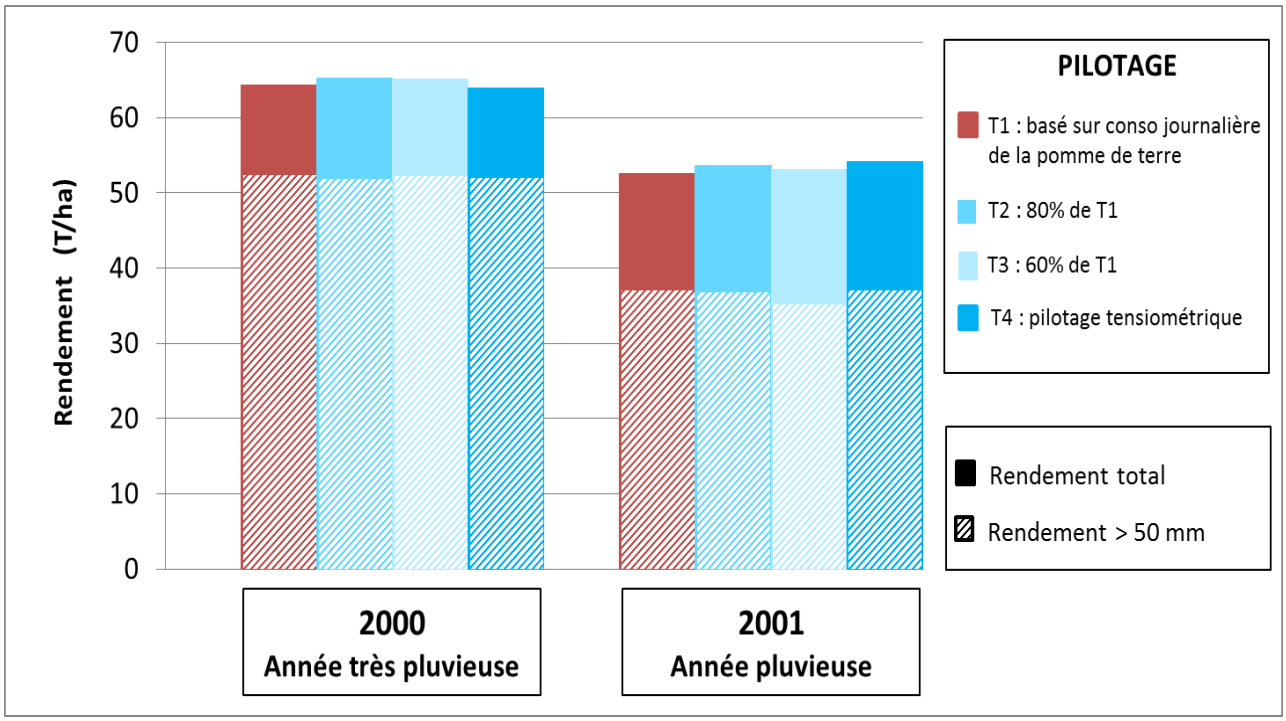
En années humides, le pilotage par sondes tensiométriques permet de faire des économies d'eau de 16 à 41 % par rapport à la conduite basée sur l'ETM. Ces économies sont équivalentes aux modalités T2 ou T3. Cependant, si les périodes de sécheresse s'étaient prolongées, on peut supposer que la tension de l'eau dans le sol serait montée trop haut avec le pilotage T2 et T3, entraînant une chute de rendement, d'où l'intérêt du pilotage tensiométrique.

Résultats – Pomme de terre – ARVALIS – 2000-2001

Apport d'irrigation sur les campagnes 2000 et 2001



Rendement total et calibre > 50 mm sur les campagnes 2000 et 2001



Référence n° 10

Essai expérimental
Blé – CA Loiret – 2014
Pilotage avec logiciel

Sol limono-argileux, **RU = 60 mm**

Sol argilo-calcaire, **RU = 117 mm**

Grandes cultures

Blé tendre d'hiver (variété Boregar)

Chambre d'Agriculture du Loiret – 45000 ORLEANS
Contact : Thierry BORDIN thierry.bordin@centre.chambagri.fr

Objectif : Modulation intraparcellaire de la dose d'irrigation en fonction de la RU, à Epieds-en-Beauce (45)
Paramètres suivis : Volumes d'irrigation par pluviomètres, rendement, taux de protéines

Référence
Bordin, T. (2016). Communication personnelle

Rampe repliable sur enrouleur

Sans cartographie de la RU du sol

Sans logiciel de pilotage

Pilotage avec
- **Cartographie de la RU du sol**
- **Logiciel de pilotage**
  Outil d'aide à la décision **Net-Irrig** (CA Loiret)

Volumes d'eau

Un seul passage d'irrigation a eu lieu en 2014. Sans tenir compte de l'hétérogénéité de la RU du sol, donc sans modulation de la dose, on aurait apporté la même dose sur toute la parcelle, soit 30 mm à chaque irrigation. En irrigant selon la RU du sol et avec l'OAD Net-Irrig, les apports sont réduits de 20 mm, soit 200 m^3/ha. L'économie d'eau est de 66%. Ces résultats méritent d'être confortés sur d'autres campagnes.

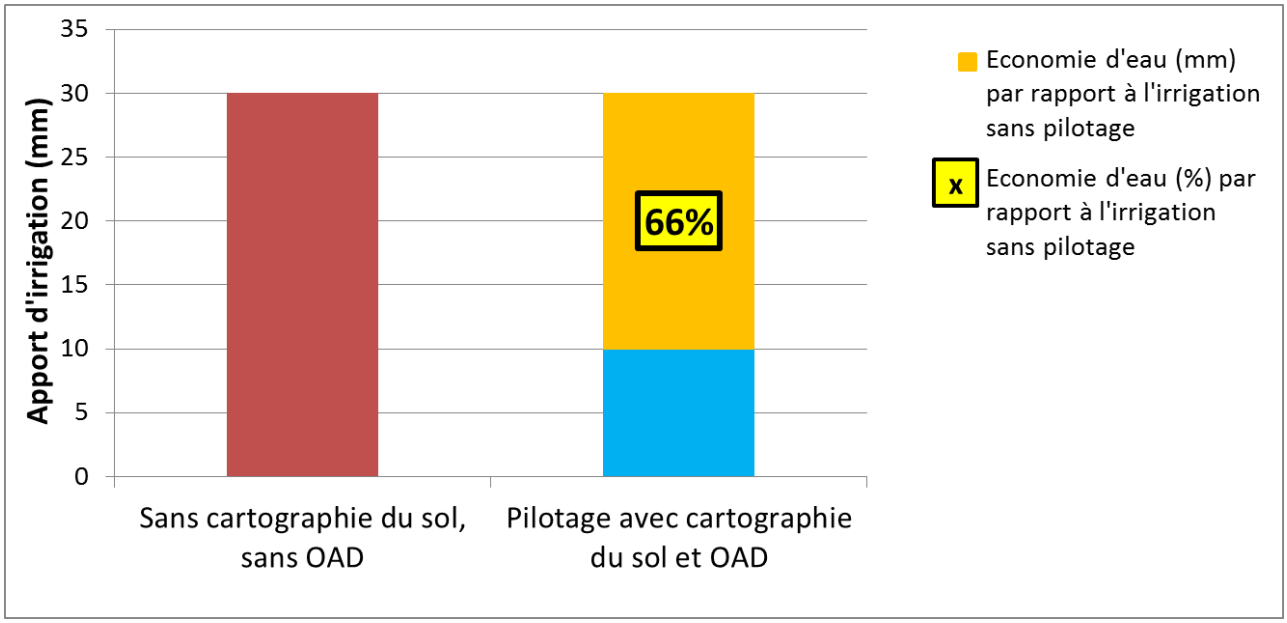
Rendement / qualité

Les rendements (106 et 108 q/ha), ainsi que la teneur en protéines des grains (10,95 et 10,75%) ne sont pas significativement différents entre les deux types de conduite.

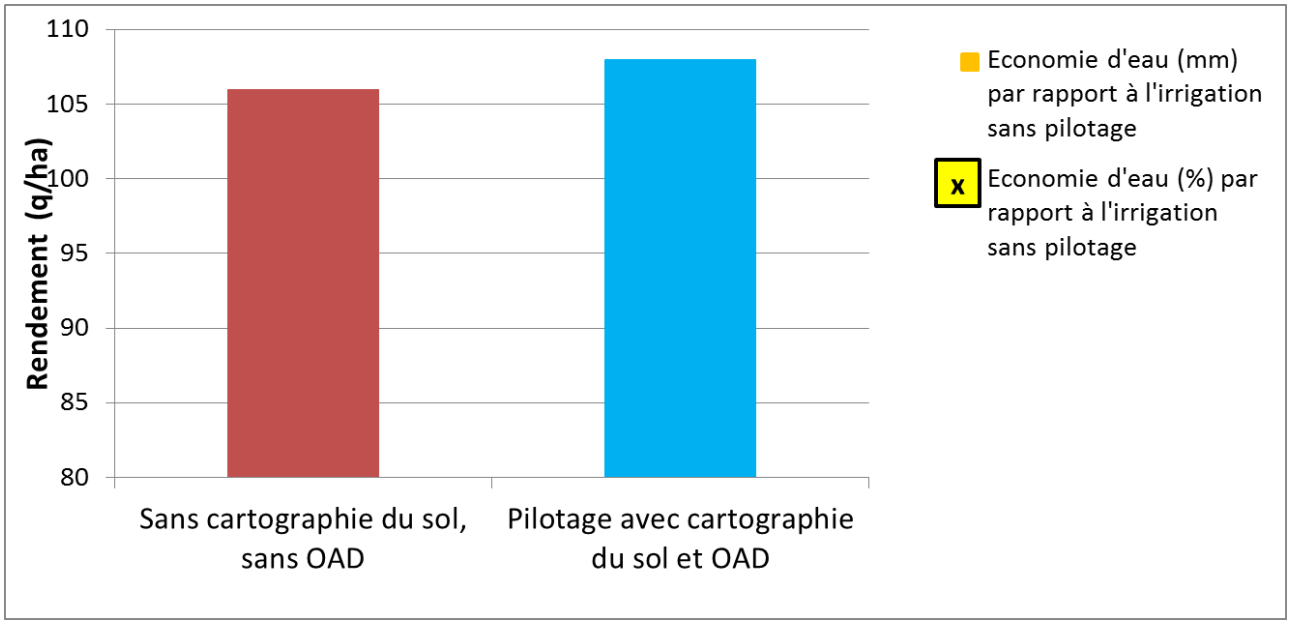
Sur une campagne en 2014, la modulation de dose d'irrigation en fonction de la cartographie des sols et l'utilisation conjointe de l'OAD Net-Irrig permet de réaliser une économie d'eau de 66%, tout en optimisant les rendements.

Résultats – Blé – CA Loiret – 2014

Apport d'eau (une seule irrigation sur la campagne)

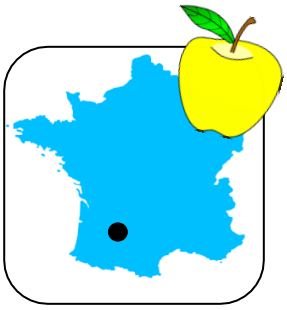


Rendement



Référence n° 11

Essai expérimental
Pommiers – CEFEL – 2015-2016
Aspersion / Micro-aspersion / Goutte-à-goutte



Sol alluvions anciens, **RU = 60 mm sur 40 cm** (arbres jeunes)

Arboriculture

Pommiers Gala, Fuji

CEFEL – Centre Expérimentation Fruits et Légumes – 82000 MONTAUBAN

Contact : Jean-François LARRIEU jf.larrieu@agri82.fr

Objectif : Evaluer les performances de différents systèmes d'irrigation de la plantation à la mise en production d'un verger de pommiers

Paramètres suivis : Production (nombre de fruits par arbre, kg par arbre), diamètre du tronc, longueur de pousse apicale

Références

Ballion, S. (2016). Pomme 2015. Qualité. Gestion de l'irrigation en verger de pommier. Compte-rendu d'essai CEFEL-CTIFL..

Olivieri, P. (2016). Le pilotage de l'irrigation des vergers de pommiers et pruniers au sein du GIEE Arbonovateur®. Mémoire de fin d'études ENSAT. 65 p.

Pilotage : bulletin d'irrigation, tensiomètres, dendromètre

ASPERSION
Couverture intégrale

MICRO-ASPERSION
Micro-jet
30L/h

IRRIGATION LOCALISEE
GG suspendu
Parcelles « côté Bois »
1,6L/h tous les 30 cm
Parcelles « côté Tarn »
2,0L/h tous les 50 cm

Volumes d'eau

En 2015 l'apport d'eau est diminué de 60% avec le micro-jet et 82% avec le goutte-à-goutte par rapport à l'aspersion. Cela pose la question de la conduite de l'irrigation en aspersion car une telle diminution des apports ne peut provenir uniquement d'un changement de système.

En 2016, les économies d'eau sont de 13 et 39% respectivement.

Rendement

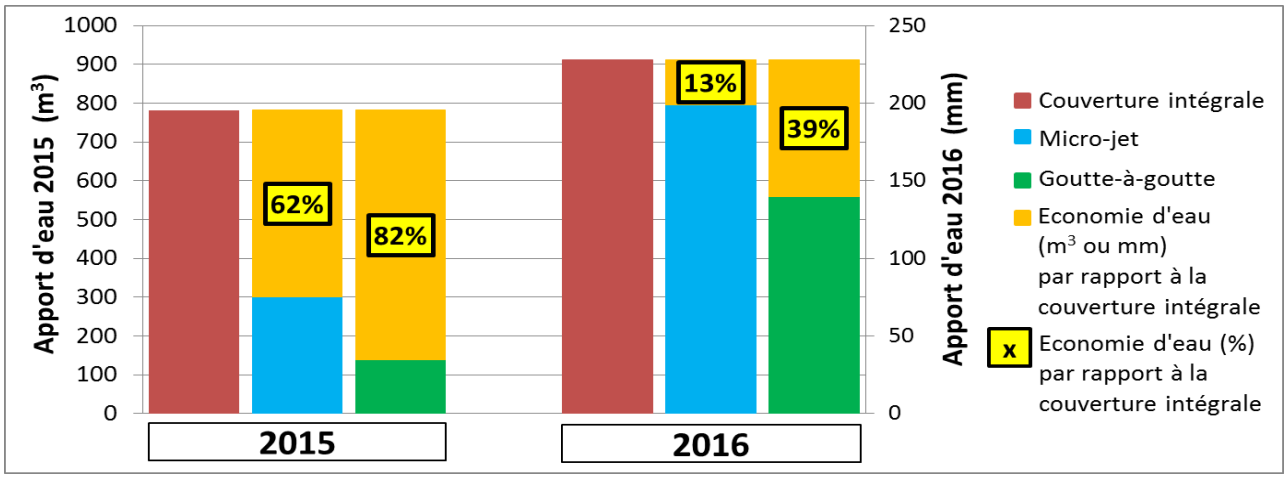
En 2015, pour les deux variétés, le rendement n'est pas significativement différent entre l'aspersion et le micro-jet. En GG, il a tendance à diminuer pour Fuji et est réduit de 50% pour Gala. On observe également une baisse de vigueur de 40% environ en GG. En 2016 (données non-communiquées), les rendements en aspersion et en micro-jet sont comparables. Le rendement en GG est inférieur de 50% à celui de l'aspersion, non pas en raison de l'irrigation 2016, mais à cause du retard de croissance de 2015.

2015. Par rapport à l'aspersion, le micro-jet permet économie d'eau de 60% à rendement et vigueur équivalents. En revanche, avec le goutte-à-goutte, l'économie d'eau (82%) entraîne une forte réduction du rendement (-50%) et de la vigueur (-40%).

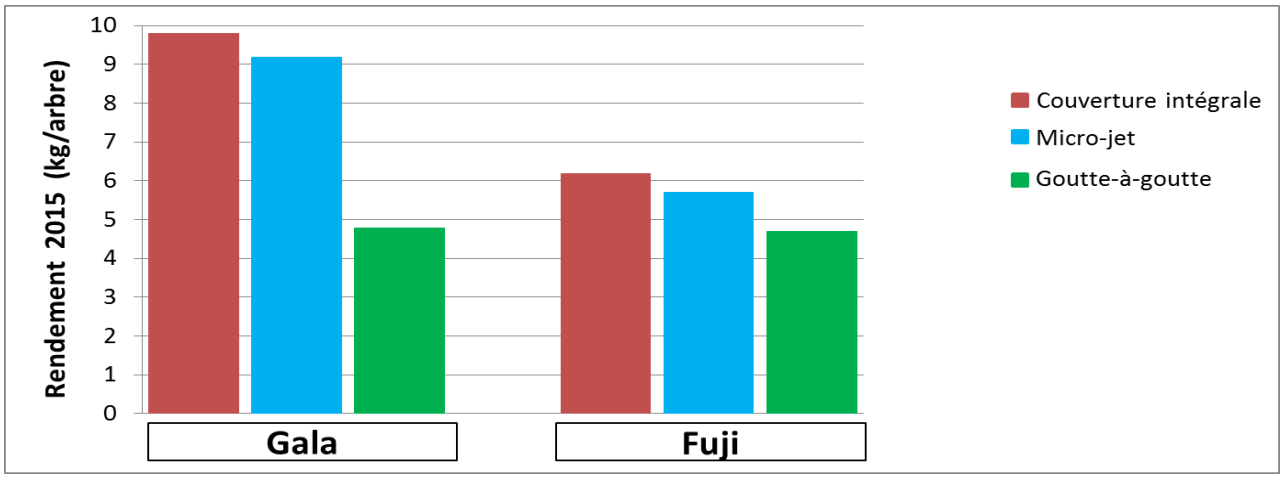
2016. Le micro-jet permet une économie d'eau de 13 % en moyenne, et le goutte à goutte de 31 %, pour un grossissement des fruits comparable.

Résultats – Pommiers – CEFEL – 2015-2016

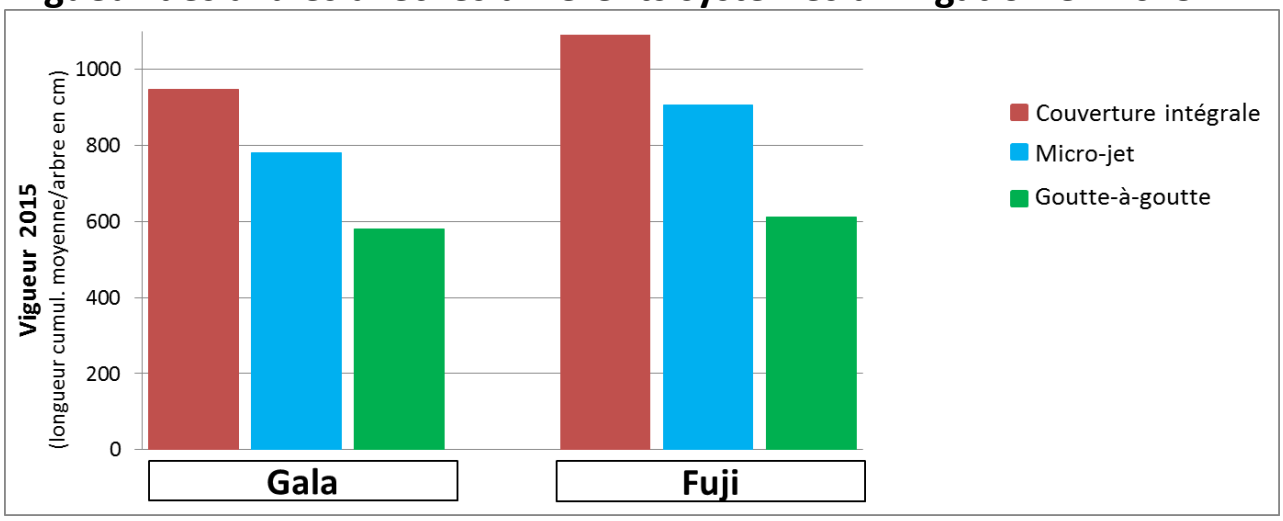
Apport d'eau avec les différents systèmes d'irrigation en 2015 et 2016



Rendement en fruits avec les différents systèmes d'irrigation en 2015

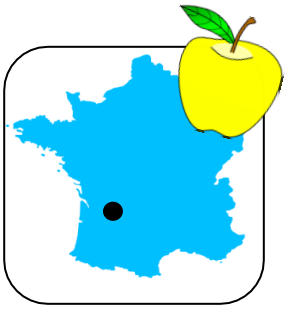


Vigueur des arbres avec les différents systèmes d'irrigation en 2015



Référence n° 12

Essai expérimental
Pommiers – CTIFL – 1989-1997
Aspersion / Micro-aspersion / Goutte-à-goutte



Sol alluvionnaire sablo-limoneux, **RU = 75 mm sur 50 cm**

Arboriculture

Pommiers Golden delicious (porte-greffes M9 et MM106)

CTIFL – Centre Technique Interprofessionnel Fruits et Légumes – Lanxade – 24130 PRIGONRIEUX

Contact : Alain BARDET bardet@ctifl.fr

Objectif : Comparaison de 3 systèmes d'irrigation
Paramètres suivis : Rendement, calibre, vigueur, qualité (fermeté, sucre, acidité, qualité gustative)

Référence
Vaysse, P. & Reynier, P. (1998). L'irrigation du pommier : Aspersion, mini-diffuseur, goutte à goutte. *Infos CTIFL 138: 30-33..*

Pilotage tensiométrique automatisé (Topcontrol)

Profondeur des tensiomètres à 40 et 60 cm en aspersion, 40 cm en micro-aspersion et GGS

ASPERSION
Couverture intégrale
Asperseur ROLLAND 6C
232L/h à 3,5 bars
Maillage 8(ou 10)m x 6m
Dose 50 mm / irrigation

MICRO-ASPERSION
Mini-diffuseur
NOVOJET 360°
22L/h à 1 bar
1 distributeur entre 2 arbres
Dose 8 mm / irrigation

IRRIGATION LOCALISEE
GG de surface (GGS)
Goutteur KULKER Ullys
4L/h à 1 bar
1 ou 2 goutteurs/arbre
Dose 0,5 mm / irrigation

Volumes d'eau

Sur une période de huit années, l'irrigation des pommiers par mini-diffuseurs permet une économie d'eau globale de 39% sur le porte-greffe de faible vigueur M9 et 48% sur le porte-greffe plus vigoureux MM106 (moyenne 44%) par rapport à l'aspersion. Cette économie est respectivement de 48 et 42% (moyenne 45%) respectivement en goutte-à goutte.

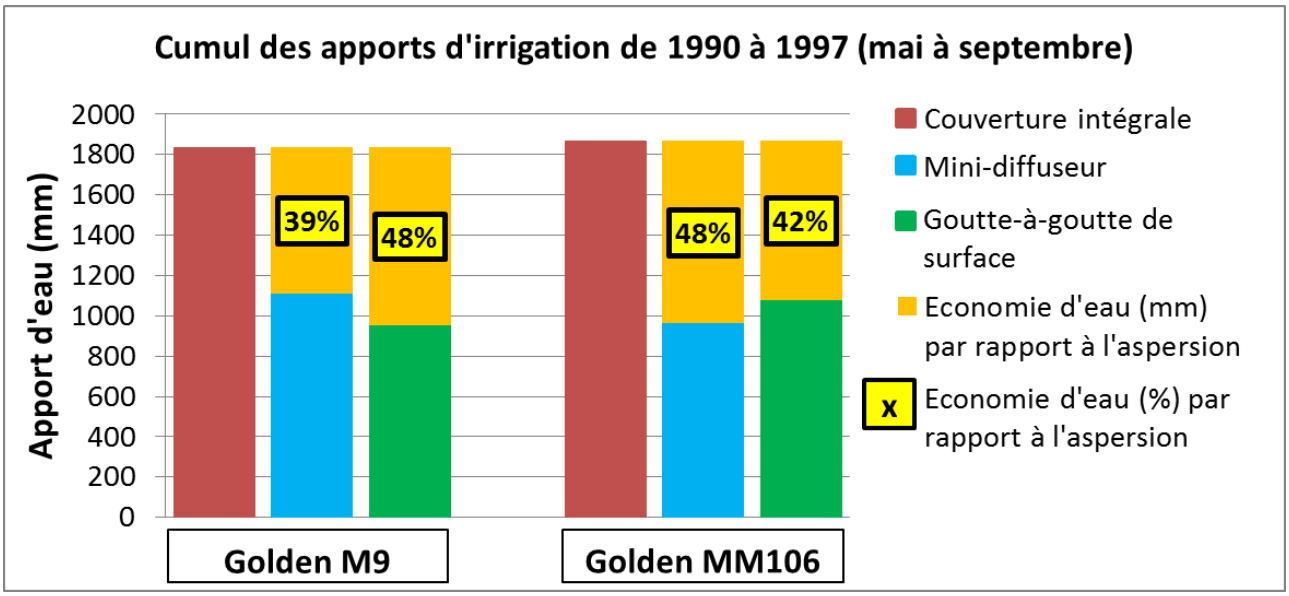
Rendement / qualité

Le rendement, le calibre et la qualité des fruits ne présentent pas de différence significative selon les différents systèmes d'irrigation. La réduction des apports d'eau en micro-aspersion et goutte-à-goutte n'influence pas la production.

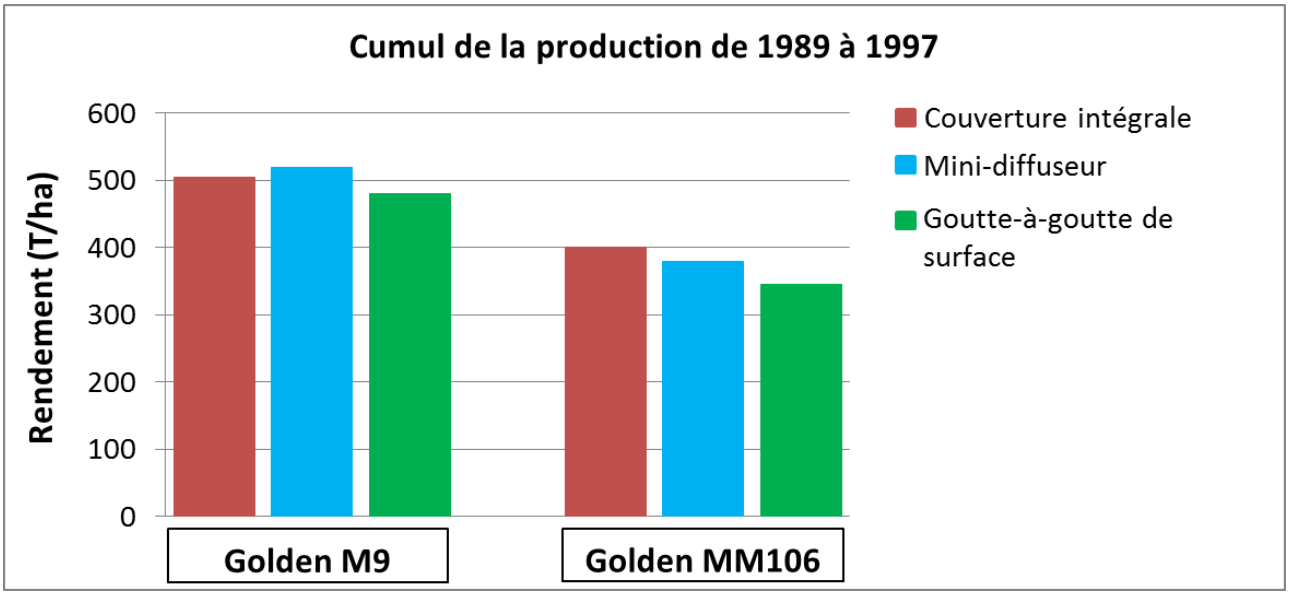
La micro-aspersion et le goutte-à-goutte de surface permettent de réduire les apports d'irrigation de 45% en moyenne par rapport à l'aspersion en couverture intégrale, sans affecter le rendement ni la qualité des fruits.

Résultats – Pommiers – CTIFL – 1989-1997

Apport d'eau des différents systèmes d'irrigation



Rendement des différents systèmes d'irrigation



Référence n° 13

Essai expérimental
Oliviers – ARDEPI / CA04 – 1998-2005
Micro-aspersion / Goutte-à-goutte

Sol, RU : données non-renseignées

Arboriculture

Oliviers

ARDEPI - 2 Allée des Musiciens - 13100 Aix-en-Provence

Contact : Isabelle BOYER i.boyer@ardepi.fr

Objectif : Comparer la micro-aspersion et le GG du point de vue du pilotage des arrosages et de la production (quantité et qualité), dans les Alpes-de-Haute-Provence (Les Mées).
Essai en conditions non-limitantes en eau.
Paramètres suivis : croissance des oliviers (diamètre des troncs, volume des arbres) et production d'huile (quantité, qualité).

Références

ARDEPI (2005).Expérimentation irrigation en oléiculture. Comportement de jeunes oliviers irrigués au goutte à goutte et au microjet. Compte-rendu d'expérimentation. Chambre d'agriculture Alpes de Hautes Provence-AFIDOL-ARDEPI.

MICRO-ASPERSION
Micro-jet

IRRIGATION LOCALISEE
Goutte-à-goutte

Pilotage tensiométrique. Sondes Watermark à 25 cm de profondeur

Volumes d'eau d'irrigation

Les modalités irriguées en GG ont consommé moins d'eau celles en microjet. L'économie d'eau varie entre 52 et 80%, avec une moyenne de 67%.

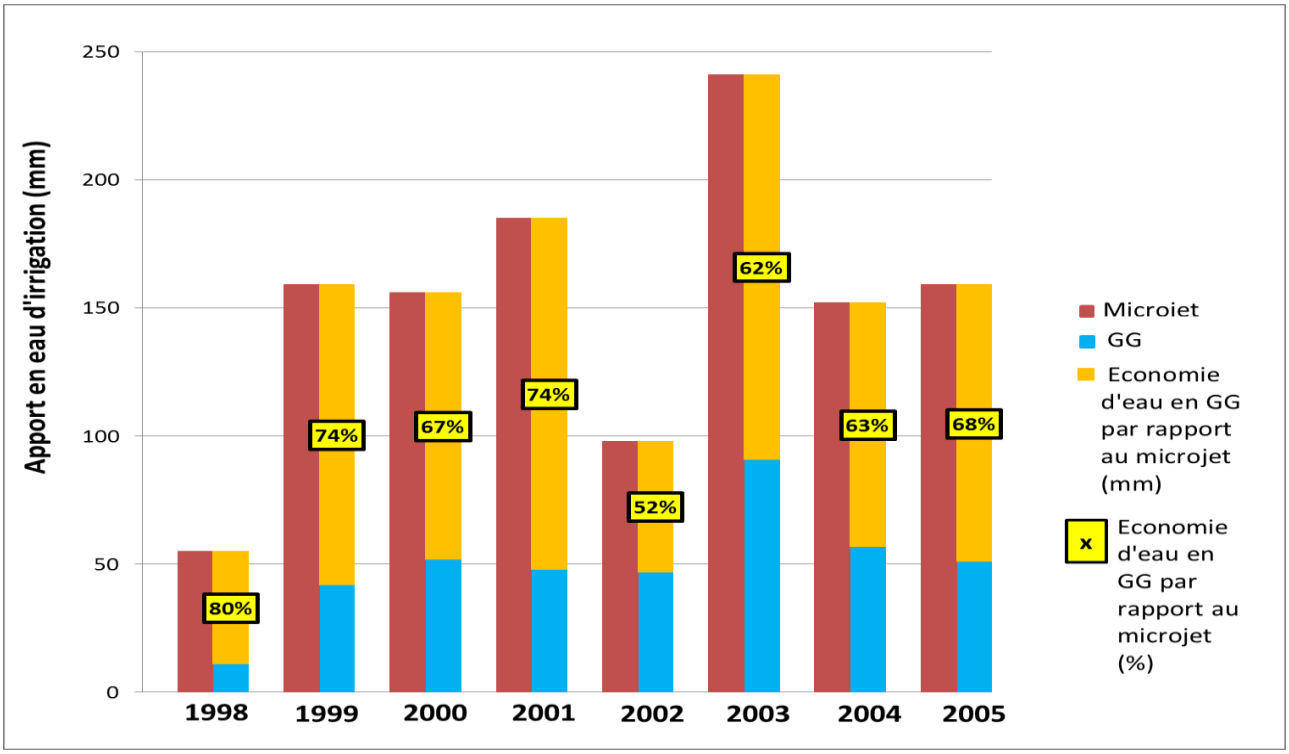
Rendement / qualité

Bien qu'ayant reçu les mêmes volumes d'irrigation, les rendements des secteurs Nord et Sud de l'essai diffèrent. Sur chaque secteur, la croissance des arbres ainsi que le rendement est supérieur avec le microjet (hormis pour le secteur Nord en 2005, année d'alternance). La baisse de rendement avec le GG est comprise entre 2 et 37%, avec une moyenne de 20%, autant pour le poids d'olives que le poids d'huile produite. Au niveau qualité de l'huile, on n'observe pas de différence notoire entre les différentes modalités.

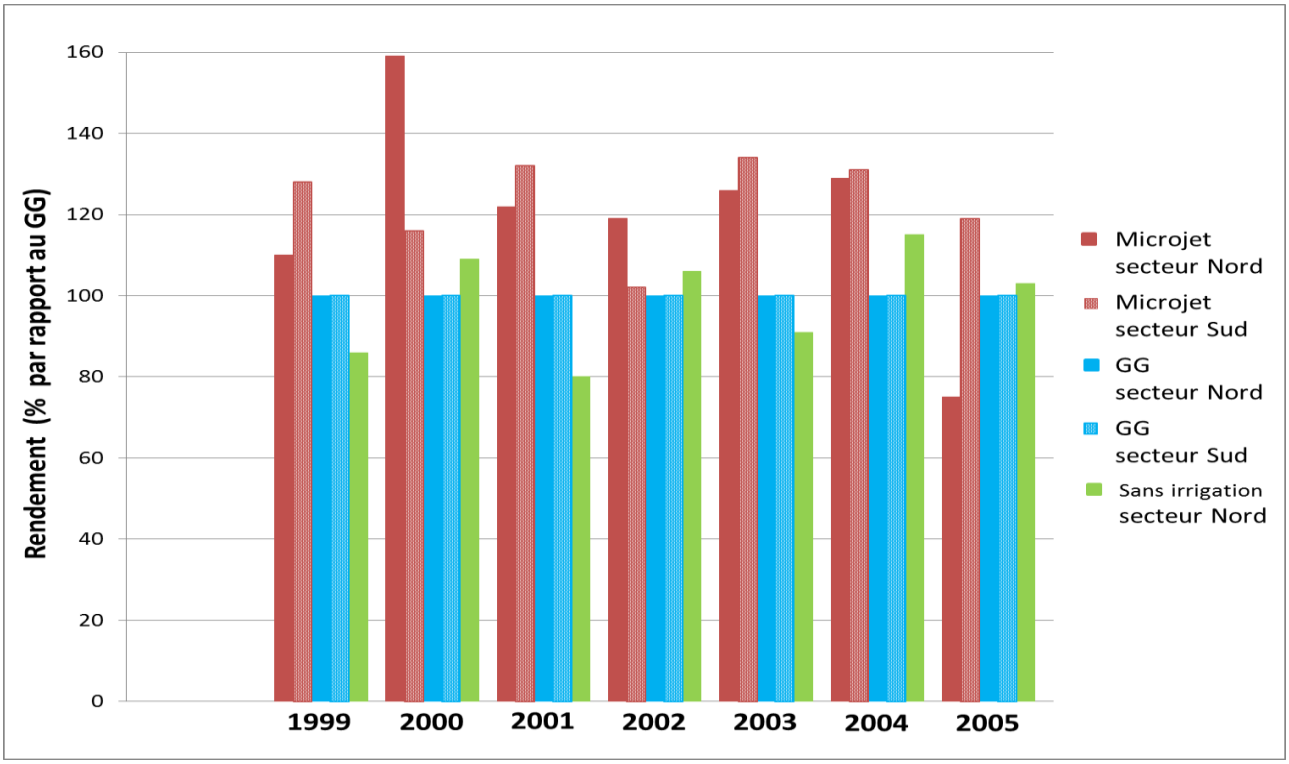
L'essai mené sur 7 années consécutives met en évidence une économie d'eau pour l'irrigation des oliviers de 67% en moyenne avec le GG en comparaison de la micro-aspersion. Cette importante économie d'eau a induit une baisse de rendement en poids d'olives et d'huile de 20% seulement. On peut cependant s'interroger sur le mode de conduite des irrigations choisi en micro-aspersion.

Résultats – Oliviers – ARDEPI / CA04 – 1998-2005

Consommation en eau des différents systèmes d'irrigation

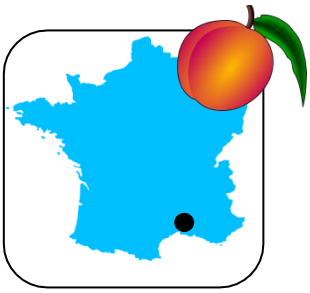


Rendement (tonne/ha) en % (base 100 pour le GG)



Référence n° 14

Essai expérimental
Nectarines – SERFEL /SUDEXPE – 2014-2016
Micro-aspersion / Goutte-à-goutte



Sol à horizon de surface peu caillouteux sur horizon profond très caillouteux
RU = 60-75 mm sur 90 cm

Arboriculture

Nectarines (variété Western Red)

SERFEL/SUDEXPE – Station Expérimentale de Recherche Fruits et Légumes – 30800 SAINT-GILLES

Contacts : Laetitia CUNY (SUDEXPE) l-cuny@serfel.fr ; François GONTARD (BRL) Francois.Gontard@brl.fr

Objectif : Comparaison de deux conduites de verger de nectarines : « classique » de type Production Fruitière Intégrée (PFI) et « bas-intrants » (diminution des apports d'engrais, traitements phytosanitaires et eau)
Paramètres suivis : Rendements, statut hydrique du sol (tensiomètres, sondes capacitives)

Référence. Gontard, F. (2017). Communication personnelle

Pilotage automatisé : tensiomètres, sondes capacitives

Micro-aspersion
Micro-jet

Goutte-à-goutte
2014-2015 : enterré (GGE)
Deux rampe par rangée d'arbres
2016 : de surface (GGS)
Deux rampes par rangée d'arbres

Volumes d'eau

En 2014 et 2015 (pluies significatives sur le cycle végétatif) , une stratégie volontaire de restriction des apports a été appliquée sur la parcelle bas-intrants équipée en GGE. Les apports ont été de 6 à 11 % inférieurs au verger PFI irrigué en micro-jet.
En 2016, suite à des problèmes de colmatage et d'intrusion racinaire, la parcelle bas-intrants a été convertie en GGS. En raison des rendements plus faibles en bas-intrants et d'un déficit climatique plus marqué, il a été décidé d'irriguer les 2 parcelles à la même hauteur.

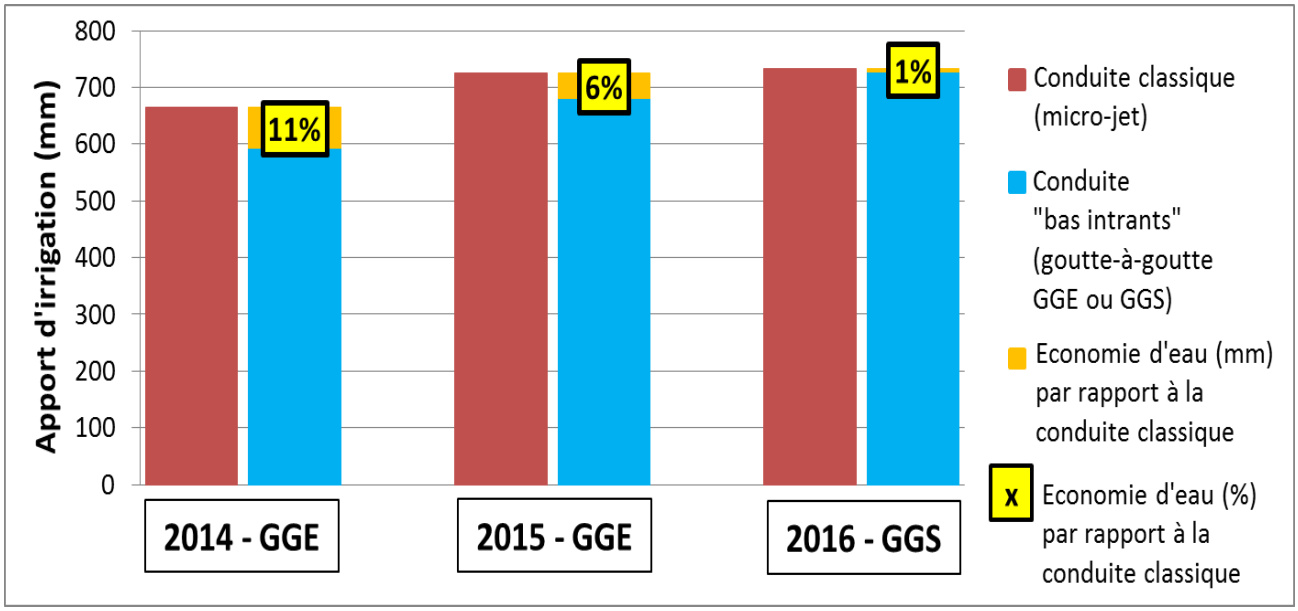
Rendements

En 2014 et 2015, le rendement sur la parcelle bas-intrants est inférieur de 7 à 15 %, en relation avec une fertilisation également moindre (-15 % à -20 % sur N/P/K). En 2016, la parcelle bas-intrants, ayant reçu le même apport d'eau que la parcelle PFI, montre un rendement en hausse, tout en restant inférieur de 20 % au verger PFI.
La diminution combinée d'intrants (eau + fertilisants + traitements) s'est traduite par une moindre productivité de l'eau : la parcelle en GG a certes reçu moins d'eau par hectare cultivé, mais a produit moins de pêches par m^3 d'eau consommé.

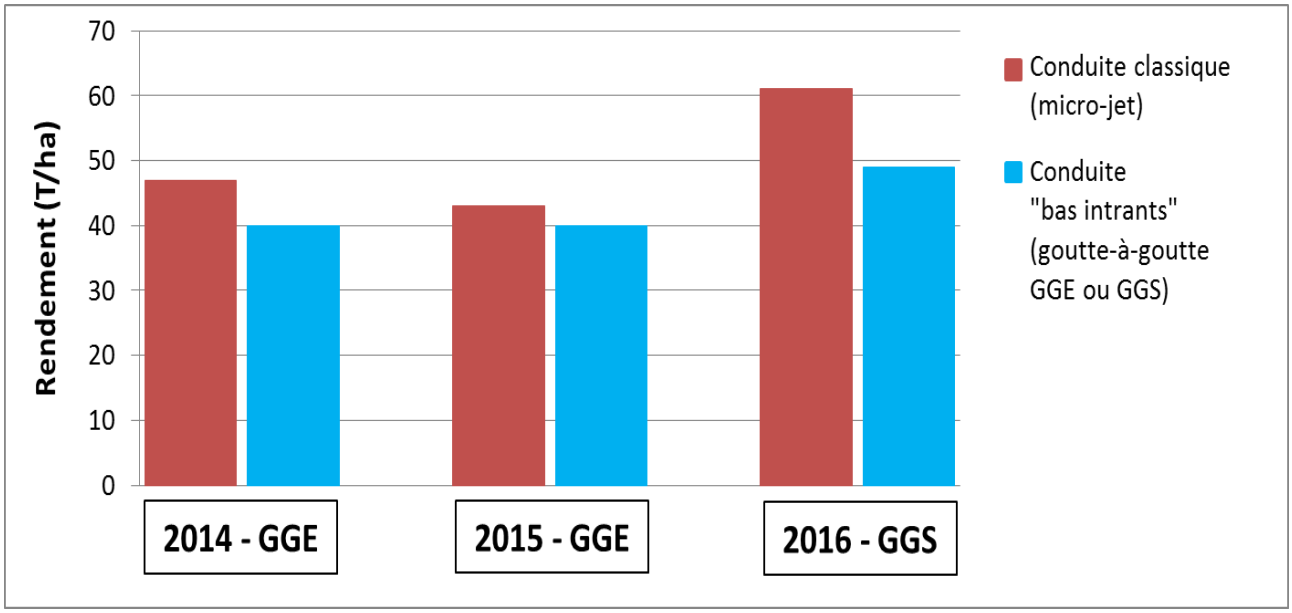
En années humides (2014 et 2015), l'irrigation par goutte-à-goutte a permis une économie d'eau de 5 à 10% environ par rapport à la micro-aspersion. En année sèche (2016), aucune réduction des apports d'eau n'a pu être réalisée.
Le verger irrigué en goutte-à-goutte présente cependant chaque année un rendement de 7 à 20% plus faible qui s'explique aussi par une fertilisation moindre.

Résultats – Nectarines – SERFEL/SUDEXPE – 2014-2016

Apport d'eau pour les différents modes de conduite du verger

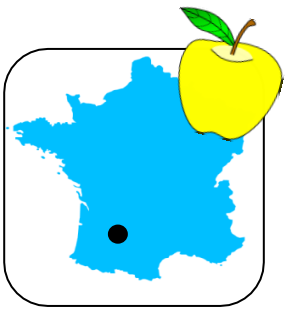


Rendement pour les différents modes de conduite du verger



Référence n° 15

Essai expérimental
Pommiers – CEFEL-COMSAG – 2015
Pilotage bulletins d'irrigation / sondes



Sol alluvions anciens, **RU = 60 mm sur 40 cm** (arbres jeunes)

Arboriculture

Pommiers Gala, Fuji

CEFEL – **Centre Expérimentation Fruits et Légumes** – 82000 MONTAUBAN

Contact : Michel CONTARDO m.contardo@tcsd.fr

Objectif : Evaluer les performances d'un pilotage de l'irrigation automatisé
Paramètres suivis : Apports d'eau d'irrigation

Référence
CONTARDO, M. (2016). Communication personnelle.

Irrigation : couverture intégrale, goutte-à-goutte

Pilotage selon le
bulletin conseil d'irrigation
Hebdomadaire, élaboré par la Chambre d'Agriculture du Tarn-et-Garonne

Pilotage automatisé
Sondes capacitives
DECAGON EC-10HS
Centrale d'automatisation
COMSAG (TCSD)

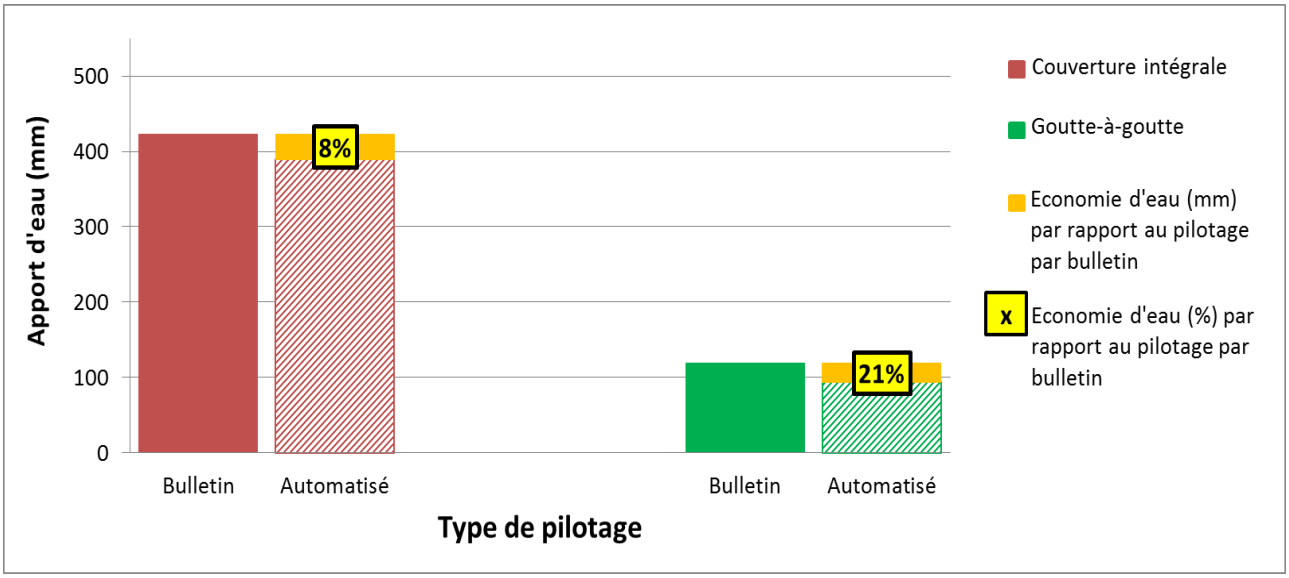
Volumes d'eau
Les apports d'irrigation sont réduits par le pilotage automatisé en comparaison du pilotage basé sur le bulletin hebdomadaire d'irrigation. L'économie d'eau est de 8% pour l'aspersion en couverture intégrale, 21% pour le goutte-à-goutte.

Rendement
Les rendements obtenus pour les variétés Gala et Fuji ne varient pas significativement en fonction du type de pilotage.

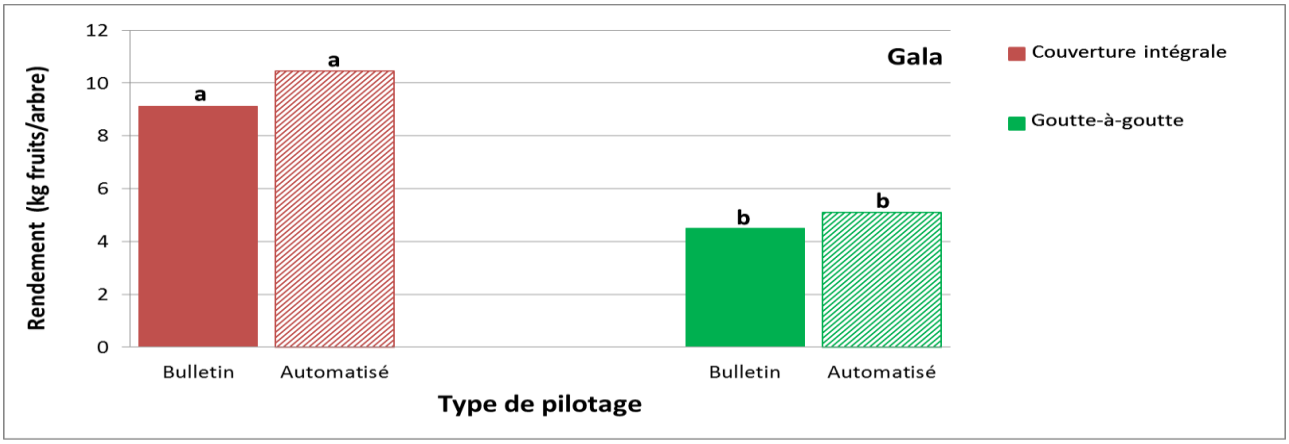
Le pilotage automatisé avec sondes capacitives et centrale d'automatisation permet une économie d'eau allant de 8 à 21% par rapport au pilotage suivant le bulletin conseil hebdomadaire d'irrigation.

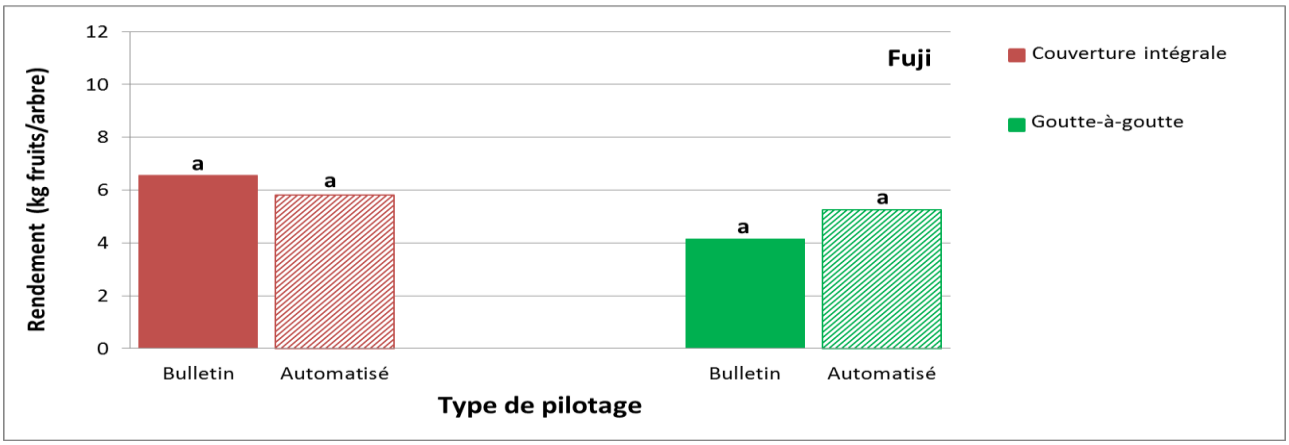
Résultats – Pommiers – CEFEL-COMSAG – 2015

Apport d'eau avec les différents types de pilotage



Rendement en fruits avec les différents types de pilotage





Les valeurs avec la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5%

Référence n° 16

Essai expérimental
Oignon jaune BIO – SERAIL – 2009-2012
Aspersion / Goutte-à-goutte

Sol sablo-limono-argileux peu profond, **RU = 24 mm**

Maraîchage plein champ

Oignon jaune BIO

SERAIL - Station d'Expérimentation et d'Information Rhône-Alpes Légumes – 123 Chemin du Finday - 69126 BRINDAS

Contact : Céline MATHIEU mathieu.serail@orange.fr ; Lucile VERNAY vernay.serail@orange.fr

Objectif : Mise au point d'une stratégie d'alimentation hydrominérale optimisée en termes d'économie d'eau et de valorisation de la fertilisation

Paramètres suivis : Rendement (global, commercialisable, poids moyen des oignons, calibre, nombre de bulbes et homogénéité), qualité sanitaire, tenue à la conservation, profil racinaire, enherbement

Références

- Guerpillon, E., Icard, C. & Treuvey, N. (2009).Oignon jaune AB - Irrigation. Compte-rendu SERAIL
- Guerpillon, E. & Icard, C. (2010).Oignon jaune bio - Améliorer la gestion de l'irrigation des cultures légumières, en Région Rhône-Alpes - Optimisation de l'alimentation hydrominérale - 2010. Compte-rendu SERAIL
- Guerpillon, E., Icard, C. & Pierre, S. P. (2011).Oignon jaune bio - Améliorer la gestion de l'irrigation des cultures légumières, en Région Rhône-Alpes - Optimisation de l'alimentation hydrominérale - 2011. Compte-rendu SERAIL
- Guerpillon, E. & Pierre, S. P. (2012).Compte-rendu d'essai. Oignon jaune bio - Améliorer la gestion de l'irrigation des cultures légumières, en Région Rhône-Alpes - Optimisation de l'alimentation hydrominérale. Compte-rendu SERAIL
- Guerpillon, E. (2013).Conduite d'itinéraire technique – production d'oignons paille en culture biologique. Compte-rendu SERAIL

ASPERSION
Couverture intégrale
Marque FERSIL maillage 12 m x 12 m, pluviométrie 5.6 mm/h en arrosage tours pleins, 11.2 mm/h à 180°
Asperseurs NAAN DAN JAIN 5035 PC buse bleue, 810 L / h à 3 bars

IRRIGATION LOCALISEE
GG de surface et enterré
NETAFIM - Dripnet PC, 1 L/h à 0.65 bar, 30 cm entre les goutteurs
Ajutage calibré
ROLLAND - Ajutage laiton Maxidrip Ø 0.8 mm fendu, 19.84 L/h à 1 bar

Pilotage tensiométrique. Sondes Watermark à 15 et 25 cm de profondeur, évolution des seuils de déclenchement selon les stades culturaux

Volumes d'eau d'irrigation

En sol nu, en comparaison avec la couverture intégrale, l'économie d'eau réalisée est de 13 à 17% avec le GG de surface, de 3 à 6% avec le GG enterré et de 10 à 24% avec l'ajutage calibré.
Le paillage accroît l'économie d'eau possible. Il permet jusqu'à 22% d'économie d'eau en aspersion et 42% en GG de surface.

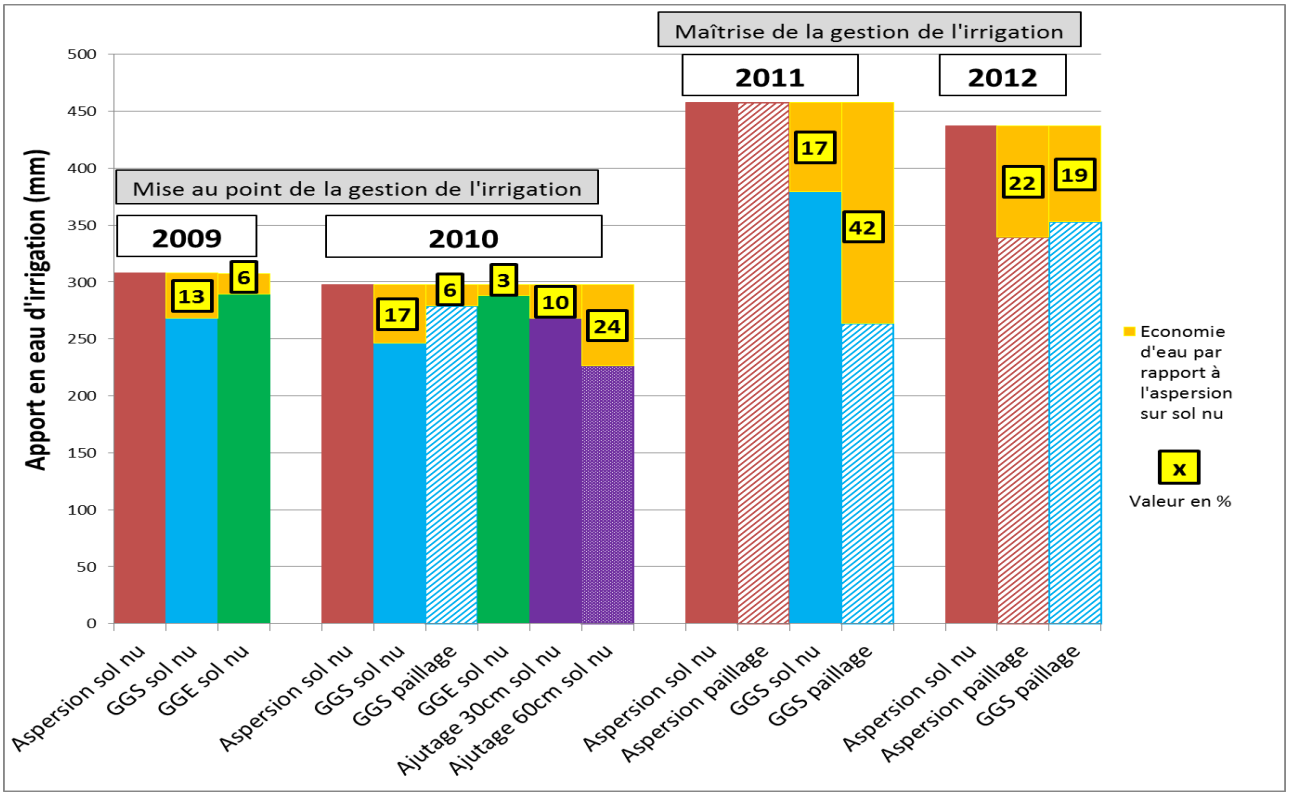
Rendement / qualité

En 2009 et 2010, les rendements ont été meilleurs en aspersion. Ces 2 premières années d'essai ont servi à mettre au point la gestion de l'irrigation (réseau, doses), de la fertilisation et la maîtrise de l'enherbement. Suite à ces améliorations, les rendements commerciaux en 2011 et 2012 ont été au moins équivalents sinon supérieurs sur les modalités goutte à goutte par rapport à l'aspersion (+ 28% en GG de surface sur sol nu et + 31% à + 47% en GG de surface avec paillage). En outre, le GG facilite la gestion de l'enherbement et permet une meilleure conservation des oignons après récolte.

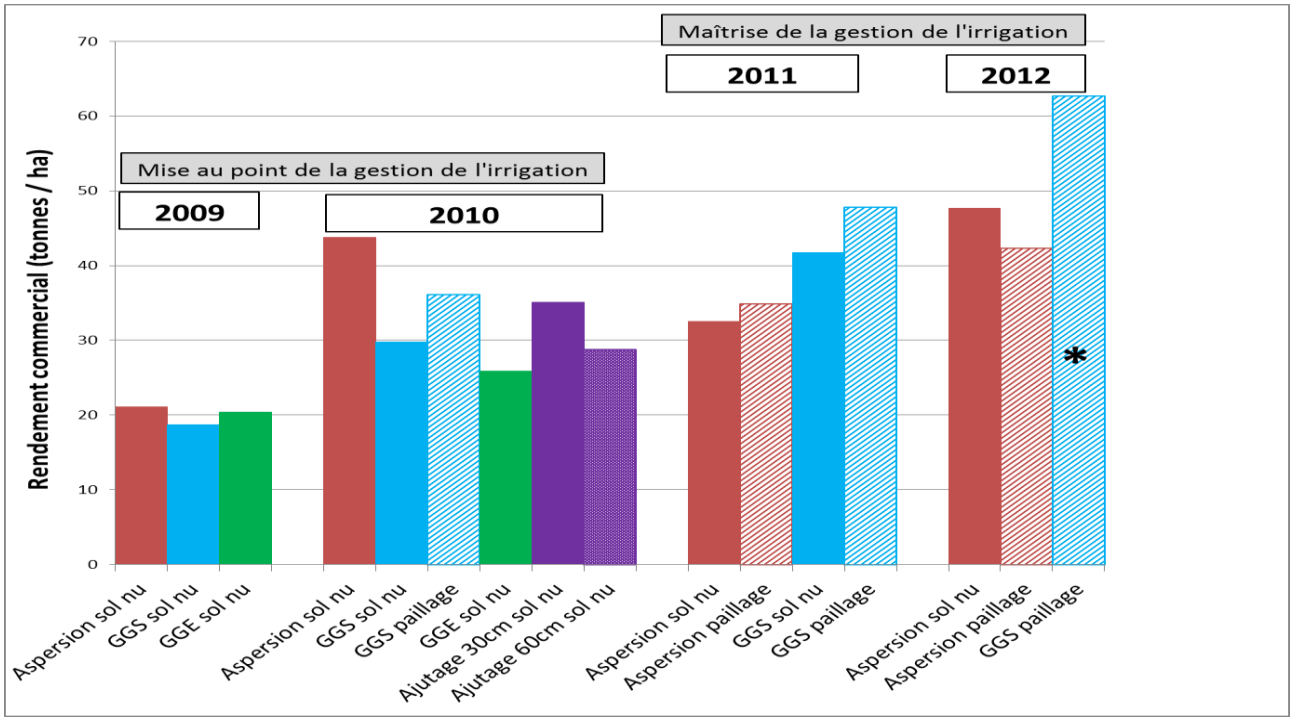
Les résultats de 2011-2012 montrent que, sans réduire le rendement ni la qualité des oignons, une économie d'eau est possible par rapport à l'aspersion en couverture intégrale en sol nu : 17% en GG de surface sur sol nu et 19 à 42% en le GG de surface avec paillage.

Résultats – Oignon jaune BIO – SERAIL – 2009-2012

Consommation en eau des différentes modalités d'irrigation



Rendement commercial des différentes modalités d'irrigation



* Rendement significativement différent de la modalité « aspersion sol nu »

Référence n° 17

Essai expérimental
Salades – ARDEPI – 2006
Micro-aspersion / Goutte-à-goutte de surface

Sol argilo-sableux, **RU = 65 mm** sur 40 cm de profondeur

Maraîchage sous tunnel

Salades (frisées, scaroles)

ARDEPI - 2 Allée des Musiciens - 13100 Aix-en-Provence

Contact : Isabelle BOYER i.boyer@ardepi.fr

Objectif : • Améliorer l'efficience de l'irrigation en conduite GG pour obtenir une salade de qualité supérieure à la conduite micro-asperseur (poids, homogénéité)
• Réaliser un bilan économique et phytosanitaire des deux conduites
Paramètres suivis : • Débits et volumes d'irrigation par compteur volumétrique
• Pesée des salades et notation de la qualité phytosanitaire

Références
Boyer, I. & Goillon, C. (2006). Essai goutte à goutte sur laitue sous tunnel froid. CETA Saint-Martin-de-Crau. Compte-rendu ARDEPI - APREL

MICRO-ASPERSION
Pendulaire tête en bas
Mini-asperseur RIVULIS Rondo
Buse blanche ailette verte, 134 L/h
Espacement 3x4 m, double rampe
Pluviométrie 11,16 mm/h

IRRIGATION LOCALISEE
GG de surface
Gaine souple T-Tape épaisseur 150 µm
Espacement 0,20 m x 0,50 m
Débit à 0,9 l/h, pluviométrie 9 mm/h

Pilotage tensiométrique
Pour chaque type d'irrigation : 2 Sondes Watermark (10 –20 cm) ; 3 Sondes Humitron (10 –20–30 cm)

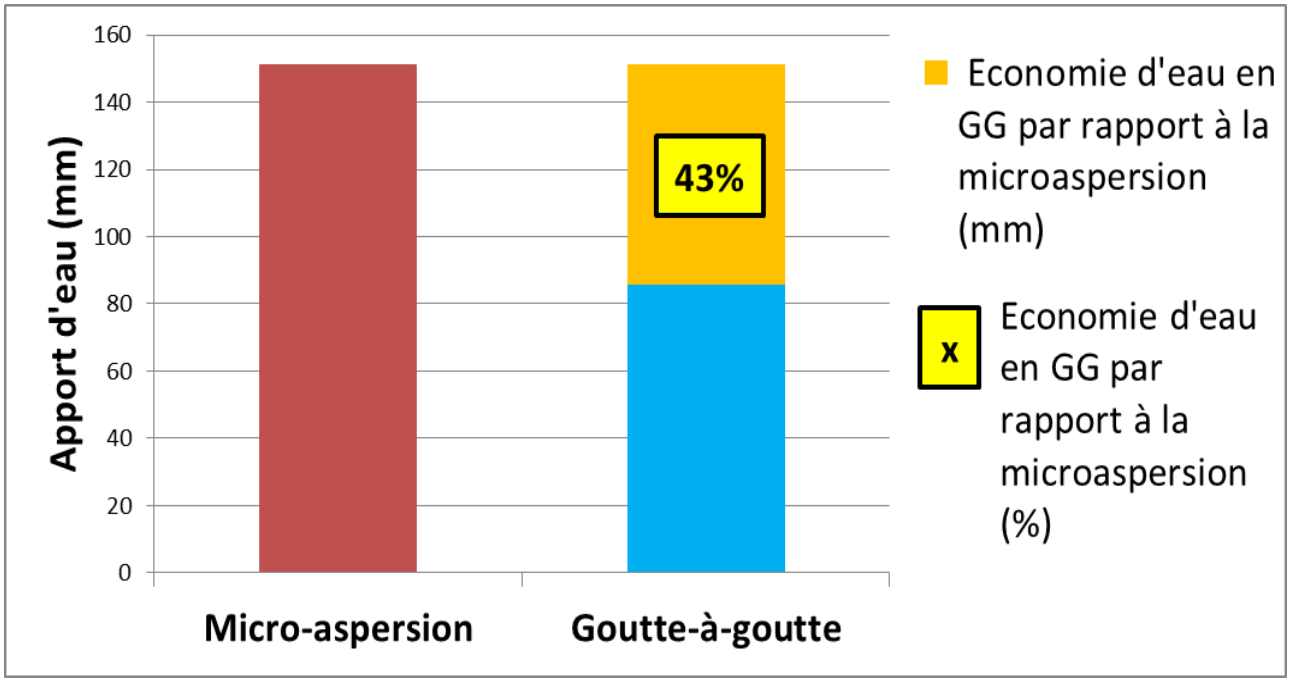
Volumes d'eau
Le volume total d'eau d'irrigation sur la saison culturale est de 151 mm pour la micro-aspersion et 86 mm pour le goutte-à-goutte.
L'économie d'eau réalisée est de 43%.

Rendement / qualité
Le poids moyen des salades est de 808 g en micro-aspersion et 768 g en goutte-à-goutte. Compte-tenu des écarts-types, la différence n'est pas significative. La qualité des salades ne présente pas non plus de différence significative.

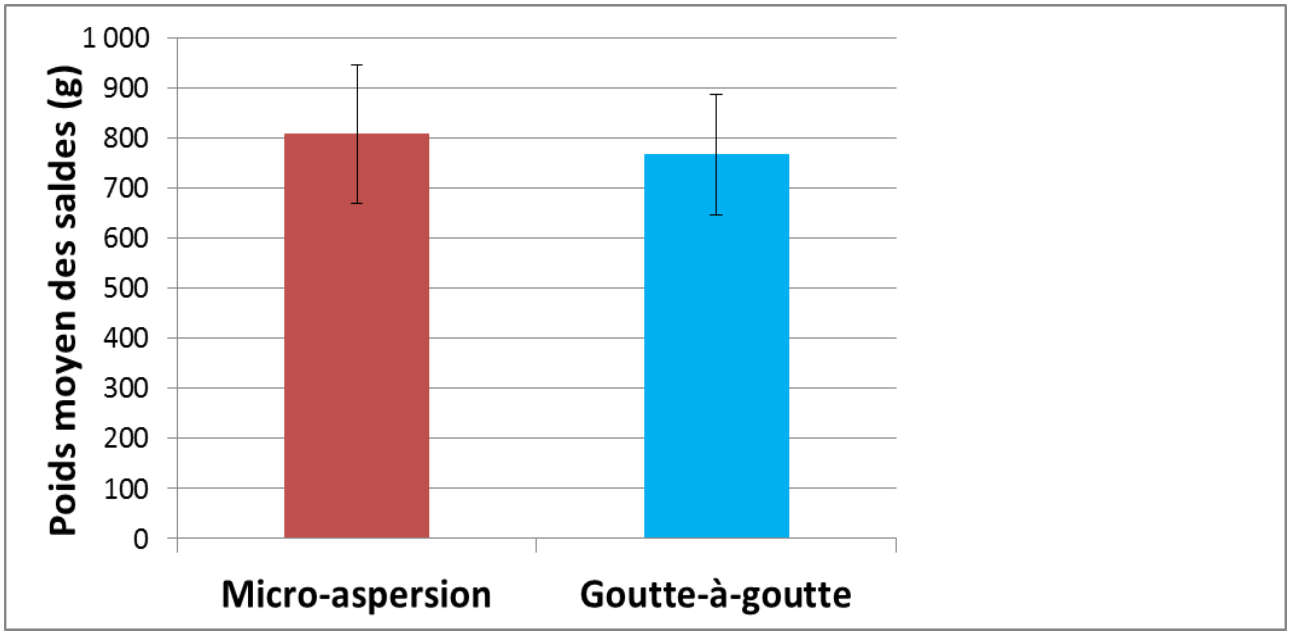
L'essai montre une économie d'eau de 43% avec le goutte-à-goutte de surface en comparaison de la micro-aspersion, sans baisse de rendement quantitatif ni qualitatif des salades. Cependant, l'analyse économique montre que le coût engendré par la mise en place du goutte-à-goutte (gaine et main d'œuvre) est 3 fois supérieur au gain permis par l'économie d'eau et/ou de l'énergie de pompage. Dans ce contexte, le goutte à goutte ne s'avère pas économiquement rentable.

Résultats – Salades – ARDEPI – 2006

Consommation en eau des différents systèmes d'irrigation



Rendement des différentes modalités d'irrigation



Référence n° 18

Essai expérimental
Courgette – CTIFL – 2015-2016
Pilotage ETM / tensiomètres

Sol limono-argilo-sableux, **RU = 13 mm**

Maraîchage de plein champ

Courgette

CTIFL – Centre Technique Interprofessionnel Fruits et Légumes – Balandran – 30127 BELLEGARDE

Contact : Sandra-Prisca PIERRE pierresp@ctifl.fr

Objectif : Déterminer les stratégies de fertilisation et d'irrigation adaptées aux exigences réglementaires en zone vulnérable nitrates : économiser l'eau apportée par rapport au pilotage basé sur l'ETM, pour réduire les risques de lessivage

Paramètres suivis : Azote du sol, apports d'eau, état phytosanitaire, rendement et qualité à la récolte

Référence

Gard, B., Goillon, C., Pierre, P. & Raynal, C. (2016). Culture de la courgette en zone vulnérable nitrate : outils de pilotage et stratégie de fertilisation. *Infos CTIFL 323: 47-56.*

Goutte-à-goutte de surface

Pilotage à l'ETM

ETM = Kc x ETP

Pilotage tensiométrique

Tensiomètres Watermark

Seuil de déclenchement 25 cbars dans l'horizon 0-15 cm

Volumes d'eau

Le pilotage grâce aux sondes tensiométriques permet de réduire l'apport d'eau de 95 mm en 2015 et 133 mm en 2016, soit une économie d'eau de 53% et 68% respectivement.

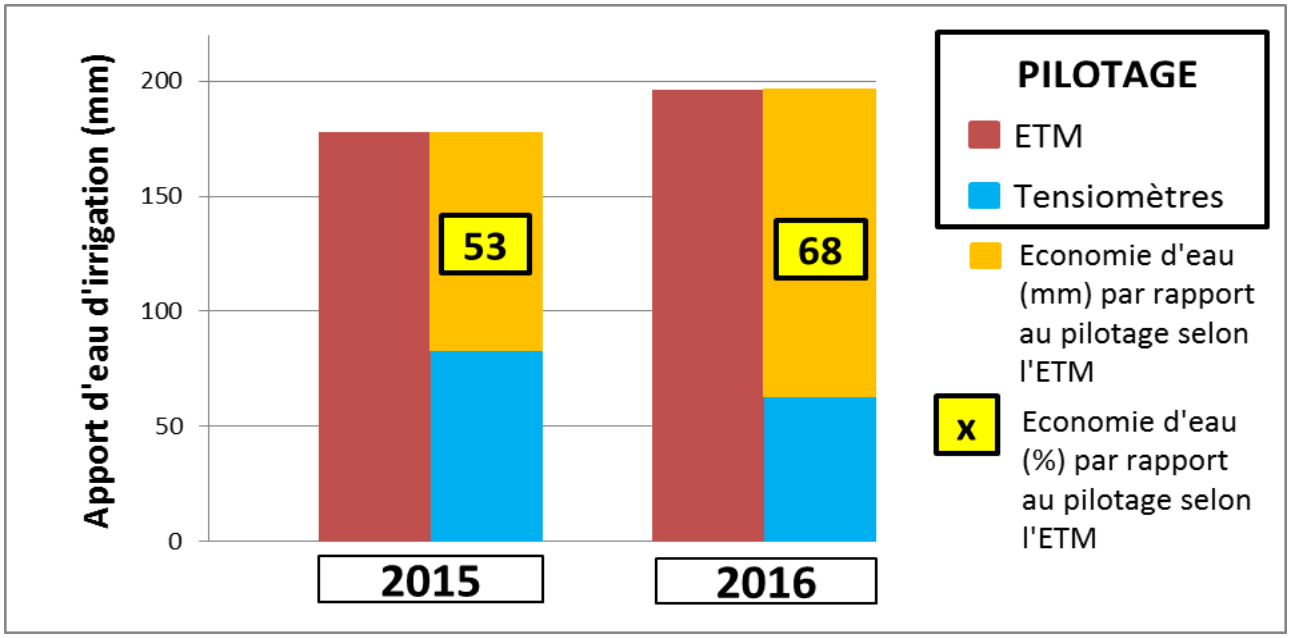
Rendement / qualité

Les rendements en courgettes de catégorie 1, obtenus avec le pilotage par tensiomètres, sont nettement supérieurs aux rendements prévisionnels (objectifs de production utilisés pour le calcul des doses de fertilisants.

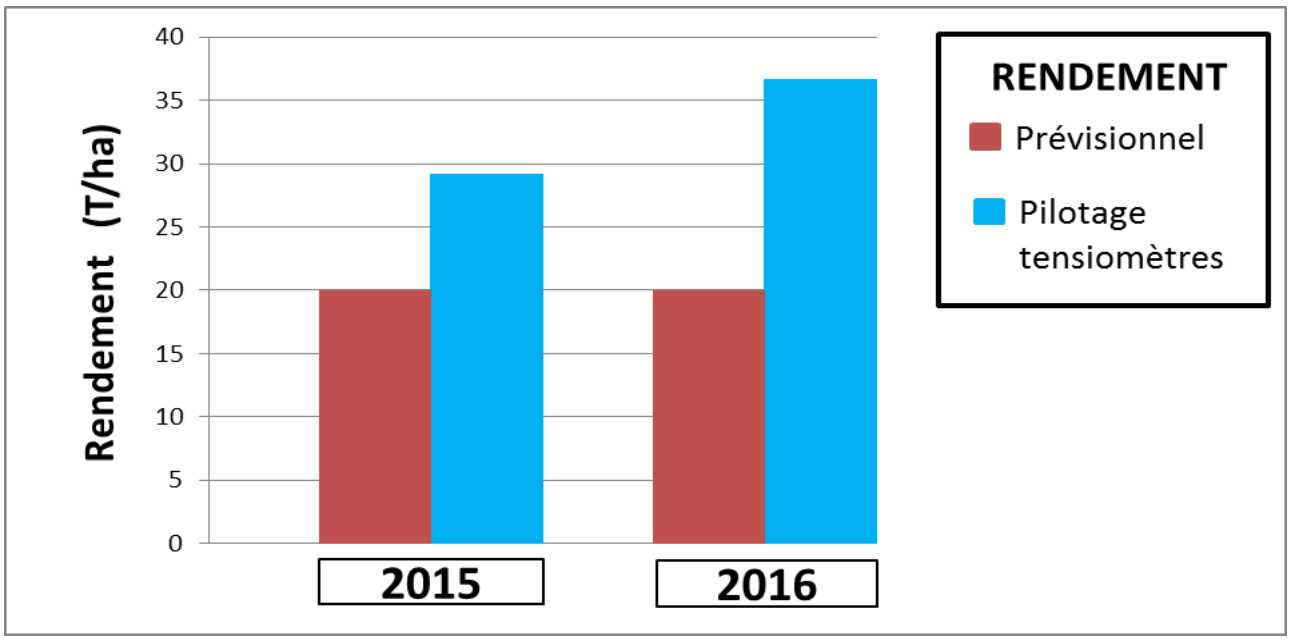
Le pilotage de l'irrigation de la courgette de plein champ par les sondes tensiométriques entraîne une économie d'eau de 53 à 68% par rapport au pilotage à l'ETM, avec des rendements nettement supérieurs aux rendements prévisionnels.

Résultats – Courgette – CTIFL – 2015-2016

Apport d'eau des différents modes de pilotage sur la saison culturale



Rendement de courgettes de catégorie 1



Le rendement prévisionnel est l'objectif de production choisi et utilisé pour le calcul des doses de fertilisants.

Référence n° 19

Essai expérimental
Fraises – CIREF – 2001-2002
Pilotage ETM / tarière / tensiomètres

Sol sablo-limoneux, **RU = 30 mm sur 30 cm**

Maraîchage en sol sous tunnel

Fraises (variété Gariguette)

CIREF – Centre Interrégional de recherche et d'expérimentation de la fraise – 24140 Douville

Contact : Alain BARDET (CTIFL) bardet@ctifl.fr

Objectif : Comparaison de trois modes de pilotage : selon l'ETM, à l'aide de sondages à la tarière et à l'aide de tensiomètres

Paramètres suivis : Suivi de l'état hydrique du sol (tensiomètres Watermark), rendements quantitatifs et qualitatifs (acidité, sucre, fermeté)

Références

Guérineau C., Sabbadini C. & Henry H. (2003). Le pilotage de l'irrigation localisée sur fraise : des outils et des usages. *Infos CTIFL* 192 : 44-49.

Goutte-à-goutte de surface

Pilotage à l'ETM

ETM = Kc x ETPserre

Pilotage par sondage à la tarière

- Quotidien en période critique
- Ou 2-3 fois/semaine

Pilotage tensiométrique

Tensiomètres Irrometer LT

(basse tension : de 0 à 40 cb)

- A 15 cm de profondeur sur la butte centrale du tunnel
- A 15 cm sur une butte latérale (afin d'évaluer les remontées hydriques latérales)
- A 30 cm sur la butte principale
- A 50 cm sur la butte principale

Volumes d'eau

Le pilotage par évaluation de l'humidité du sol au sondage à la tarière a permis de bien mener la culture, mais pas d'optimiser les apports qui restent équivalents à ceux basés sur l'ETM (100 mm environ).

Les apports d'eau pilotés par sondes tensiométriques ont été de 60 mm, alors que le pilotage basé sur l'ETM aurait été de 91 mm.

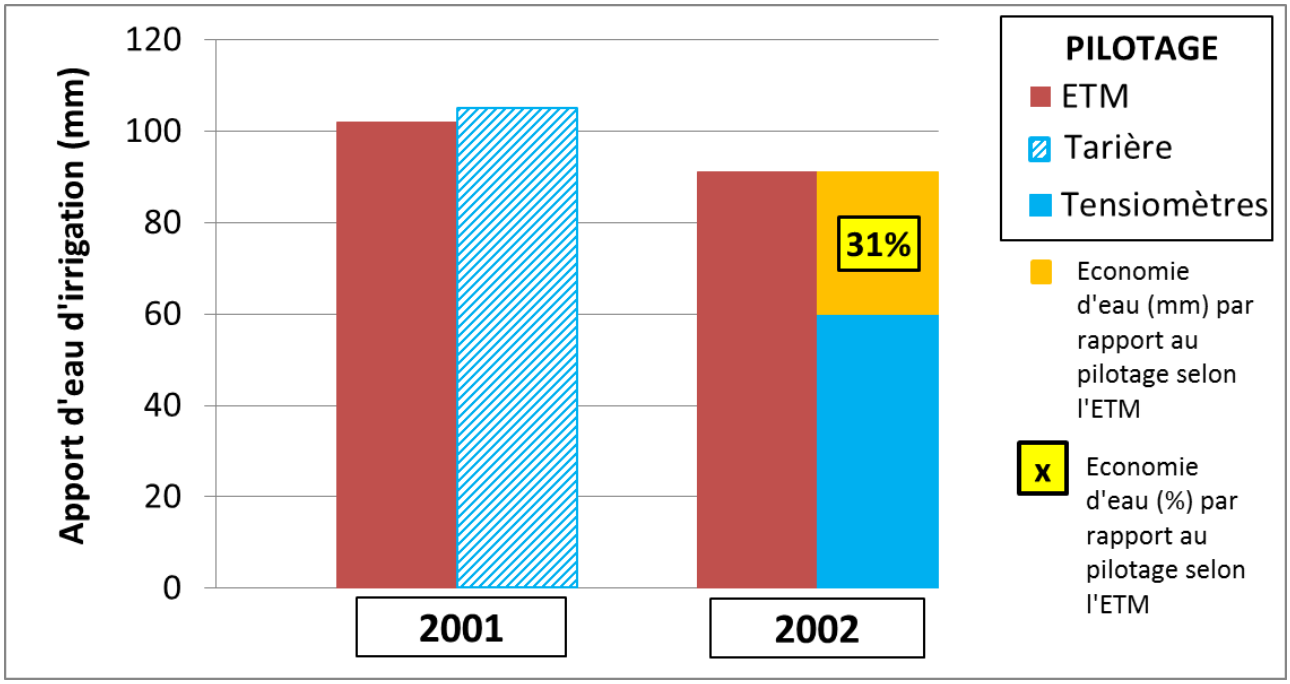
Rendement / qualité

Les rendements commerciaux, tant en pilotage à la tarière qu'au pilotage par sondes tensiométriques, sont satisfaisants (510 et 486 g de fraises/plant en 2001 et 2002 respectivement). La qualité est également jugée correcte.

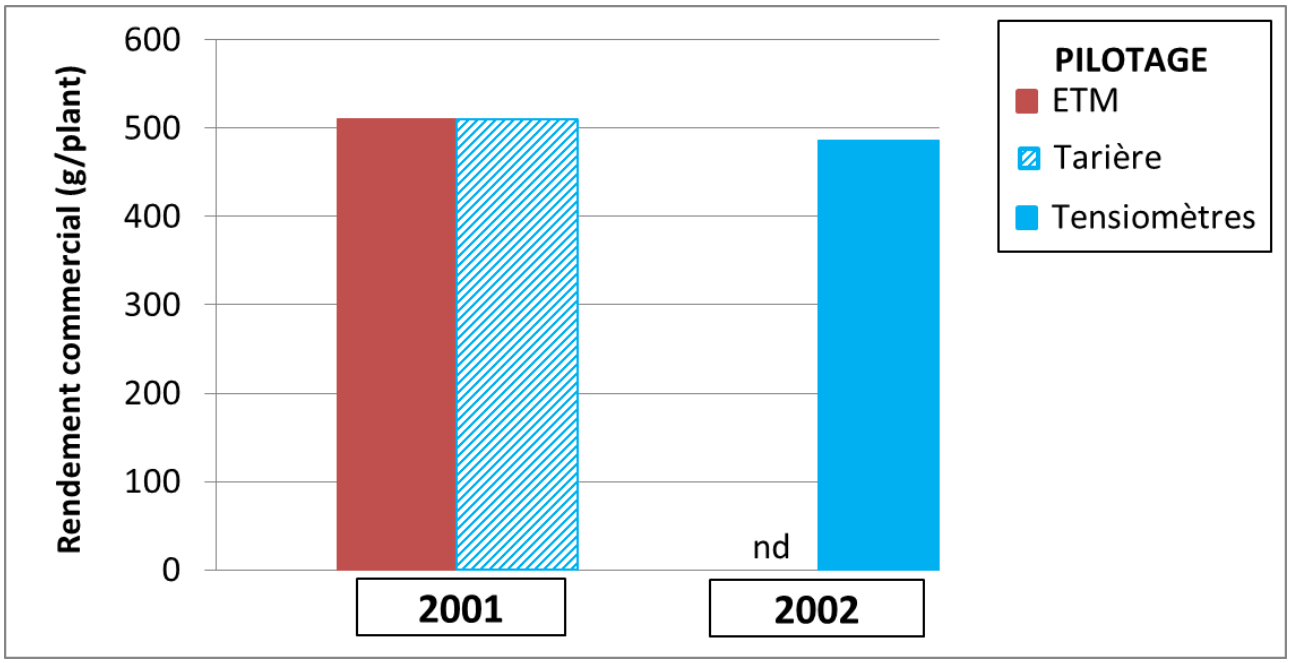
Le pilotage de l'irrigation des fraises Gariguettes par sondage à la tarière n'entraîne pas d'économie d'eau. En revanche, le pilotage par tensiométrie permet de réduire les apports d'eau de 31% par rapport à la référence ETM. D'autres essais sur les variétés Cireine, Cigaline et Darselect montrent une économie d'eau de 20 à 35%.

Résultats – Fraises – CIREF – 2001-2002

Apport d'eau des différents modes de pilotage sur la saison culturale



Rendement des différents modes de pilotage



Le rendement de la modalité ETM 2001 n'a pas été mesuré. Cependant il a été estimé égal à celui du pilotage tarière 2001 puisque les volumes d'eau d'irrigation sont équivalents.

Référence n° 20

Essai expérimental
Fraises – CTIFL – 2013-2014
Pilotage ETM / sondes capacitives

Sol alluvionnaire sablo-limoneux, **RU = 30 mm sur 20 cm**

Maraîchage en sol sous tunnel

Fraise (Donna, Darselect, Ciflorette, Mara des Bois)

CTIFL – Centre Technique Interprofessionnel Fruits et Légumes – Lanxade – 24130 PRIGONRIEUX

Contact : Alain BARDET bardet@ctifl.fr

Objectif : Effet du régime hydrique (quantité d'eau de la plantation à la production) sur les productions de fraisiers en quantité et en qualité
Paramètres suivis : Rendement, qualité (sucre, fermeté, jutosité, acidité, couleur, conservation)

Référence

Bardet, A. & Raynaud, L. (2014). Culture de fraisier en sol - Automatisation de l'irrigation et économies en eau. *Infos CTIFL 307: 60-69.*

Goutte-à-goutte de surface. Gaines T-Tape, goutteurs 1L/h à 0,6-0,7 bars, espacés de 20 cm, gaines entre les rangs de fraisiers

Pilotage à l'ETM

ETM = Kc x ETP

Pilotage humidité du sol

Sondes capacitives

Echo 5 (Decagon) avec transmetteur 4-20 mA

Placées entre les plants et la ligne de goutteurs

Deux seuils de déclenchement

- partie haute de la RU (sonde à 35-40)

= niveau habituellement jugé de confort hydrique

- partie basse de la RU (sonde à 20-25)

= restriction hydrique

Volumes d'eau

En automne 2013, le pilotage avec les sondes d'humidité capacitives a réduit les apports d'eau, par rapport au pilotage à l'ETM, de 57 et 88% pour les seuils de déclenchements correspondant au confort hydrique (haut de la RU) ou à une restriction (bas de la RU). Au printemps 2014, les valeurs d'économie ont augmenté jusqu'à 76 et 90% respectivement.

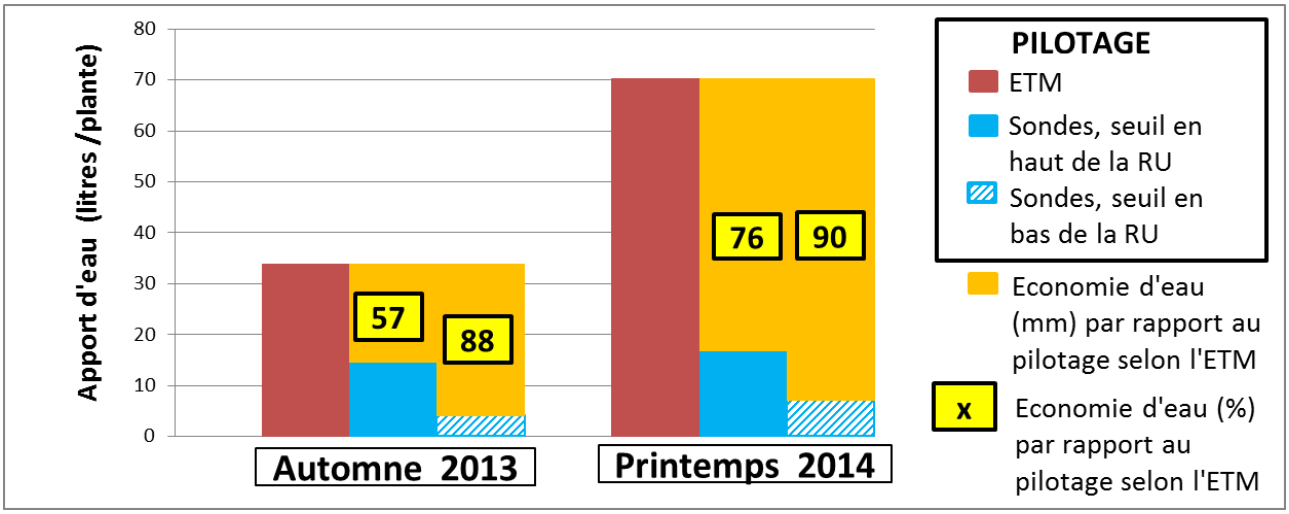
Rendement / qualité

Pour les quatre variétés testées, les rendements commerciaux au seuil de déclenchement de restriction hydrique ne sont pas significativement différents de ceux obtenus en confort hydrique. En outre, la qualité des fruits se trouve améliorée par la restriction en eau.

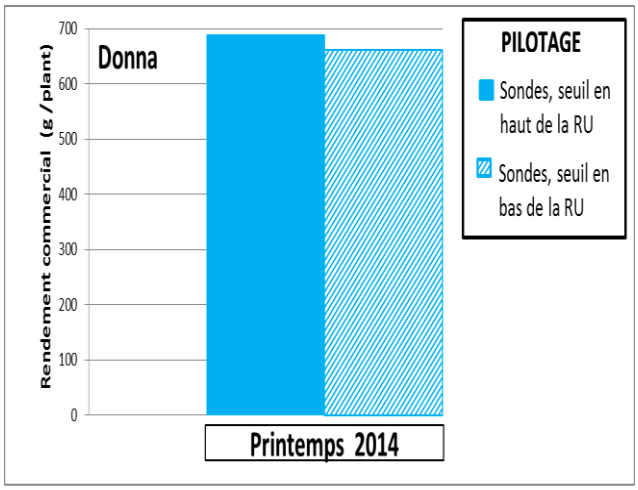
Par rapport au pilotage basé sur l'ETM, le pilotage automatisé de l'irrigation des fraises par sondes capacitives, avec un seuil de déclenchement dans la partie haute de la RU, permet une économie d'eau de 65 % en moyenne. Baisser le seuil de déclenchement de l'irrigation (du haut de la RU vers le bas de la RU) permet d'accroître l'économie jusqu'à 90 %, sans affecter le rendement.

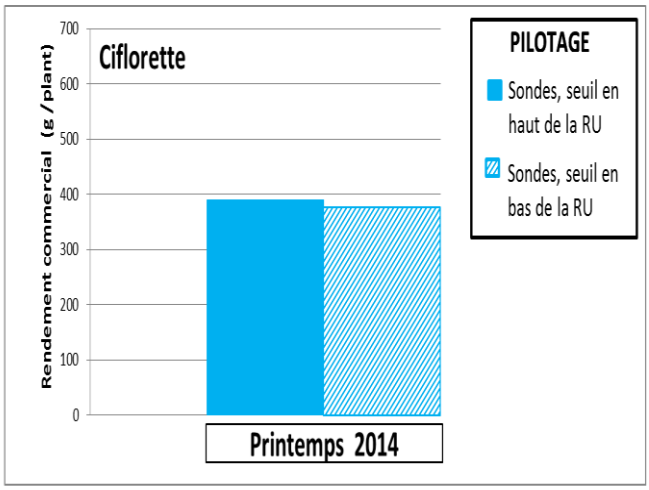
Résultats – Fraises – CTIFL – 2013-2014

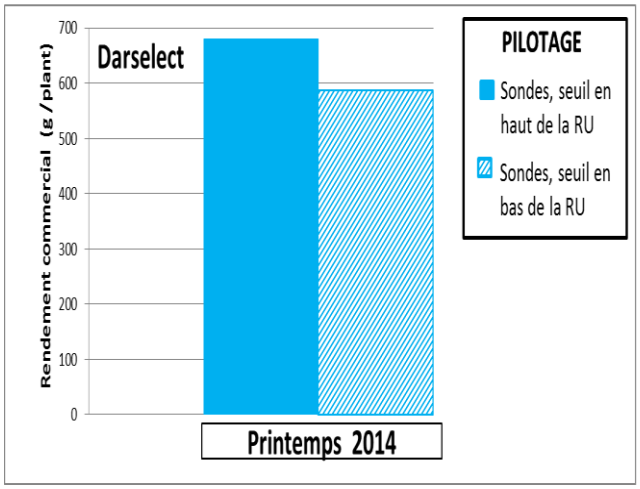
Apport d'eau des différents modes de pilotage

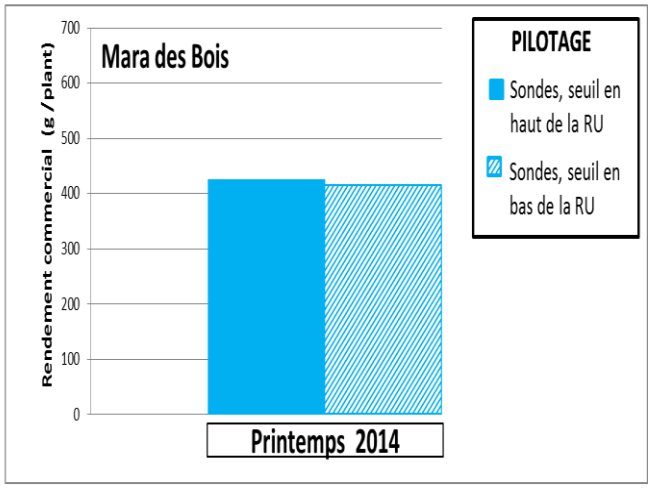


Rendement commercial des différents modes de pilotage pour quatre variété









Référence n° 21

Essai expérimental
Fraises – LCA – 2009-2013
Pilotage ETM / Tensiométrie

Sol sablo-limoneux, **RU = 20 mm** sur 30 cm de profondeur

Maraîchage en sol sous tunnel

Fraises (variétés Darselect et Gariguette)

LCA – **Légumes Centre Actions** – Le Riou – 41250 Tour en Sologne

Contact : Annie GENY annie.geny@loir-et-cher.chambagri.fr

Objectif : Réduire le volume d'eau utilisé pour l'irrigation des variétés de fraise jours courts, sans générer d'incidence sur la qualité des fruits, notamment organoleptique, ou sur le rendement

Paramètres suivis : Mesure de l'état hydrique du sol, rendements quantitatifs, analyse qualitative des fruits (sucre, fermeté, acidité, aptitude à la conservation)

Références

Gény, A. (2009). Fraisiers en sol 2009. Pilotage de l'irrigation sur Darselect et Gariguette. Compte-rendu LCA-CTIFL. Action n° 8 01 02 69
Gény, A. (2010). Fraisiers jours courts en sol 2010. Pilotage de l'irrigation sur Darselect et Gariguette. Compte-rendu LCA-CTIFL.Gény, A., Guichardon, J. M. & Roy, G. (2011). Compte-rendu d'essai. Fraisiers en sol : Optimisation de l'irrigation. Compte-rendu LCA-CTIFL.
http://www.legumes-centre.fr/sites/default/files/page/documents/11-fr-frai-sol-2005.01-irrigation.pdf
Gény, A. & Guichardon, J. M. (2012). Compte-rendu d'essai. Fraisiers en sol : Irrigation. Compte-rendu LCA-CTIFL.
http://www.legumes-centre.fr/sites/default/files/page/documents/12-fr-frai-s-22.2005.01-irrigation.pdf
Gény, A. & Guichardon, J. M. (2013).Compte-rendu d'essai. Fraisiers en sol : Optimisation des irrigations. Compte-rendu LCA-CTIFL.
http://www.lca-legumes.fr/sites/default/files/page/documents/13-fr-frai-s-2005.01-irrigation.pdf

Goutte-à-goutte enterré

T-Tape RIVULIS - 1L/h - 25 cm entre les goutteurs - profondeur 5-10 cm

Pilotage à l'ETM

Modalités d'irrigation

- 100% ETM
- 50% ETM
- 30% ETM

Pilotage tensiométrique

Sondes Watermark à 20 et 40 cm de profondeur

Seuils de déclenchement de l'irrigation :

- **20-40** : 20 cbars à 20 cm de profondeur et 40 cbars à 40 cm de profondeur
- **35-55** : 35 cbars à 20 cm de profondeur et 55 cbars à 40 cm (ou 40 et 60 cbars en 2009)

Volumes d'eau

L'irrigation à 50 et 30% de l'ETM permet bien entendu d'économiser 50 à 70% d'eau environ.
Le seuil de déclenchement 20-40 cbars ne diminue pas les volumes d'eau apportés, sauf en 2011 (18% d'économie).
Le seuil plus restrictif de 35-55 cbars limite les apports d'eau de 8 à 42% (25% en moyenne).

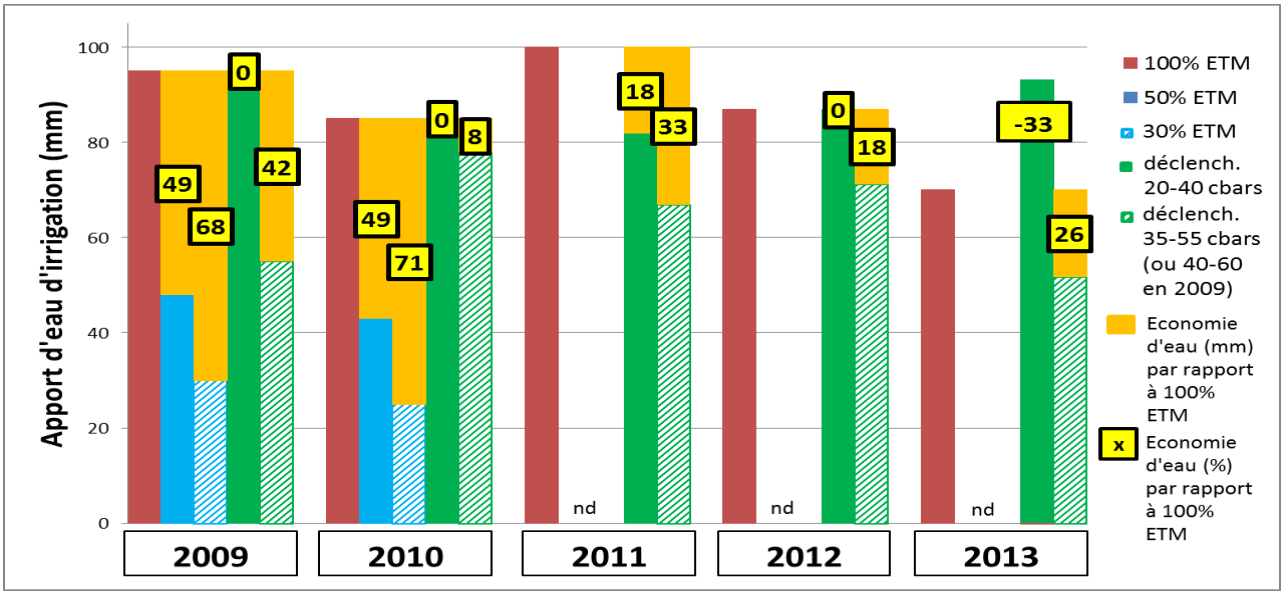
Rendement / qualité

Le pilotage à 50 et 30% de l'ETM entraîne une forte diminution de rendement (jusqu'à 67%).
Entre les modalités 20-40 et 35-55 cbars, les rendements ne sont pas significativement différents, hormis chez la variété Gariguette en 2009 et 2012 pour laquelle la modalité 35-55 cbars (ou 40-60 cbars) a diminué le rendement de 10% environ.
Les critères qualitatifs étudiés sont globalement équivalents pour toutes les modalités.

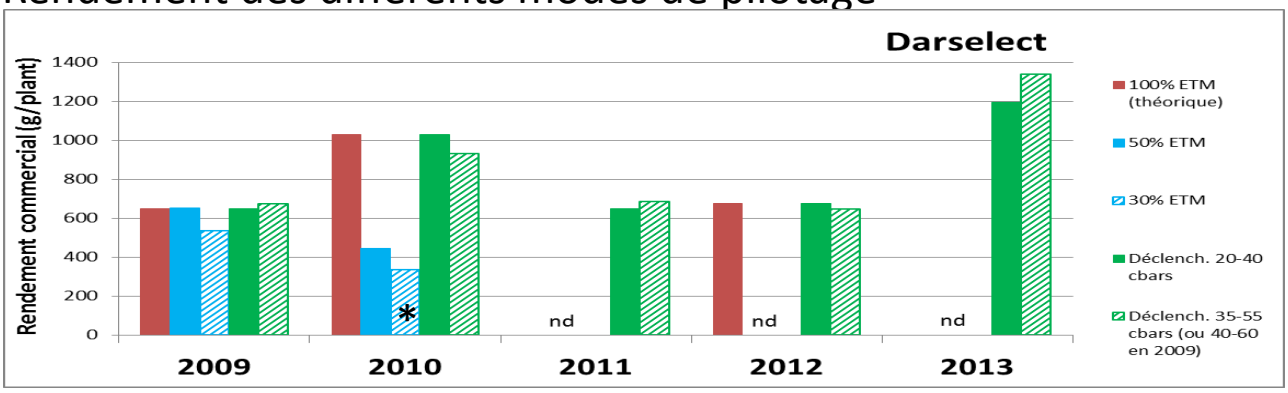
Le pilotage à 50 et 30% de l'ETM entraîne de trop fortes chutes de rendement. Le pilotage par sondes tensiométriques au seuil de déclenchement le plus sévère (35-55 cbars) permet de réaliser une économie d'eau de 8 à 42% (25% en moyenne) par rapport au pilotage à 100% de l'ETM, en maintenant le plus souvent le niveau de rendement et la qualité des fraises.

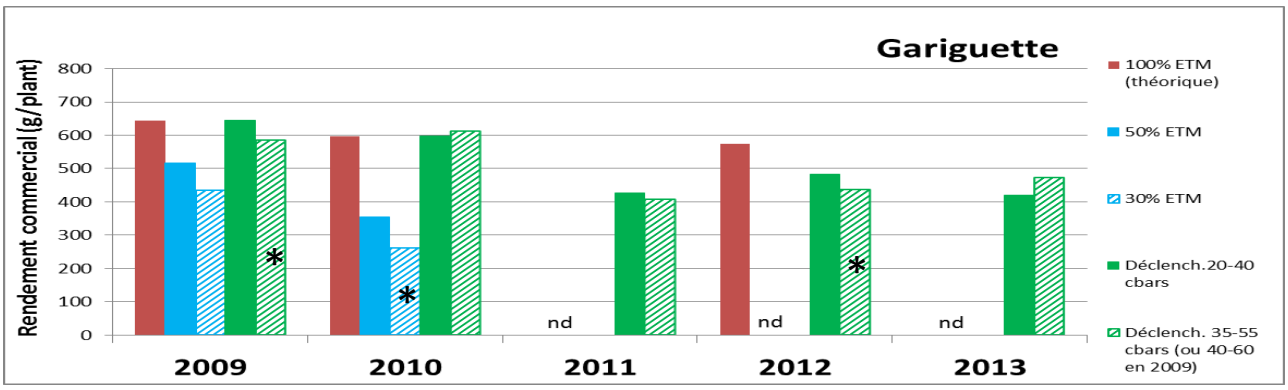
Résultats – Fraises – LCA – 2009-2013

Consommation en eau des différents modes de pilotage



Rendement des différents modes de pilotage





* Baisse de rendement significative par rapport à l'autre modalité du même type de pilotage.

Le rendement de la modalité irrigation 100% ETM a été estimé égal à celui du déclenchement 20-40 cbars quand l'économie d'eau à 20-40 cbars est nulle (même volume d'eau pour la modalité 20-40 cbars que pour 100% ETM).

En 2013, la modalité 20-40 cbars a consommé 33% d'eau supplémentaire par rapport à la modalité théorique à 100% de l'ETM. Le printemps très pluvieux a entraîné des remontées capillaires dans les buttes, à l'origine d'une sur-irrigation.

Référence n° 22

Essai expérimental
Poireaux – LCA – 2011-2012
Pilotage Tensiomètres / Sondes capacitives

Sol sablo-limoneux, **RU = 20 mm** sur 30 cm de profondeur

Légumes de plein champ

Poireaux (variété d'automne Belton)

LCA – Légumes Centre Actions – Le Riou – 41250 Tour en Sologne

Contact : Christophe FLEURANCE christophe.fleurance@loir-et-cher.chambagri.fr

Objectif : • Tester l'effet d'une réduction de l'irrigation en période estivale (juillet/août) sur un poireau d'automne (plantation fin juin/début juillet, récolte à l'automne)
• Tester l'effet d'une limitation des apports azotés en parallèle d'une réduction de l'alimentation hydrique
• Tester le pilotage à l'aide de sondes capacitives en 2012
Paramètres suivis : Rendement, poids, diamètre, longueur de fût, couleur des feuilles

Références

Marques, R. (2011).Compte-rendu d'essai. Poireau : Irrigation et fertilisation azotée. Compte-rendu LCA - CTIFL
http://www.lca-legumes.fr/sites/default/files/page/documents/2011-irrigation-et-fertilisation-azotee.pdf
Marques, R. (2012).Poireau : Pilotage de l'irrigation à l'aide de sondes. Compte-rendu LCA -CTIFL
http://www.legumes-centre.fr/sites/default/files/page/documents/12-fr-poir-200607-irrigation.pdf

Aspersion - Rampes oscillantes déboîtables

Pilotage tensiomètres

Sondes Watermark à 20 et 40 cm de profondeur
Trois seuils de déclenchement de l'irrigation :
• 30 cbars : irrigation non-restrictive
• 50 cbars en juillet-août, 30 cbars en septembre-octobre : restriction en été
• 50 cbars : restriction permanente

Pilotage sondes capacitives

Sentek Triscan (Agralis)

Volumes d'eau

Pilotage par tensiomètres. En 2011 (été pluvieux), la restriction d'irrigation en été (30-50 cbars) ne permet pas d'économie d'eau mais réduit de 2 le nombre de passages. La restriction permanente (50 cbars) permet d'économiser 35% d'eau et 5 passages. En 2012 (juillet et octobre pluvieux), l'économie d'eau est de 38 et 49%, le nombre de passages supprimés 1 et 2 respectivement.
Pilotage par sondes capacitives. Les apports d'eau sont réduits de 36% et le nombre de passages est réduit de 2.

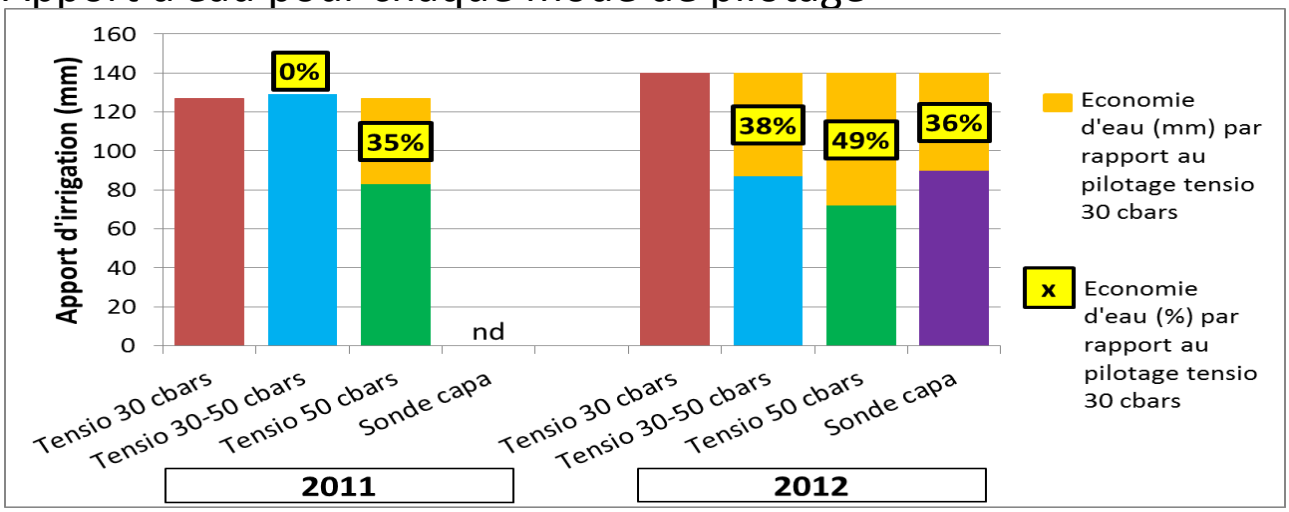
Rendement / qualité

Les économies d'eau et de passages en été sont sans aucun préjudice sur la production du poireau d'automne en terme de poids, diamètre, longueur de fût et couleur du feuillage.

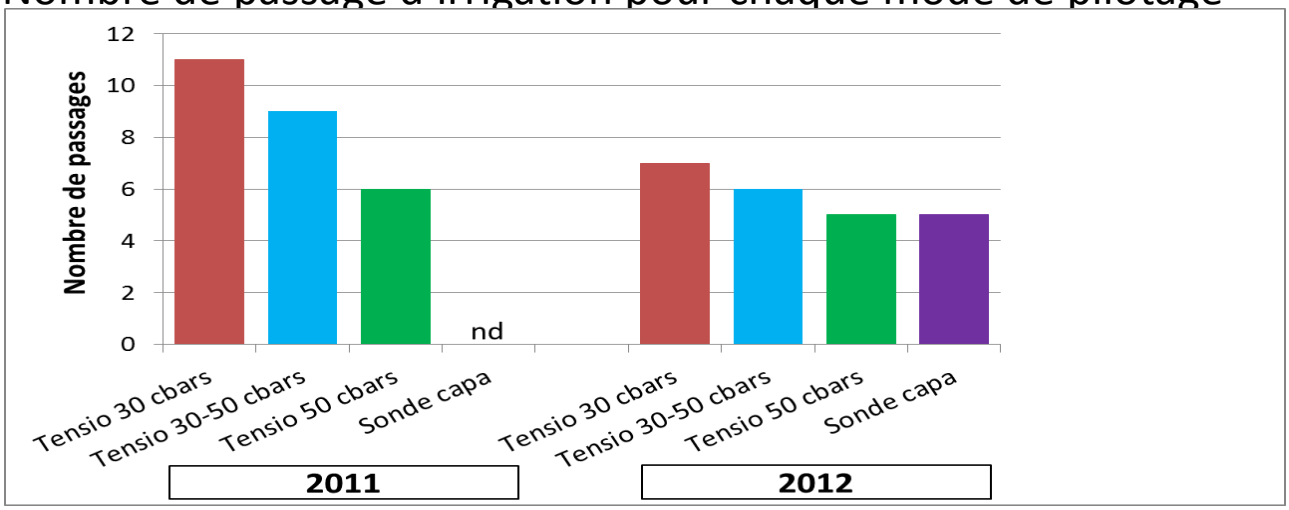
Lors d'étés pluvieux, et sans impact sur le rendement, le pilotage par sondes tensiométriques permet une conduite restrictive de l'irrigation. Au seuil de déclenchement restrictif en été (30-50 cbars), l'économie d'eau réalisée est de 0-38% ; au seuil restrictif en permanence (50 cbars), l'économie est de 35-49%. Le nombre de passages est également réduit.
Avec le pilotage par sondes capacitives l'économie d'eau est de 36%, équivalente au pilotage avec tensiomètres en conduite restrictive en été.

Résultats – Poireaux – LCA – 2011-2012

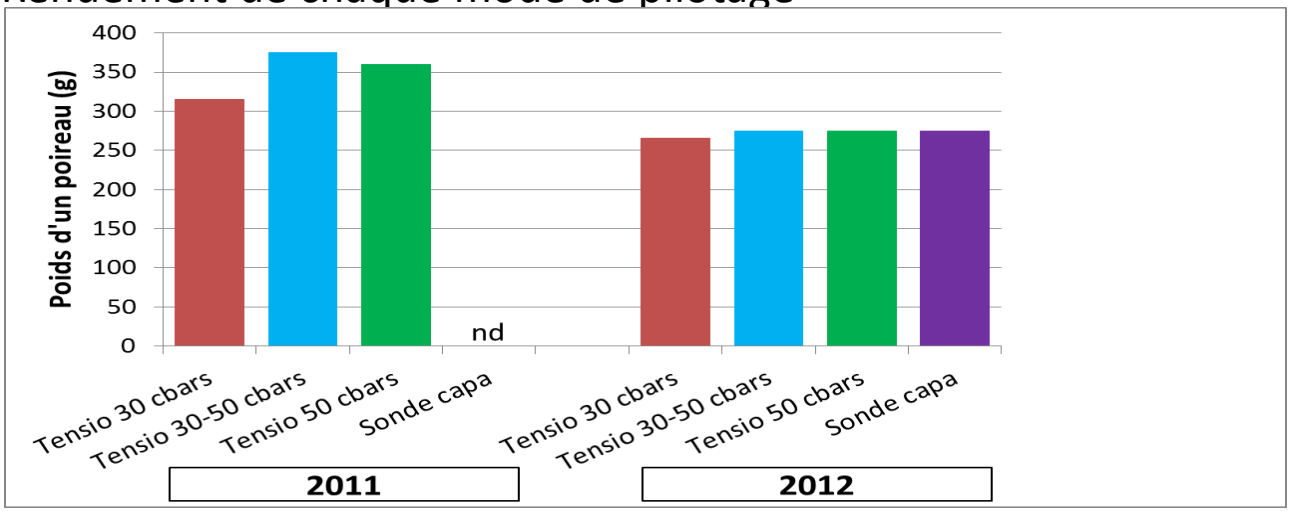
Apport d'eau pour chaque mode de pilotage



Nombre de passage d'irrigation pour chaque mode de pilotage



Rendement de chaque mode de pilotage



Référence n° 23

Suivi de pratiques d'agriculteurs
Maïs – Semenciers du Sud (Gard) – 2006
Couverture intégrale / Goutte-à-goutte de surface

Type de sol et RU inconnus

Grandes cultures

Maïs

Semenciers du Sud – 34897 LATTES CEDEX

Contact : Nicolas DAUDE nicolasdaudesams34@hotmail.fr

Objectif : Evaluation comparative de différents systèmes d'irrigation: goutte-à-goutte et couverture intégrale selon diverses modalités et 2 types de castration différents.
Paramètres suivis : Rendements et consommation d'eau d'irrigation à des débits et écartements de goutteurs différents

Référence
Chambre d'agriculture du Languedoc-Roussillon, Journée Régionale Grandes Cultures Semences, Présentation Semenciers du Sud, Montpellier, 17 Juin 2009

Couverture intégrale (CI)	Goutte-à-goutte surface (GGS)	Goutte-à-goutte surface (GGS)	Goutte-à-goutte surface (GGS)
	T-Tape 1l/h Ecartement des goutteurs: 20cm	NAANTIF 2l/h Ecartement des goutteurs: 40cm	NAANTIF 4l/h Ecartement des goutteurs: 80cm

Pilotage : pas d'informations

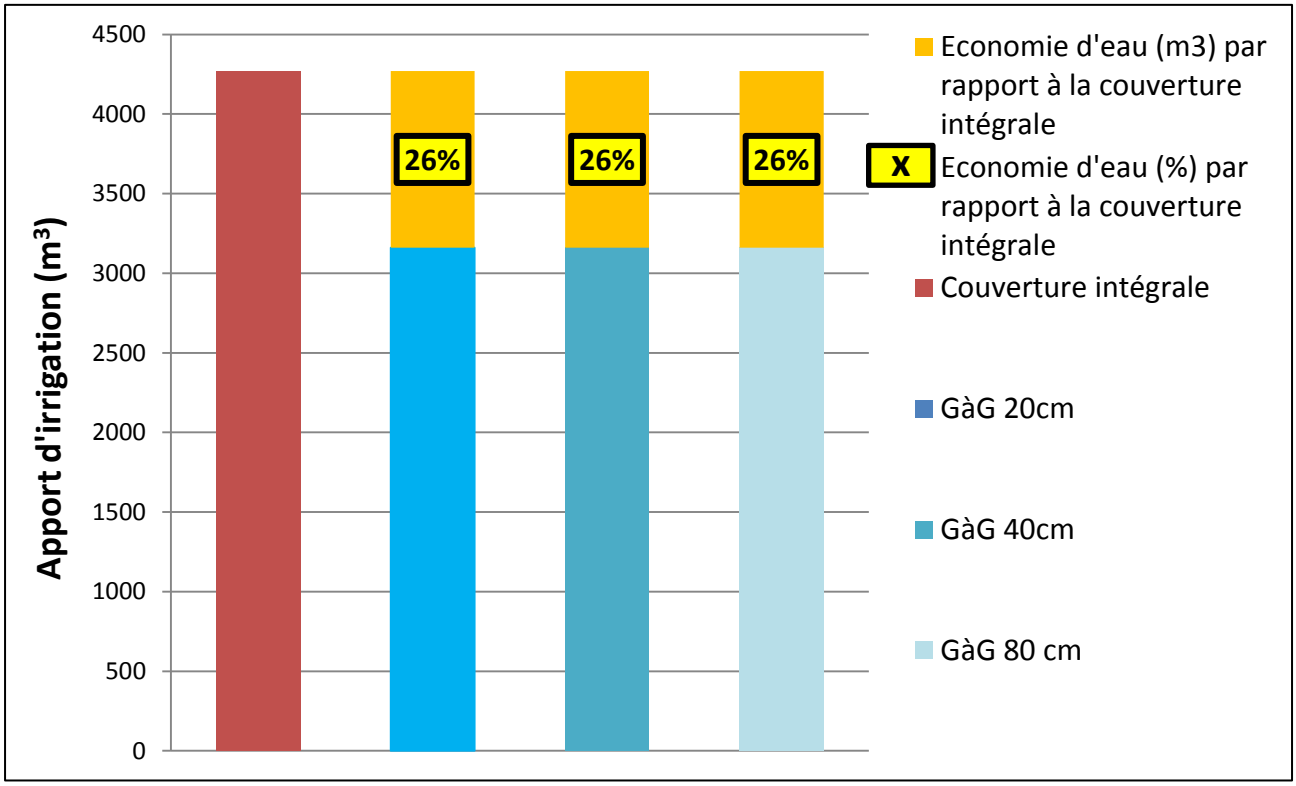
Volumes d'eau
Les quantités d'eau apportées sur les 3 parcelles en GGS ont été volontairement identiques pour les 3 espacements de goutteurs (20, 40 et 80 cm). Les parcelles en GGS reçoivent 26% de moins d'eau que la parcelle en couverture intégrale.

Rendement
Le rendement en GGS avec 20 cm entre les goutteurs est équivalent à celui obtenu en aspersion. On observe une légère baisse des rendements (-7%) sur les parcelles avec 40 ou 80 cm entre les goutteurs, mais on ne sait pas si elle est significative.

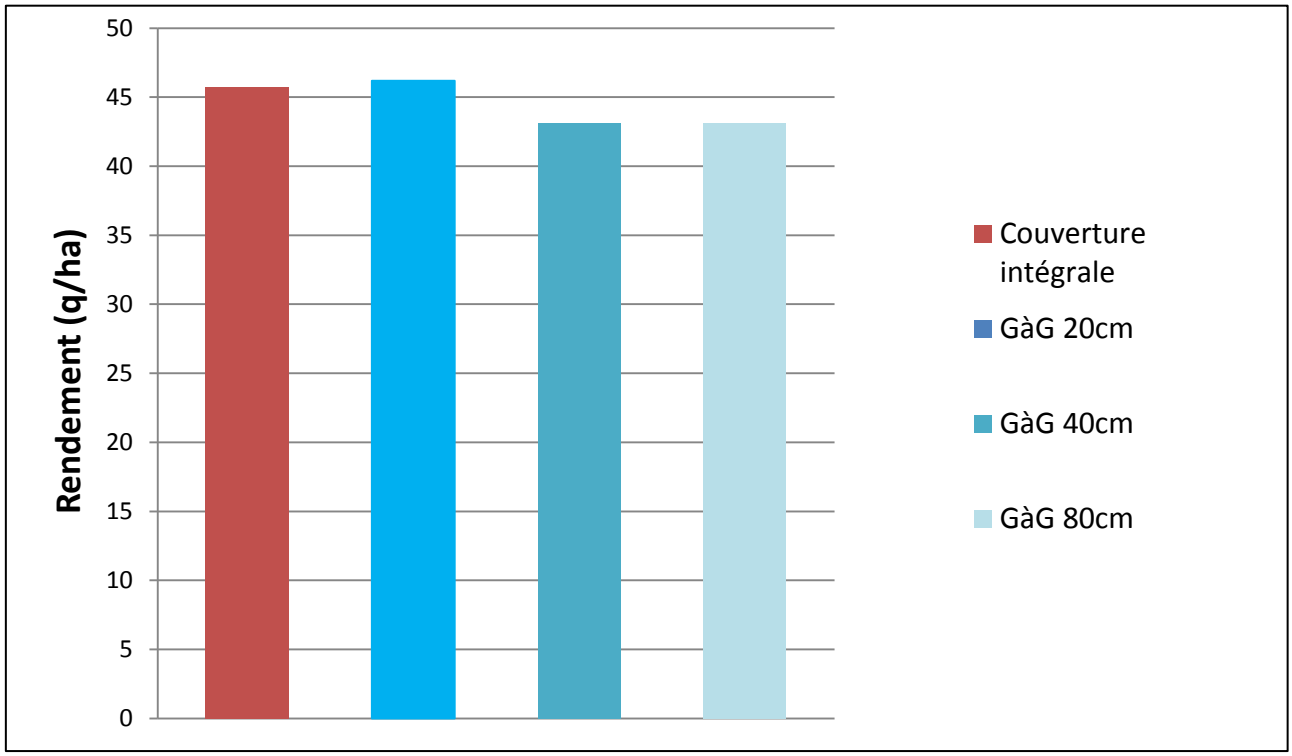
L'économie d'eau réalisée sur les parcelles en goutte-à-goutte de surface est de 26% par rapport à l'irrigation par couverture intégrale, sans baisse de rendement pour l'espacement entre goutteurs de 20 cm.

Résultats – Maïs – Semenciers de Sud (Gard) – 2006

Apport d'irrigation sur la campagne 2006



Rendement sur la campagne 2006



Référence n° 24

Suivi de pratiques d'agriculteurs
Maïs – CA Isère – 2003-2015
Enrouleur / Pivot basse pression

Sol de graviers, **RU = 85 mm**

Sol de limons, **RU = 150 mm**

Grandes cultures

Maïs

Chambre d'Agriculture de l'Isère – 38200 VIENNE

Contact : Nathalie JURY nathalie.jury@isere.chambagri.fr

Objectif : Comparer les données de consommation en eau durant 13 années consécutives chez deux producteurs de l'Isère :

- Sol de graviers (RU 85 mm), secteur Bièvre Est, 2 parcelles juxtaposées, même conduite d'irrigation
- Sol de limons (RU 150 mm), secteur Bièvre Ouest-Vallée du Rhône, 2 parcelles très proches, mais peut-être conduite différente

Paramètres suivis : Relevés de compteurs

Références

Jury, N. (2016). Procédure d'autorisation annuelle .

Aspersion
Enrouleur

⟷

Aspersion
Pivot basse pression

Volumes d'eau

13 années de relevés de compteurs

Sur le sol de graviers, à RU modérée, les apports d'irrigation s'élèvent en moyenne à 276 mm/an pour l'enrouleur et 233 mm/an pour le pivot, soit une économie d'eau de **16%** réalisée avec le pivot.

Sur sol de limons, à RU élevée, les consommations sont moindres. 196 mm/an ont été apportés avec l'enrouleur contre 146 mm/an avec le pivot, soit une économie d'eau de **26%** réalisée avec le pivot. Cependant, sur ce type de sol, la conduite d'irrigation peut éventuellement différer entre les deux systèmes.

Rendement / qualité

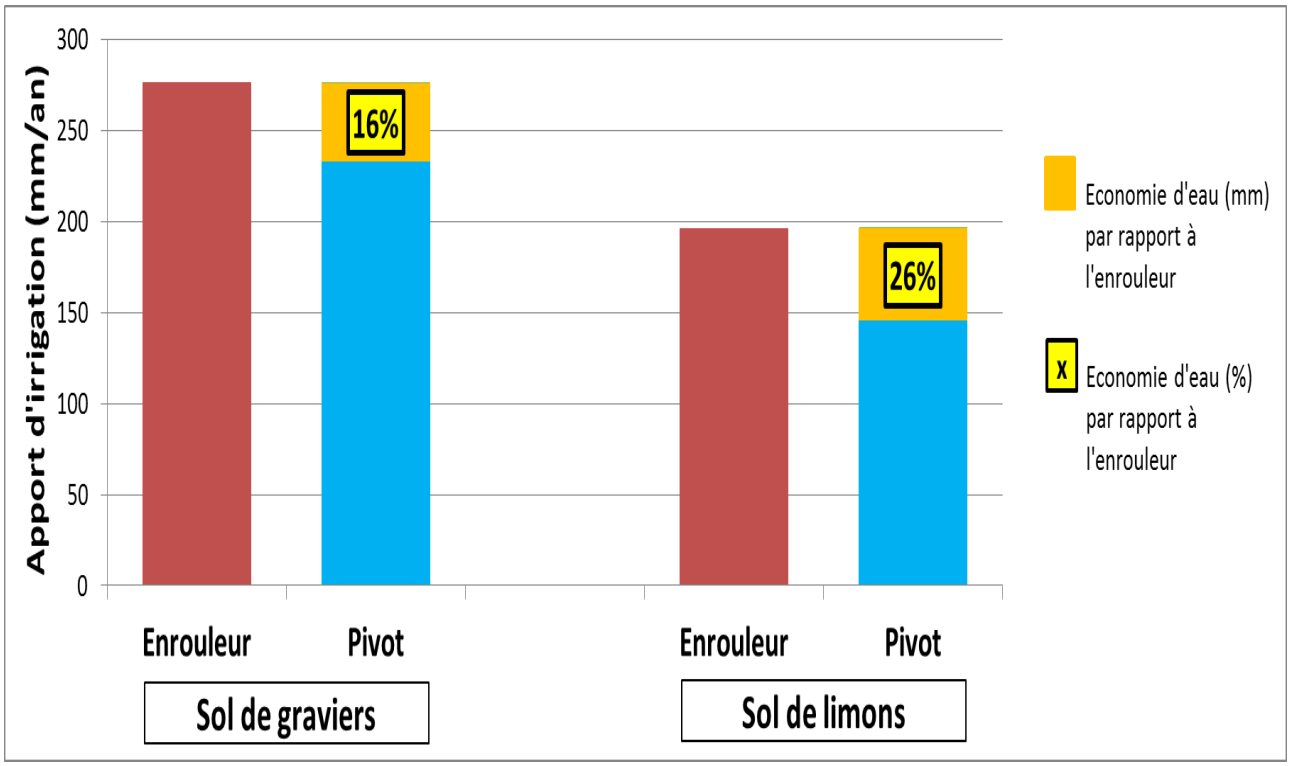
Pas de données chiffrées mais, à dire d'expert, les rendements sont au moins équivalents en pivot basse pression à ceux obtenus avec l'enrouleur.

En outre, sur sol de limons, les observations de terrain montrent que le système basse pression réduit considérablement les problèmes de ruissellement et de tassement des sols.

Sur une période de 13 années, par rapport à l'enrouleur, le pivot basse pression permet une économie d'eau de 16% en sol à RU modérée et 26 % en sol à RU plus importante.

Résultats – Maïs – CA Isère – 2003-2015

Apport d'irrigation (moyenne de 2003 à 2015)



Référence n° 25

Suivi de pratiques d'agriculteurs
Maïs – ASIA – 2016
Enrouleur / Pivot basse pression

Sol de graviers, **RU = 30-60 mm**

Grandes cultures

Maïs

ASIA - Association Syndicale d'Irrigation de l'Ain - 01330 VILLARS LES DOMBES

Contact : Fabien THOMAZET fabien.thomazet@ain.chambagri.fr

Objectif : Comparer les données de consommation en 2016 chez quatre producteurs de l'Ain (exploitations n°1 à 3 : communes de Saint-Vulbas ; exploitation n°4 : commune de Loyettes)
Paramètres suivis : Relevés de compteurs

Références

Thomazet, F. (2016). Communication personnelle.

Aspersion
Enrouleur

Exploitation n°1 : plusieurs enrouleurs sur 53 ha
Exploitation n°2 : plusieurs enrouleurs sur 51 ha
Exploitation n°3 : 1 enrouleur sur 13 ha
Exploitation n°4 : 4 enrouleurs sur 57 ha

Aspersion
Pivot basse pression

Exploitation n°1 : 1 pivot sur 43 ha
Exploitation n°2 : 1 pivot sur 65 ha
Exploitation n°3 : 1 pivot sur 23 ha
Exploitation n°4 : 2 pivots sur 73 ha

Volumes d'eau

En 2016 (été sec), dans les exploitations n°1, 3 et 4, les apports d'eau d'irrigation sont moins importants sous pivot que sous l'enrouleur de 4%, 7% et 10% respectivement. Dans l'exploitation n°2, les volumes apportés sont comparables.
Il faut cependant noter que certaines de ces parcelles présentent des formes ou des contraintes particulières entraînant de nombreuses zones de recoupement et donc une hausse importante de la dose moyenne apportée à l'hectare.

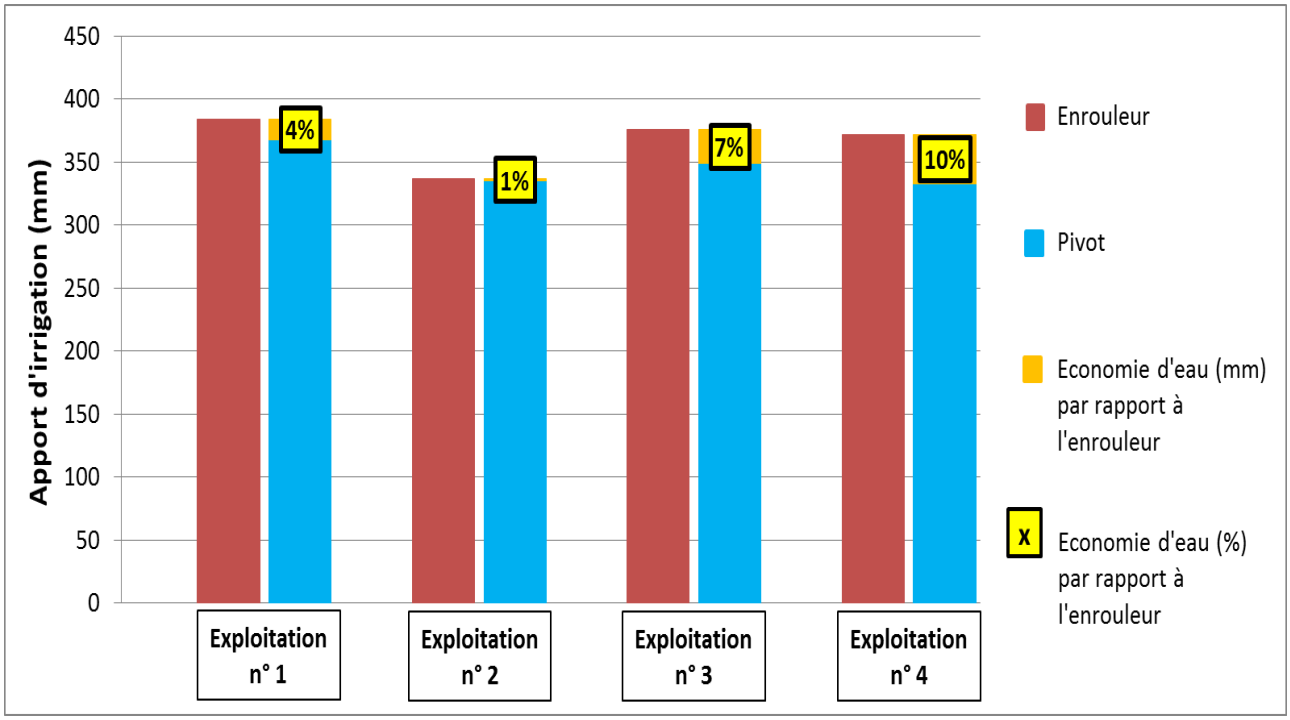
Rendement / qualité

Données non-renseignées

En 2016, par rapport à l'enrouleur, le pivot basse pression permet une économie d'eau pouvant aller jusqu'à 10%.

Résultats – Maïs – CA Ain – 2016

Apport d'irrigation sur la campagne 2016



Référence n° 26

Suivi de pratiques d'agriculteurs
Maïs – CA Tarn – 2014-2015
Enrouleur / Couverture intégrale / Goutte-à-goutte

RU = 227 mm (Parisot) et **RU = 144 mm (Montdragon)**

Grandes cultures

Maïs grain et semence

Chambre d'Agriculture du Tarn – 81000 ALBI

Contact : Hugo GABRIEL h.gabriel@tarn.chambagri.fr

Objectif : Comparer les données de consommation en 2014-2015 chez deux producteurs de maïs du Tarn (communes de Parisot et Montdragon)
Paramètres suivis : Doses d'irrigation apportées, eau dans le sol (tensiométrie), rendement

Références

- Gabriel, H. (2015). Essai comparatif de l'irrigation par goutte-à-goutte et enrouleur sur maïs semences – Campagne 2014. Rapport Chambre d'Agriculture du Tarn.
- Gabriel, H. (2016). Communication personnelle.

Aspersion
Enrouleur
Commune de Parisot (maïs semence)

⟷

Goutte-à-goutte
Semi-enterré (GGSE)
Profondeur : quelques cm

Aspersion
Couverture intégrale
Commune de Montdragon (maïs grain)

⟷

Goutte-à-goutte
Surface (GGS)

Pilotage tensiométrique
Sondes à 30 et 60 cm de profondeur, télétransmetteur de données GSM

Volumes d'eau

En 2014, campagne particulièrement pluvieuse, les apports d'eau sont 3 à 4 fois plus faibles qu'en année moyenne. Dans ce contexte, ils ont été réduits de 18 mm, soit 20% à Parisot en GGSE par rapport à l'enrouleur. Ce résultat n'est cependant pas représentatif de toutes les années.
En 2015, année chaude et sèche, les apports d'eau sont supérieurs en GG par rapport à l'aspersion chez les deux producteurs (+22% à Parisot et +48% à Montdragon). Ceci pourrait s'expliquer, à Montdragon, par une installation tardive du matériel GG sur la parcelle, et donc des apports conséquents en démarrage d'irrigation.

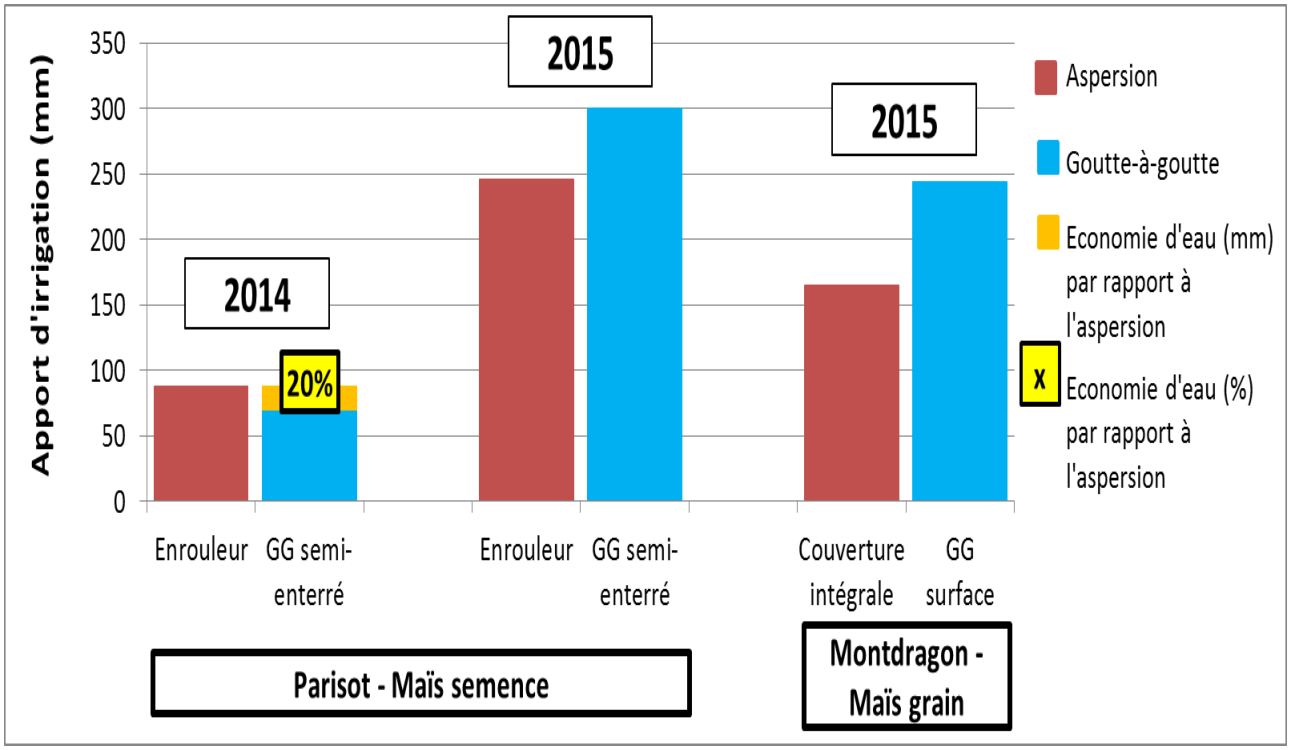
Rendement

Les rendements sont équivalents entre le goutte-à-goutte et l'aspersion.

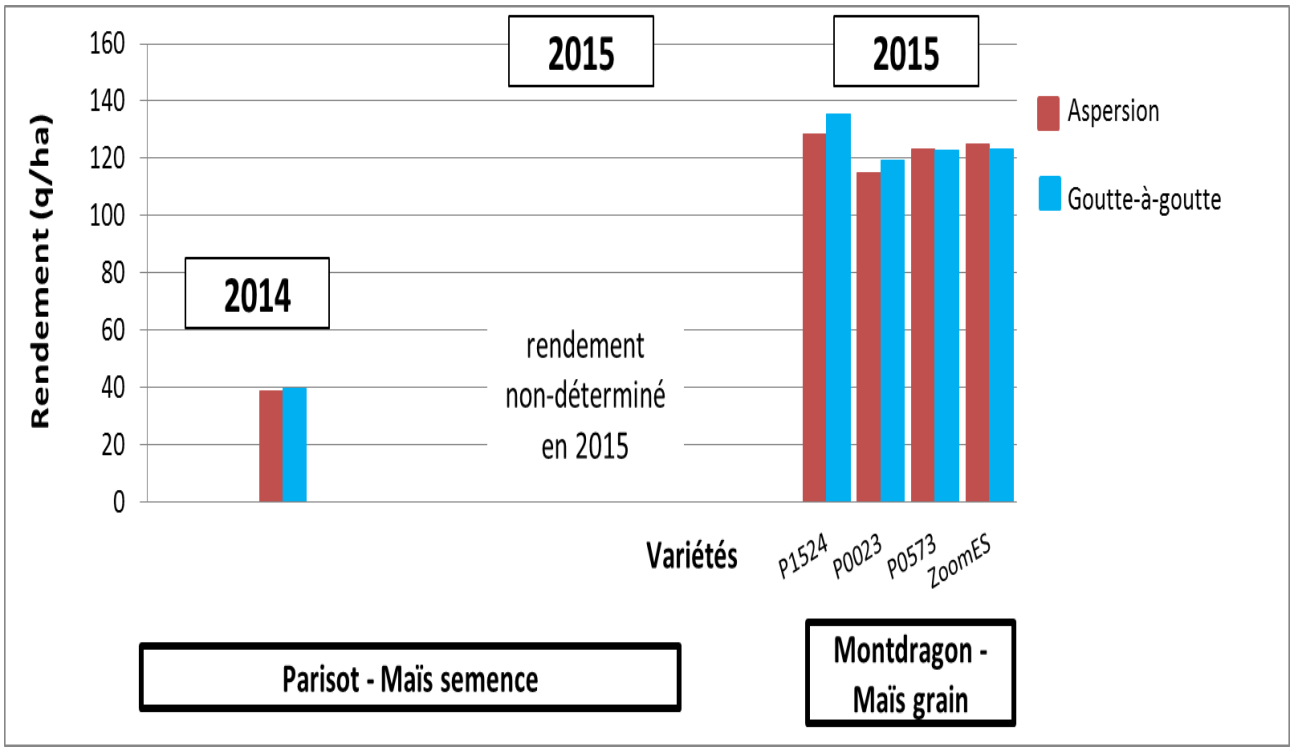
En année pluvieuse (2014), le goutte-à-goutte a permis une économie d'eau de 20% sans baisse du rendement sur une parcelle. Compte tenu des apports d'eau très réduits en 2014, ce résultat ne peut être considéré comme représentatif. Il n'est pas reproductible en année sèche (2015) où les apports ont été plus conséquents sur goutte-à-goutte que sur systèmes d'aspersion.

Résultats – Maïs – CA Tarn – 2014-2015

Apport d'irrigation sur les campagnes 2014 et 2015



Rendement sur les campagnes 2014 et 2015



Référence n° 27

Suivi de pratiques d'agriculteurs
Maïs – Limagrain – 2015-2016
Enrouleur / Goutte-à-goutte de surface

RU de 90 à 150 mm

Grandes cultures

Maïs semoulier ou semence

Limagrain – 63360 SAINT-BEAUZIRE

Contact : Benjamin NOWAK Benjamin.NOWAK@limagrain.com

Objectif : Comparer les données de consommation en 2015 et 2016 chez trois producteurs de maïs du Puy de Dôme (communes de Gignat, Thuret et Vic-le-Comte)
Paramètres suivis : Relevés de compteurs, rendements

Référence
Nowak, B. (2016). Communication personnelle.

Aspersion
Enrouleur

Goutte-à-goutte
de surface (GGS)
Netafim

2015 - Gignat
Sol argilo-calcaire moyen
RU 120 mm
Maïs semoulier
GGS à usage unique

2016 - Thuret
Sol argilo-calcaire profond
RU 150 mm
Maïs semence
GGS à usage unique

2016 - Vic-le-Comte
Limon sableux caillouteux
RU 90 mm
Maïs semence
GGS réutilisable

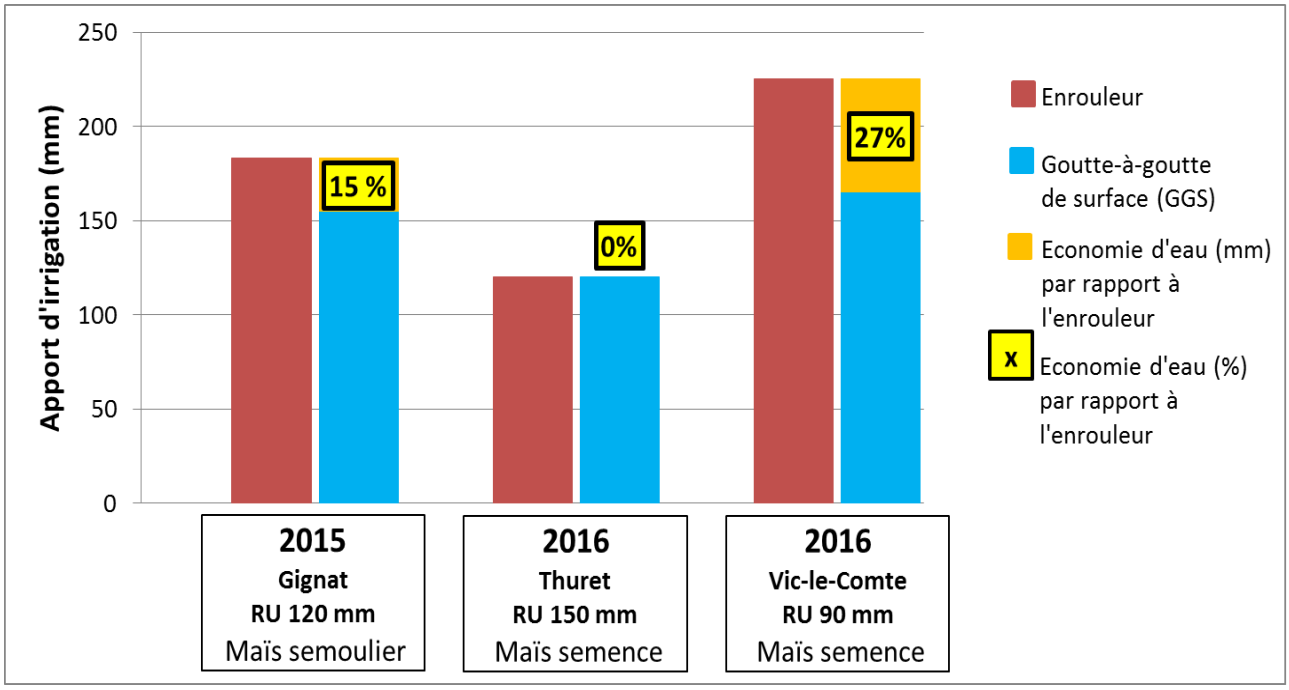
Volumes d'eau
En 2015, l'agriculteur de Gignat consomme 15% d'eau en moins en goutte-à-goutte qu'avec l'enrouleur. En 2016, sur l'exploitation de Thuret, les volumes d'eau apportés sont identiques. En 2016, à Vic-le-Comte, les apports en goutte-à-goutte sont de 27% inférieurs aux apports avec l'enrouleur.

Rendement
En 2015 à Gignat, malgré apports d'eau moins importants, le rendement en goutte-à-goutte est de 17 q/ha supérieur à celui de l'enrouleur. En 2016 à Vic-le-Comte, les apports sont également plus faibles en goutte-à-goutte, mais le rendement est légèrement diminué (- 5 q/ha).

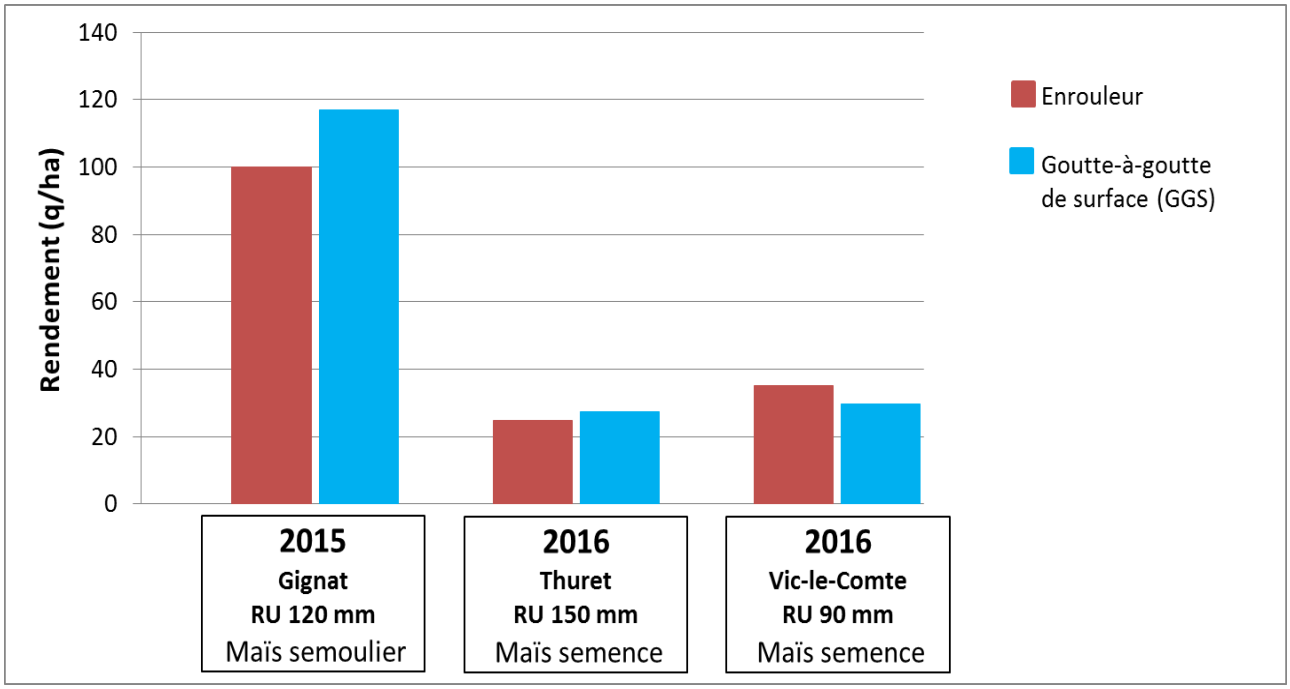
Par rapport à l'enrouleur, le goutte-à-goutte permet une économie d'eau de 0 à 27%, selon les pratiques des irrigants, sans baisse, ou avec une légère réduction, du rendement du maïs.

Résultats – Limagrain – 2015-2016

Apport d'irrigation sur les campagnes 2015 et 2016



Rendement sur les campagnes 2015 et 2016



Référence n° 28

Suivi de pratiques d'agriculteurs
Blé dur - Pois – SCP – 2015-2016
Aspersion / Goutte-à-goutte enterré

Roumoules : sol filtrant, pierreux, sans remontées capillaires
RU blé = 45 mm
RU pois = 35 mm

Reillanne : sol à texture équilibrée, avec remontées capillaires
RU blé = 145 mm

Grandes cultures

Blé dur, Pois

SCP - Le Tholonet - 13 182 AIX-en-PROVENCE
Contact : Jean-Vincent HECKENROTH Jean-Vincent.HECKENROTH@canal-de-provence.com

Objectif : Etudier la faisabilité et les performances technologique et agronomique de l'irrigation de grandes cultures en goutte-à-goutte enterré
Paramètres suivis : Consommation en eau, rendements

Référence
Heckenroth, J.V. (2016). Communication personnelle

Pilotage :

Aspersion ⟷ **Goutte-à-goutte enterré (GGE)**
Débit goutteurs 0,6 L/h
Espacement entre lignes 90 cm
Espacement entre goutteurs 50 cm

Volumes d'eau

Le GGE s'est avéré peu adapté au sol de Roumoules en culture annuelle, compte tenu de l'état de compactage du sol freinant la pénétration des racines dans l'horizon superficiel, et de la remontée de pierres pénalisant le semis. Une irrigation complémentaire par aspersion a même été nécessaire sur le pois pour relancer la culture en début de saison. La consommation en eau sur blé dur a été supérieure de 48% en GGE par rapport à l'aspersion. Une faible économie d'eau (7%) a pu être réalisée sur le pois en GGE. Le sol de Reillanne semble plus propice, même si la consommation en eau en GGE sur blé dur a été identique à celle de l'aspersion.

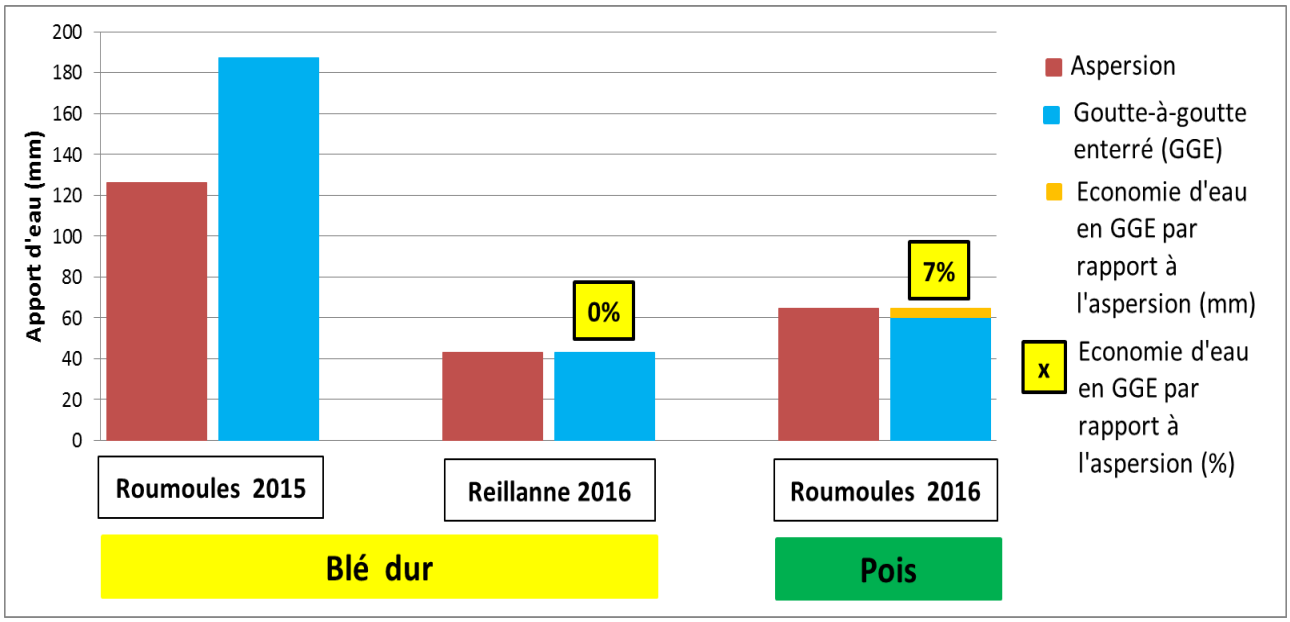
Rendement / qualité

Pour les deux essais blé dur et l'essai pois, les rendements ont été inférieurs en GGE par rapport à l'aspersion, de 19 à 22% à Roumoules et seulement 10% à Reillanne.

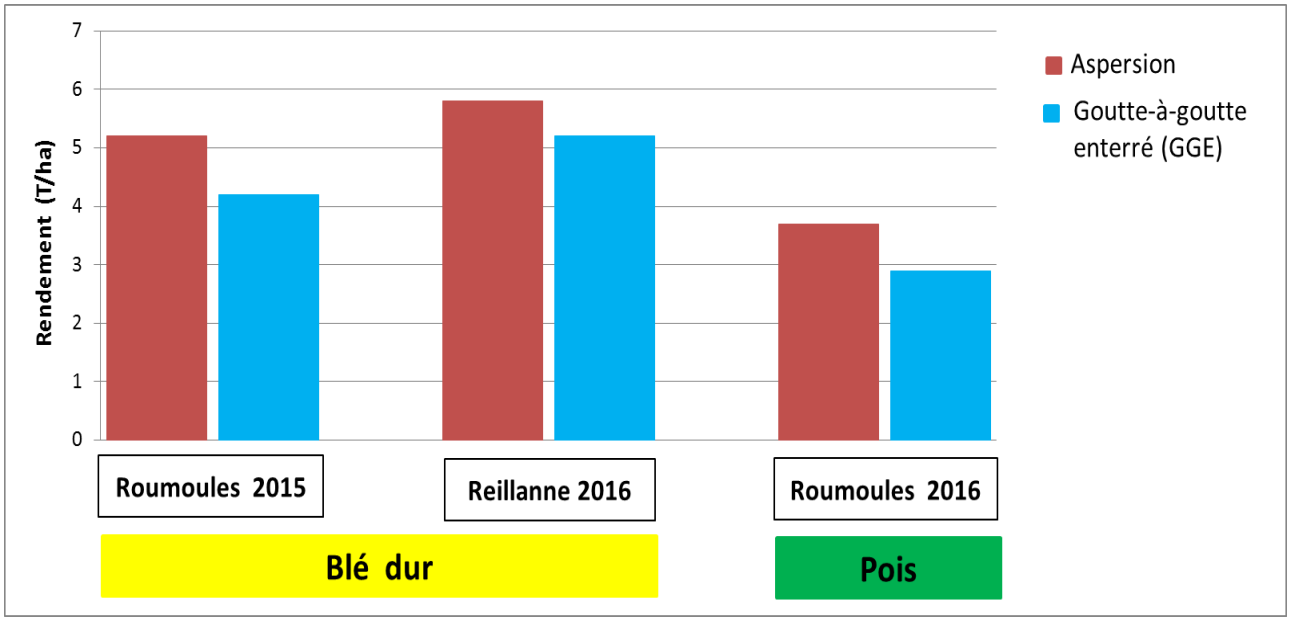
Sur le sol de Roumoules, peu adapté en goutte-à-goutte enterré en cultures annuelles, le GGE n'a pas permis d'économie d'eau ou a même occasionné une consommation en eau très supérieure à l'aspersion. Sur le sol de Reillanne, plus propice, l'économie d'eau a été de 7%, mais accompagnée d'une baisse de rendement de 10%. Néanmoins, dans ce contexte, le GGE a présenté des avantages non-négligeables comme le confort de travail, l'insensibilité au vent, la réduction des maladies, la possibilité de fertigation.

Résultats – Blé dur - Pois – SCP – 2015-2016

Apport d'eau des campagnes 2015 et 2016 sur le blé et le pois



Rendement des campagnes 2015 et 2016 sur le blé et le pois



Référence n° 29

Suivi de pratiques d'agriculteurs
Pomme de terre – CA Eure-et-Loir – 1995-1996
Canon enrouleur / Rampe sur enrouleur / Goutte-à-goutte

Sol limono-argileux brun RU = 70 mm

Grandes cultures

Pomme de terre (variétés Mona Lisa et Charlotte)

Chambre d'Agriculture de l'Eure et Loir – 28000 CHARTRES

Contact : Francis GOLAZ f.golaz@eure-et-loir.chambagri.fr

Objectif : Tester la faisabilité de l'irrigation par gaine jetable enterrée en sommet de butte
Paramètres suivis : Doses d'irrigation apportées, rendement

Référence
- Résultats d'expérimentation Chambre d'agriculture d'Eure-et-Loir 1995 et 1996 / en partenariat avec SICA Duret – T Systems France – ITCF – ITPT

ASPERSION
Canon enrouleur
ou
Rampe sur enrouleur

IRRIGATION LOCALISEE
Goutte-à-goutte enterré (GGE)
Gaine jetable T-Tape
Enterrée en sommet de butte

Volumes d'eau

En 1995, les apports sont réduits de 9% en goutte-à-goutte par rapport au canon enrouleur. En 1996, ils sont réduits de 23% par rapport à la rampe sur enrouleur.

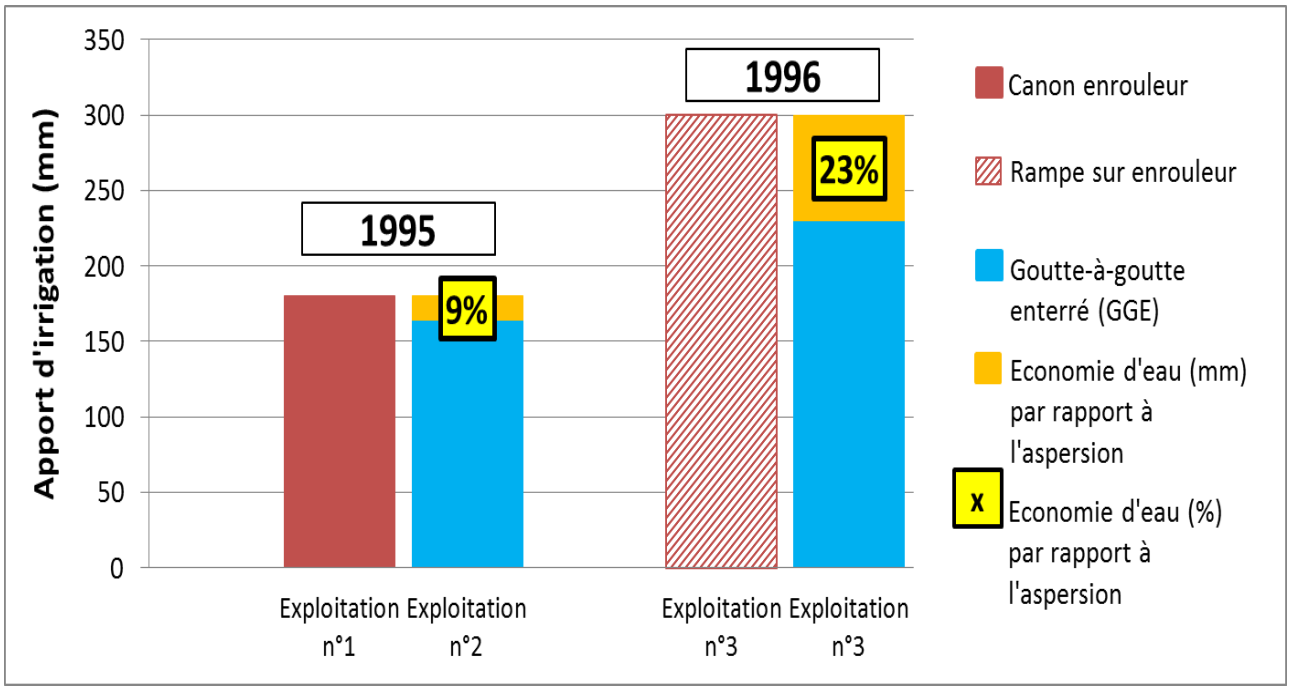
Rendement

En 1995, avec moins d'eau, on obtient un bien meilleur rendement (+ 15 T/ha) en goutte-à-goutte qu'avec le canon. Cependant, la comparaison reste délicate car il s'agit de deux agriculteurs différents et donc l'irrigation n'est pas la seule variable susceptible d'expliquer l'écart de rendement.
En revanche, en 1996, chez un même agriculteur et dans un même champ homogène, on obtient des rendements identiques entre le goutte-à-goutte et la rampe sur enrouleur.

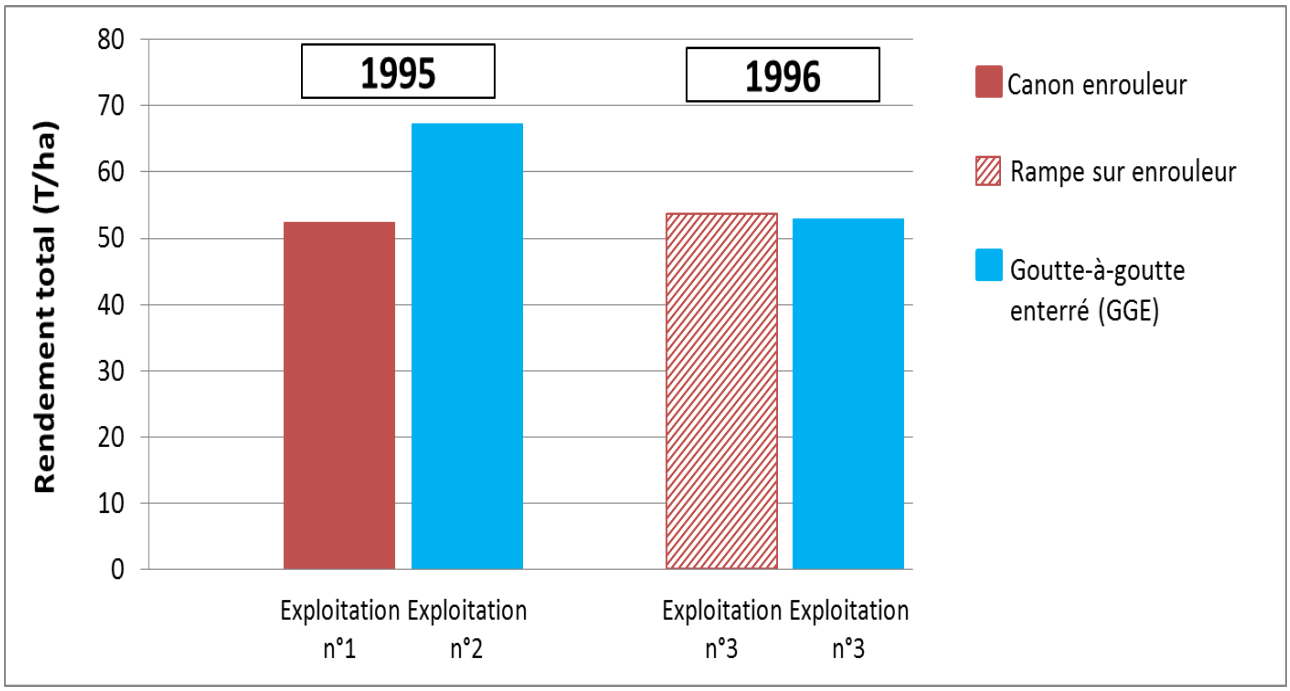
Le goutte-à-goutte enterré permet une économie d'eau de 9 à 23% en comparaison de l'aspersion, sans baisse du rendement total de pommes de terre.

Résultats – Pomme de terre – CA Eure-et-Loir – 1995-1996

Apport d'irrigation sur les campagnes 1995 et 1996

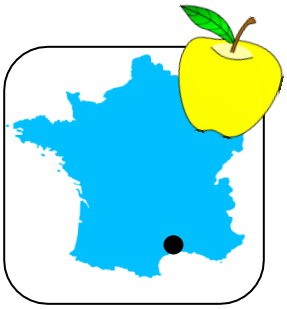


Rendement total sur les campagnes 1995 et 1996



Référence n° 30

Suivi de pratiques d'agriculteurs
Pommiers – CA Hérault – 2006
Aspersion sur frondaison / aspersion sous frondaison / micro-aspersion / goutte-à-goutte



RU très variable, depuis les sols fersialitiques très filtrants à RU faible, les sols bruns calcaires à RU moyenne jusqu'aux terres noires d'alluvions limono-argileux à RU élevée

Arboriculture

Pommiers

Chambre d'Agriculture de l'Hérault – 34000 MONTPELLIER
Partenaires : CEHM / BRL

Contact : Hélène SUZOR suzor@herault.chambagri.fr

Objectif : Etat des lieux du matériel et des pratiques d'irrigation d'arboriculteurs, dans l'optique de limiter les pollutions d'origine agricole de l'Etang de l'Or.
Paramètres suivis : Pluies, apports d'eau estimés et réels, état et caractéristiques de fonctionnement des systèmes (débit, pression)

Référence
Serres, L. (2006). Caractérisation des pratiques d'irrigation en verger de pommiers sur le bassin versant de l'Etang de l'Or. Mémoire de fin d'études. Ecole Nationale d'Ingénieurs Des Travaux Agricoles de Bordeaux.. 39 p.

Aspersion sur frondaison ⟷ **Aspersion sous frondaison classique** ⟷ **Aspersion sous frondaison par micro-aspersion** ⟷ **Goutte-à-goutte de surface**

Volumes d'eau

Les consommations en eau ont été évaluées précisément, à la parcelle, par mesure du débit des émetteurs (dose appliquée = débit x durée d'ouverture de vanne). Les apports d'eau sont variables d'une exploitation à l'autre, en fonction des pratiques l'irrigation. Cependant, si l'on considère les quantités moyennes appliquées par chaque système, par rapport à l'aspersion sur frondaison (moyenne sur 8 exploitations), les résultats montrent une consommation en eau inférieure de 16 % en aspersion sous frondaison classique (4 expl.) et 46 % en goutte à goutte de surface (2 expl.). Une seule exploitation a été évaluée en micro-aspersion ; elle apporte des volumes supérieurs à l'aspersion sur frondaison de 16%.

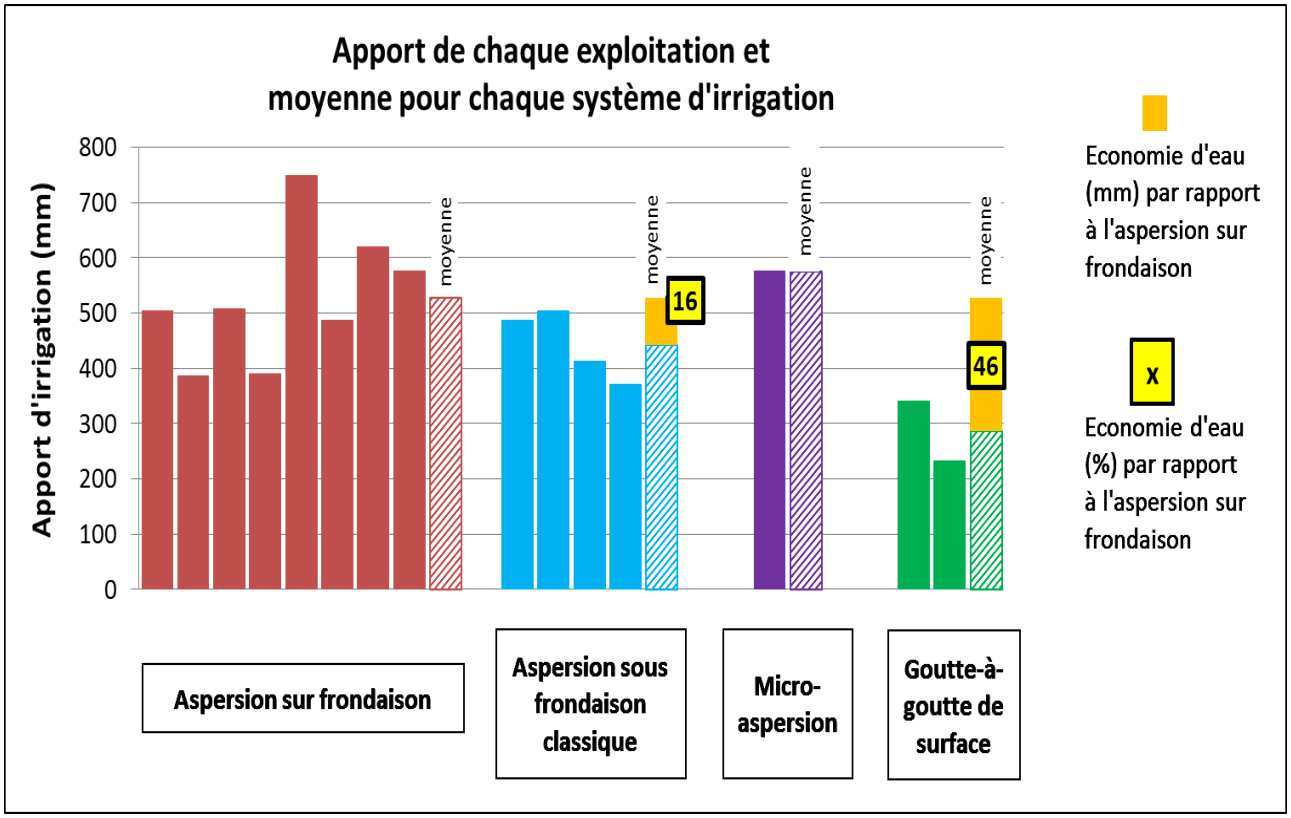
Rendement

Données non-renseignées

Dans le contexte pédoclimatique de l'étude, en 2006 (année très sèche), une économie d'eau semble être réalisable par l'aspersion sous frondaison classique (jusqu'à 15 % environ), et le goutte à goutte de surface (jusqu'à 45 %) par rapport à l'aspersion sur frondaison.

Résultats – Pommiers – CA Hérault – 2006

Apport d'eau avec les différents systèmes d'irrigation dans chaque exploitation (avec la moyenne pour chaque système)



Référence n° 31

Suivi de pratiques d'agriculteurs
Noyers – CA Isère – 2003-2015
Aspersion sous frondaison / Goutte-à-goutte surface

Sol de limons, **RU = 120 - 135 mm**

Arboriculture

Noyers

Chambre d'Agriculture de l'Isère – 38200 VIENNE

Contact : Nathalie JURY nathalie.jury@isere.chambagri.fr

Objectif : Comparer les données de consommation en eau durant 13 années consécutives chez deux producteurs du Sud Grésivaudan (vallée de l'Isère) avec systèmes d'irrigation différents
Paramètres suivis : Relevés de compteurs

Références
Jury, N. (2016). Procédure d'autorisation annuelle

Aspersion sous frondaison	⟷	**Goutte-à-goutte** de surface
Surface 176 ha		Surface 80 ha

Volumes d'eau

Sur 13 années de relevés de compteurs, les apports d'irrigation pour les noyers s'élèvent en moyenne à 160 mm/an pour l'aspersion sous frondaison et 116 mm/an pour le goutte-à-goutte de surface, soit une économie d'eau de 28% réalisée avec le goutte-à-goutte.

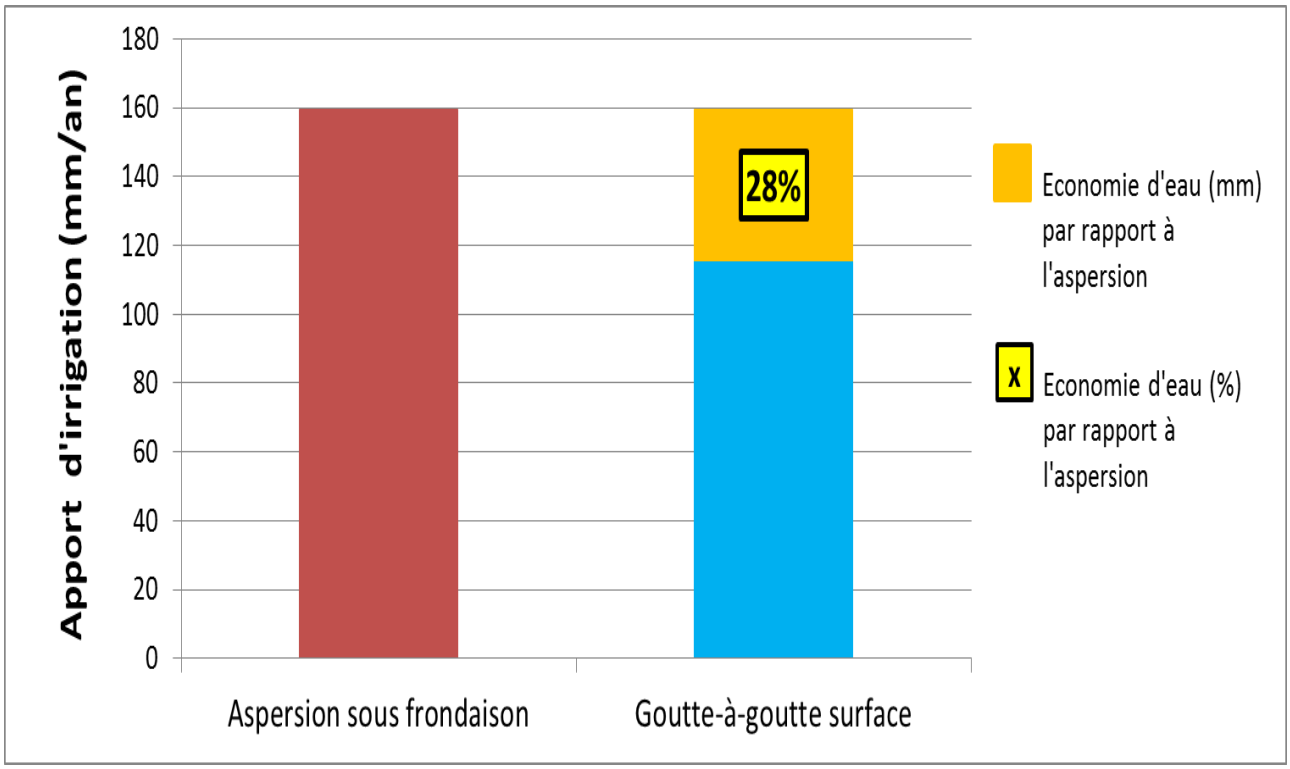
Rendement / qualité

Pas de données chiffrées mais, à dire d'expert, les rendements sont au moins équivalents en goutte-à-goutte à ceux obtenus en aspersion. Il en est de même pour la qualité et le calibre des noix.

Sur une période de 13 années, le goutte-à-goutte de surface permet une économie d'eau de 28% par rapport à l'aspersion sous-frondaison, sans impact négatif sur le rendement et la qualité des noix.

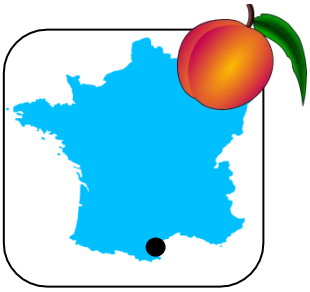
Résultats – Noyers – CA Isère – 2003-2015

Apport d'irrigation (moyenne de 2003 à 2015)



Référence n° 32

Suivi de pratiques d'agriculteurs
Abricots - Pêches – CA Pyrénées Orientales – 2014
Micro-aspersion / Goutte-à-goutte



Sol sableux, drainant pour le micro-jet, RU non-renseignée
Sol moins drainant pour le goutte-à-goutte, RU non-renseignée

Arboriculture

Abricot, pêche (précoce, tardive ou de saison)

Chambre d'Agriculture des Pyrénées Orientales – 66000 PERPIGNAN

Contacts : Jacques FERAUD j.feraud@pyrenees-orientales.chambagri.fr

Objectif : Suivi de consommation en eau de plusieurs arboriculteurs avec différents systèmes d'irrigation localisée
Paramètres suivis : Consommation en eau

Référence. Féraud, J. (2016). Communication personnelle

Pilotage : non-renseigné

Micro-aspersion
Micro-jet

Goutte-à-goutte suspendu

Volumes d'eau

Classiquement, les volumes d'irrigation vont croissants de l'abricot à la pêche, la pêche tardive nécessitant plus d'apports que la précoce.
En abricot, comme en pêche tardive, les apports sont moindres en goutte-à-goutte qu'en microjet de 14 à 19%.

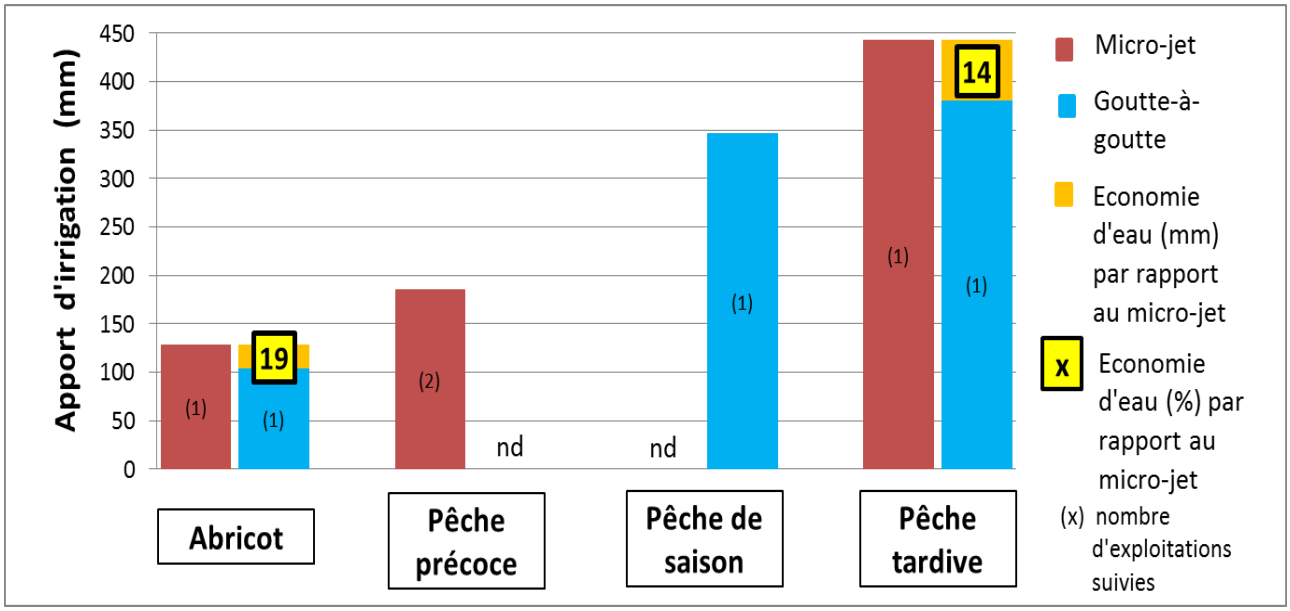
Rendements

Non chiffrés, mais aucun retour terrain de différences de rendement observées entre goutte-à-goutte et microjet.

Sur les vergers suivis en 2014, le goutte-à-goutte permet une économie d'eau de 14% à 19% par rapport au microjet, sans diminution connue du rendement. Cependant, les RU des sols étant très différentes, il est difficile de généraliser cette conclusion.

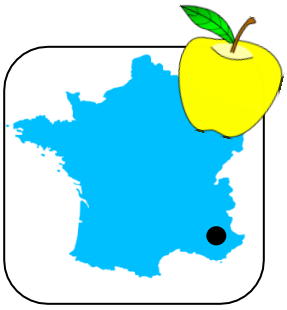
Résultats – Abricots - Pêches – CA Pyrénées Orientales – 2014

Apport d'eau pour les différents systèmes



Référence n° 33

Suivi de pratiques d'agriculteurs
Pommiers – AGRORESSOURCES – 2009-2014
Pilotage Tensiomètres / Dendromètre



Sol argilo-limoneux profond, **RU > 100 mm**

Arboriculture

Pommiers Golden delicious

AGRORESSOURCES – 84250 LE THOR
Contact : Patrice GUINET patrice.guinet@agroressources.com

Objectif : Comparaison de conduites d'irrigation sans pilotage et avec pilotage (tensiomètres ou tensiomètres+dendromètre) chez un producteur de la région Nord SISTERON (05)
Paramètres suivis : Pluies, apports d'eau

Référence
Guinet, P. (2016). Communication personnelle

Aspersion sur frondaison

Pas de pilotage ⟷ **PILOTAGE** Tensiomètres Watermark ⟷ **PILOTAGE** Tensiomètres Watermark **Dendromètre** Pepista ®

Volumes d'eau

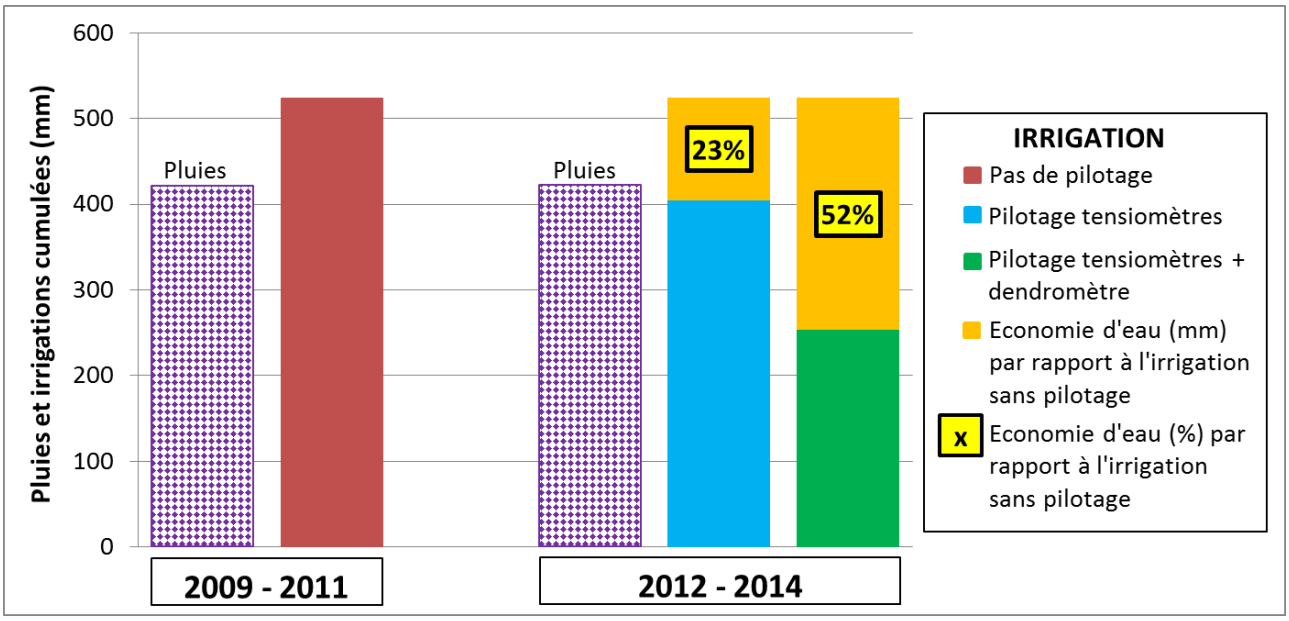
Les pluies cumulées sur les deux périodes de 3 années consécutives (2009-2011 et 2012-2014) sont comparables et rendent donc possible la comparaison des volumes d'irrigation des deux périodes.
Le pilotage à l'aide de tensiomètres réduit les apports de 23%. L'ajout du dendromètre au pilotage tensiométrique accroît l'économie d'eau jusqu'à 52%.

Rendement / qualité

Données chiffrées non-renseignées, mais, à dire d'expert, pas de baisse connue du rendement avec le pilotage à l'aide de tensiomètres et dendromètre.

Le pilotage tensiométrique permet de réaliser une économie d'eau de 23% en comparaison d'une conduite sans pilotage. La combinaison tensiomètres + dendromètre augmente l'économie d'eau jusqu'à 52%.

Apport d'eau avec les différents systèmes de pilotage



Référence n° 34

Suivi de pratiques d'agriculteurs
Fraises hors-sol – APREL – 2015
Recyclage de solution nutritive

Substrat : coco / tourbe

Maraîchage hors sol

Fraise, culture de trayplants (Ciflorette, Cléry, Gariguette, Joly)

APREL – Association Provençale de Recherche et d'Expérimentation Légumière – 13210 ST-RÉMY-DE-PROVENCE

Contact : Isabelle BOYER (ARDEPI) i.boyer@ardepi.fr

Objectif : • Gestion des effluents des cultures hors sol
• Suivi des volumes d'eau et quantités d'engrais sur 6 sites de production, avec et sans recyclage des solutions nutritives
Paramètres suivis : Volumes d'eau (compteurs ou enregistrements), quantités d'engrais

Référence
Izard, D. & Taussig, C. (2015). Fraise : Approche des quantités d'eau et d'engrais apportées en culture hors sol. Compte-rendu APREL-CTIFL.
http://www.aprel.fr/pdfDerniersResultats/1025_cr_fraise_apports_eau_engrais_2015.pdf .

Pas de recyclage de solution nutritive ⟷ **Recyclage de solution nutritive**

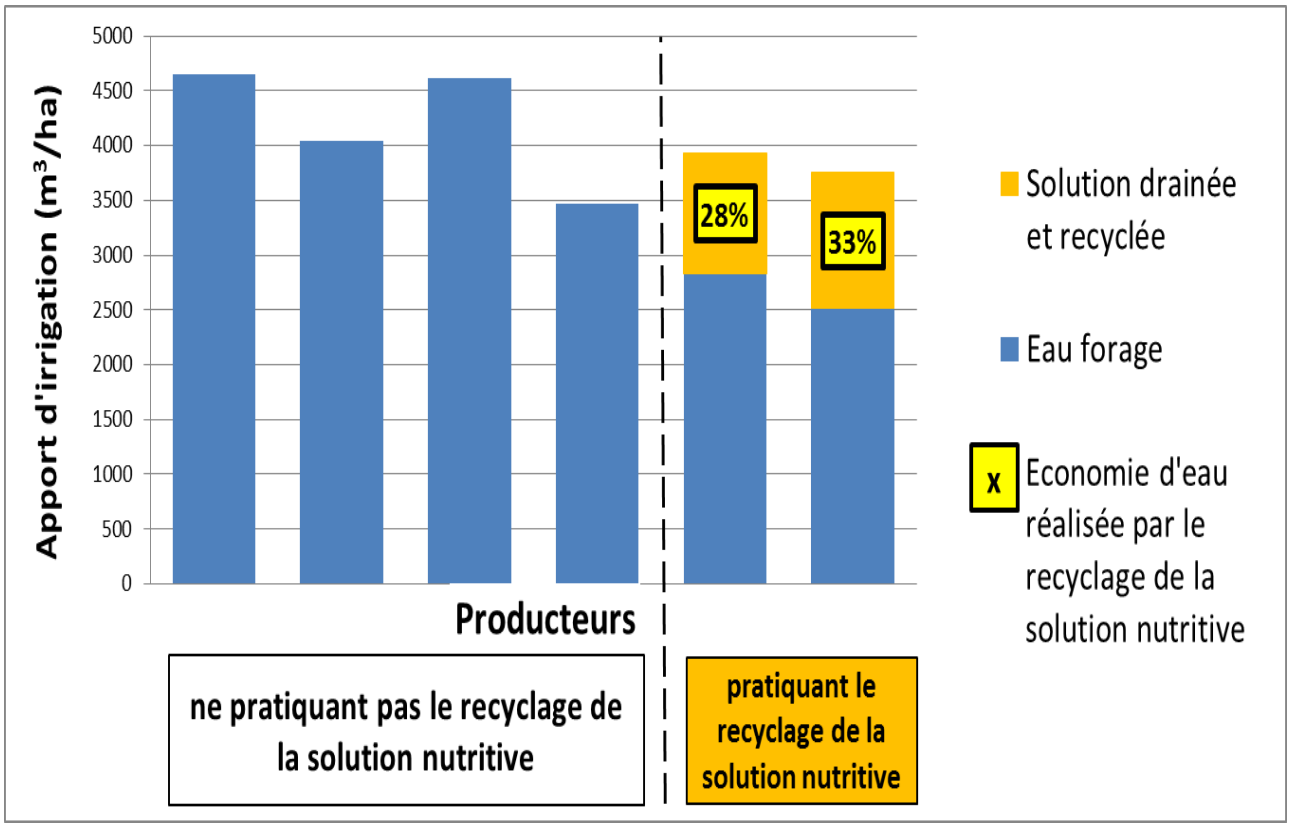
Volumes d'eau

Les volumes de solution nutritive utilisés varient de 4650 à 3464 m^3/ha, soit une moyenne de 4075 m^3/ha. La collecte et le recyclage de solution drainée permet de recycler en moyenne 1222 m^3/ha de solution, et donc d'économiser 30% d'eau environ. Toutefois, il convient d'être prudent dans la comparaison des chiffres entre les sites, car des variantes dans les conduites culturales peuvent induire des différences de consommation d'eau : chauffage, densité de plantation et types de système de culture hors sol (gouttières ou buttes) augmentent les consommations en eau.

Rendement / qualité

Données non-renseignées

Le recyclage des surplus de solution nutritive drainée permet de réaliser environ 30% d'économie d'eau.

Résultats – Fraises hors-sol – APREL – 2015

Apport d'irrigation chez différents producteurs