
DRIP IRRIGATION EXPERIMENTATION ON CORN IN SOUTH WEST OF FRANCE: CONCLUSIONS AND PROSPECTS

EXPERIMENTATION DU GOUTTE A GOUTTE ENTERRE SUR LA CULTURE DE MAÏS DANS LE SUD-OUEST DE LA FRANCE : ENSEIGNEMENTS ET PERSPECTIVES

Jean-Jacques Weber, Ludovic Lhuissier

ABSTRACT

CACG was involved in a local experimentation between 2012 and 2015, aiming at assessing energy savings potential of new irrigation techniques. One of them consists in using buried drip irrigation for corn in comparison with traditional sprinkler systems.

First results lead to following conclusions:

- Drip irrigation yields are not affected in comparison with sprinkler plots for small spaces (1 meter),
- Greater spaces (1.5 meter) penalize yields up to 7%,
- Water savings vary from 10% in 2012 and 15% in 2013 to more variable results in 2014 (wet year),
- Energy savings are confirmed,
- Fertigation has been tested: results depend on the rainfall intensity within years of experimentation.

The next steps will be focused on following subjects: getting a better assessment of water and energy savings potential, refining irrigation and fertigation methods, testing materials lifetime, and comparing buried and surface drip irrigation.

RÉSUMÉ

La CACG a participé entre 2012 et 2015 à une opération régionale (Midi-Pyrénées) visant à évaluer le potentiel d'économie d'énergie d'un certain nombre de matériels et de pratiques agricoles en irrigation. Parmi ces expérimentations figure la mise en œuvre du goutte-à-goutte enterré sur la culture de maïs, et sa comparaison au système classique par aspersion.

Les premiers enseignements des expérimentations en cours sont les suivants :

- Les rendements ne sont pas affectés par rapport aux installations par aspersion pour les écartements les plus resserrés (1 m),
- Les écartements les plus distants (1,5 m) pénalisent les rendements (7%),
- Les économies d'eau varient de 10% en 2012, 15% en 2013, à des résultats plus variables en 2014,
- Les économies d'énergie sont vérifiées,
- La fertigation a été testée avec des enseignements contrastés selon la pluviométrie de l'année.

Les perspectives envisagées pour les prochaines années sont les suivantes : mieux quantifier les économies d'eau et d'énergie potentielles, affiner le pilotage de l'irrigation et de la fertigation , tester la durée de vie des différents types de matériaux mis en œuvre , comparer le goutte-à-goutte enterré et le goutte à goutte de surface.

Keywords: water savings; energy savings, fertigation, drip irrigation

1. Introduction

La CACG a participé entre 2012 et 2015 à une opération régionale en Midi-Pyrénées visant à évaluer le **potentiel d'économie d'énergie** d'un certain nombre de matériels et de pratiques agricoles en irrigation. Cette opération dite « EDEN2 » a rassemblé ARVALIS, CACG, IRSTEA et les Chambres d'Agriculture 31 et 47. La CACG a travaillé sur deux axes : le diagnostic d'efficacité énergétique des réseaux collectifs d'irrigation et, en collaboration avec l'IRSTEA, l'expérimentation sur son exploitation de la Mirandette dans le Gers d'installations « innovantes » d'irrigation à la parcelle dont le goutte-à-goutte enterré et le goutte-à-goutte de surface sur des cultures de maïs.

Ce document présente l'expérimentation du goutte-à-goutte sur maïs réalisée à la Mirandette en comparaison avec une irrigation plus traditionnelle par aspersion (couverture intégrale, pivot et rampe basse pression). Dans une première partie (§ 2), nous décrivons le dispositif expérimental mis en œuvre de 2012 à 2014. Dans le § 3 sont détaillés les résultats de ces expérimentations en termes de performances agronomiques et énergétiques : production, économies d'eau et d'énergie. Enfin, le § 4 propose des pistes d'améliorations du protocole et les hypothèses restant à valider à l'issue de ces trois premières années de travail.

2. Protocole d'expérimentation

2.1 Dispositif expérimental

L'expérimentation a été réalisée sur l'**exploitation agricole de la Mirandette à Masseube dans le Gers**. Exploitée par la CACG depuis une cinquantaine d'année, la Mirandette est cultivée sur une trentaine d'hectares. Une quinzaine d'hectares est consacrée aux grandes cultures (maïs, blé, colza...), notamment pour expérimenter des techniques agronomiques innovantes, en irrigation par exemple. L'exploitation présente un sol de type lessivé, avec une texture limoneuse en surface ($L > 50\%$) et argileuse en profondeur (argile marneuse). Le sol se caractérise par la présence d'une couche indurée de graviers, de galets et d'argiles agglomérées par des dépôts de manganèse et de fer (*Grep*) témoignant de phénomènes d'oxydo-réduction induits par la présence d'hydromorphie temporaire. Dans ce contexte, le dispositif agronomique mis en œuvre sur la ferme entre 2012 et 2014, inclut au maximum neuf cas d'étude qui se différencient soit par le type d'équipements d'irrigation, soit par le niveau de satisfaction des besoins en eau de la culture, soit par les deux à la fois.

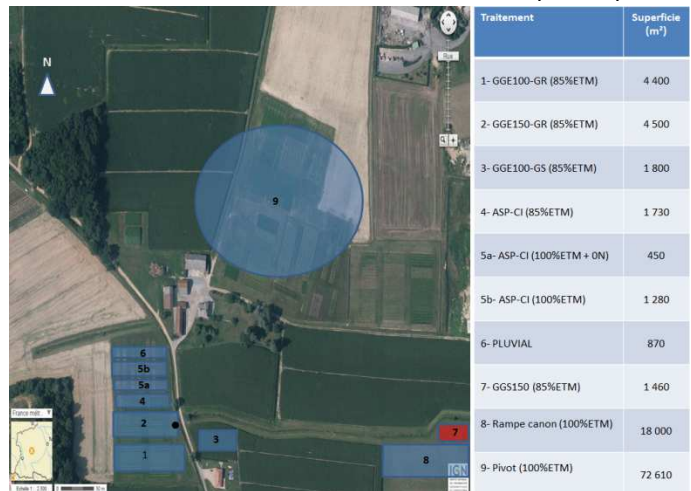


Figure 1 : localisation des parcelles expérimentales à la Mirandette



Figure 2 : installation du dispositif GGE



Figure 3 : station de filtration

Les équipements d'irrigation retenus pour les comparaisons sont la couverture intégrale (ASP-CI), un pivot (ASP-PI), un enrouleur à rampes latérales (ASP-RA) et des réseaux de goutte-à-goutte enterrés (GGE) ou de surface (GGS).

Pour ce qui concerne le goutte-à-goutte, les gaines rigides enterrées des configurations GGE100-GR (écartement 1 m) et GGE150-GR (écartement 1,5 m) fonctionnent sous une pression de 3,0 bars en raison du type de goutteurs utilisé (autorégulant) alors que les gaines souples enterrées de la configuration GGE100-GS (écartement 1 m) travaillent sous 1,0 bar de pression seulement. Le réseau de GGE qui figure sur le plan ci-après distribue des petites parcelles de moins de 5 000 m² ; la profondeur des gaines est de 40-45 cm avec un goutteur en ligne tous les 0,5 m. Une station de filtration en tête de parcelles est équipée d'une cuve d'une capacité de 1 000 L destinée à la solution mère de fertilisant et d'une pompe doseuse avec by-pass de type Venturi pour effectuer automatiquement la fertigation ainsi que les traitements d'entretien des gaines d'irrigation. En 2014, le protocole s'est enrichi d'une parcelle en goutte à goutte de surface en gaine souple (GGS150-GS, écartement 1,5 m).

Au-delà du matériel d'irrigation, différentes modalités d'apports d'eau ont été testées. L'irrigation du maïs à hauteur de 85% de ses besoins maxima en eau (85% ETM) vise à déterminer la réduction des volumes d'eau pouvant être réalisée sur la production maïs-grain. Au démarrage de la campagne et conformément au protocole d'arrosage fixé par la CACG et IRSTEA, il a été convenu que les traitements équipés en goutte-à-goutte (GGE100-GR, GGE150-GR, GGE100-GS et GGS150-GS) seraient tous irrigués à 85% ETM. De même, il a été décidé également qu'un traitement équipé en couverture intégrale serait arrosé à 85%ETM (ASP-CI 85% ETM). Pour les autres traitements irrigués par aspersion (ASP-CI sans apport azoté, ASP-CI, ASP-RA et ASP-PI), le principe de la pleine irrigation (100% ETM) a été retenu.

Le maïs utilisé est un hybride (variété P0222 pour 2014 par exemple) : il s'agit d'une variété demi-tardive avec un haut potentiel de production : 140-150 q/ha pour une densité de semis de 80 000 pieds /ha.

2.2 Suivi expérimental, type de mesure et instrumentation

Le suivi des expérimentations a été réalisé au moyen des dispositifs de mesure présentés ci-après.

La détermination de l'évapotranspiration potentielle devait être réalisée via l'enregistrement automatique des données horaires du rayonnement par une centrale climatique Campbell. Pour des raisons techniques, nous avons dû nous rabattre sur les mesures de la station d'Auch : les valeurs journalières ont été pondérées par un coefficient (0,93).

Pour les pluies, un pluviomètre à lecture directe est implanté sur le site de la ferme expérimentale. Pour les irrigations, deux pluviomètres à auget basculeur raccordés à une centrale de télétransmission ont été installés sur le parcellaire. Les volumes d'irrigation appliqués sur les parcelles ont été relevés grâce à des compteurs d'eau volumétriques.

Le relevé des pressions hydrauliques dans les conduites d'irrigation a été effectué grâce à des sondes de pression (0/10 bars) installées à cet effet au niveau de la station de tête et à l'entrée des parcelles irriguées en GGE.

Les prélèvements d'échantillons de sol (0-120 cm) et de végétal ont été réalisés en début et fin de campagne pour établir des bilans d'azote au sein du continuum sol-plante. L'analyse des échantillons de plantes et de sol a été réalisée par le laboratoire Sol-Végétal du CIRAD à Montpellier (US 49).

L'estimation de la production maïs-grain (Humidité 15%) a été faite, dans un 1^{er} temps, à partir d'un échantillon de 4 à 5 placettes de 2,4 m² récoltées manuellement puis à partir de la récolte mécanique effectuée à l'échelle des parcelles.

Le suivi des humidités du sol (0-120 cm) a été effectué au niveau de tubes à neutrons installés en début de campagne. Deux tubes ont été installés sur le traitement GGE150-GR, l'un près de la gaine d'irrigation et l'autre en inter-gaine. Les relevés neutroniques réalisés avec la sonde Vectra 503 DR ont permis d'établir les profils d'humidité volumique dans le sol et d'estimer la consommation en eau de la culture (ETc) sur les différents traitements à partir de l'équation (1) suivante :

Équation 1 : ETc = Pluie + Irrigation + Variation de stock dans l'horizon racinaire

L'hypothèse émise (et qui reste à vérifier) considère que les entrées et/ou sorties d'eau par ruissellement de surface et par drainage au-delà de l'horizon racinaire, sont négligeables compte tenu des faibles pluies et/ou doses d'irrigation délivrées. Cette hypothèse est peut-être exacte pour les mois de juillet, août, septembre, mais probablement erronée pour les mois de mai et juin.

Le suivi des tensions en eau dans le sol a été réalisé par les agents de la CACG sur les traitements GGE100-GR, GGE150-GR, GGE100-GS, ASP-CI (85% ETM), ASP-CI, PLUVIAL, GGS150-GS, ASP-RA et ASP-PI. Les mesures ont été effectuées avec des sondes *Watermark* installées à 30 et 60 cm de profondeur afin de prendre en compte le développement du système racinaire du maïs au cours de campagne agricole. La collecte des données a été faite via les centrales dédiées.

2.3 Indicateurs de performance agronomique et énergétique

Les indicateurs retenus pour évaluer les performances des systèmes d'irrigation (GGE vs ASP) sont les suivants :

- Pour les performances agronomiques : la production (en kg grain / ha) et la productivité de l'eau d'irrigation (PEI en kg grain / m³ d'eau),
- Pour les performances énergétiques : l'énergie nette consommée par le système d'irrigation : ENC en kWh / m³ d'eau appliqué (la productivité de l'énergie nette consommée PENC, en kg grain/kWh consommé pourra être utilisée à l'avenir).

L'ENC a été estimée à partir des pressions d'eau relevées par les sondes et des volumes d'irrigation relevés par les compteurs d'eau conformément à l'équation 2 : $E = \text{Virr} \times \text{peau} \times \text{gn} \times H$.

Avec : E / Energie nette consommée à la parcelle (Joules) ; Virr / Volume d'irrigation appliqué à la parcelle (m³ d'eau) ; peau / Masse volumique de l'eau (1000 kg/m³) ; gn / Accélération normale de la pesanteur terrestre (9,81 m/s²) ; H / Pression hydraulique à l'entrée de la parcelle (en mètres de Colonne d'Eau).

Pour les traitements irrigués en GGE (GGE100-GR, GGE150-GR et GGE100-GS) et fertilisés exclusivement par fertigation (en 2014), l'énergie consommée par le système d'irrigation a été calculée en différenciant d'une part les fertigations nécessitant l'utilisation du Venturi qui induit de fortes pertes de charge et donc d'énergie et, d'autre part, les simples irrigations.

L'interprétation des résultats agronomiques est basée principalement sur l'analyse des profils hydriques dans le sol et donc des conditions d'alimentation en eau des plantes. Elle s'appuie également sur les relevés d'indice foliaire et pour l'alimentation azotée sur les relevés d'indice chlorophyllien. **Ces observations permettent d'interpréter les rendements obtenus pour les différentes configurations expérimentales.**

3. Résultats

3.1 Consommation d'énergie

Nous présentons ici les résultats pour l'année 2014 qui a permis la mise en œuvre d'un protocole expérimental complet, permettant des comparaisons détaillées entre les différentes parcelles.

Les énergies nettes consommées par les différents équipements d'irrigation utilisés par la CACG sur le dispositif expérimental et calculées selon l'équation 2, sont présentées dans le tableau suivant. Rappelons que les volumes d'eau ont été relevés au compteur et que les pressions de fonctionnement en GGE ont été mesurées par les sondes de pression. En outre, une distinction a été faite entre les fertigations et les irrigations exclusives en raison de la perte de charge importante (jusqu'à 1,80 bars) occasionnée par l'injecteur d'engrais utilisé par la CACG, de type Venturi, au niveau de la station de tête. Pour l'aspersion, les pressions de fonctionnement n'ont pas été mesurées mais fournies par la CACG sur la base de référentiels.

N°	Traitement	Surface	Fertigation	Irrigation	P° Fertigation	P° Irrigation	Energie nette consommée en tête de réseau			
							Joules	kWh	kWh/m ³	kWh/ha
		m ²	m ³	m ³	m CE	m CE				
1	GGE100-GR (85% ETM)	4 400	88	262	47	30	118 194 804	33	0,09	75
2	GGE150-GR (85% ETM)	4 500	93	264	47	30	121 092 678	34	0,09	75
3	GGE100-GS (85% ETM)	1 800	22	107	37	20	29 188 674	8	0,06	45
4	ASP-CI (85% ETM)	1 730	0	140	-	40	54 936 000	15	0,11	88
5	ASP-CI (100% ETM)	1 730	0	193	-	40	75 733 200	21	0,11	122
8	ASP-RA (100% ETM)	18 000	0	1 911	-	40	749 876 400	208	0,11	116
9	ASP-PI (100% ETM)	72 610	0	8 259	-	40	3 240 831 600	900	0,11	124

Tableau 1 : Volumes d'eau appliqués, pressions de fonctionnement et énergies nettes consommées en tête de réseau

Les résultats enregistrés en 2014 se différencient nettement de ceux de 2013 où l'ENC avait été calculée en tête de parcelle et non en tête de réseau (non prise en compte des pertes de charges au niveau de la station de tête). Ainsi, dans les conditions d'utilisation des équipements d'irrigation par la CACG sur la ferme expérimentale de La Mirandette, le GGE en gaines rigides avec goutteurs autorégulants (GGE100-GR et GGE150-GR) a présenté en 2014 une consommation d'énergie par m³ d'eau délivré à peine plus faible que celle de l'aspersion, soit 0,09 kWh/m³ contre 0,11 kWh/m³, et ce quel que soit le type d'équipement : couverture intégrale (ASP-CI), rampe basse pression (ASP-RA) ou pivot (ASP-PI). Le GGE en gaines souples avec goutteurs non autorégulants a enregistré une consommation plus faible, de 0,06 kWh/m³.

Rapporté à l'hectare irrigué, les systèmes d'irrigation par GGE ont enregistré des consommations d'énergie légèrement inférieures à celle de l'aspersion, soit 75 kWh/ha pour GGE100-GR et GGE150-GR contre 120 kWh/ha en moyenne pour ASP-CI, ASP-RA et ASP-Pi. Sur GGE en gaines souples et goutteurs non autorégulants, la consommation a été de 45 kWh/ha. En fonction du type de matériel de GGE mis en place, on observe une amélioration de l'efficacité énergétique de l'ordre de 1/3 (gaine rigide) à 2/3 (gaine souple) par rapport à l'aspersion.

3.2 Indicateurs de performance des systèmes d'irrigation

Les années 2012 à 2014 ont été très contrastées d'un point de vue météorologique. Les productions enregistrées en GGE ont été très variables en 2014, année très pluvieuse, de 119 q/ha sur GGE150-GR, à 129 q/ha en GGE100-GR et jusqu'à 160 q/ha en GGE100-GS. Elles ont été beaucoup plus stables en aspersion, de 135 q/ha sur ASP-RA jusqu'à 145/146 q/ha pour ASP-CI et ASP-PI. En 2012 et 2013, c'est la configuration GGE100-GR qui produisait le meilleur rendement avec 145 et 147 q/ha, tandis que les parcelles GGE150-GR conduisaient à des rendements quasi équivalents à l'aspersion avec 137 et 134 q/ha.

Contrairement aux années précédentes, les plus faibles performances agronomiques ont été observées sur GGE100-GR et GGE150-GR, avec une moyenne de 1,7 kg grain/m³ d'eau, contre 3,3 kg grain/m³ d'eau en moyenne en aspersion, alors qu'en 2012 et 2013, le GGE affichait les meilleurs résultats avec 2,9 et 4 kg grain/m³ d'eau.

N° : Traitement	Pluie (m3 d'eau / ha)	Irrigation (m3 d'eau / ha)	Grain (q / ha)	PEI (kg / m3 d'eau)
2012	3 310			
	Mai : 950			
	Juin : 580	2 480	145	2,9
N°1 : GGE 100-GR (90% ETM)	Juillet : 420	2 440	137	2,7
N°2 : GGE 150-GR (90% ETM)	Août : 520	2 750	143	2,6
N°4 : ASP-CI (100% ETM)	Septembre : 290	0	73	-
PLUVIAL	Octobre : 550			
2013	4 070			
	Mai : 1 470			
	Juin : 1 030	1 914	147	4,0
N°1 : GGE 100-GR (85% ETM)	Juillet : 330	1 918	134	3,3
N°2 : GGE 150-GR (85% ETM)	Août : 400	1 847	131	3,1
N°3 : GGE 100-GS (85% ETM)	Septembre : 400	2 204	151	3,6
N°5 : ASP-CI (100% ETM)	Octobre : 440	0	71	-
PLUVIAL				
2014	3 490			
	Mai : 910	880	129	2,3
N°1 : GGE 100-GR (85% ETM)	Juin : 530	880	119	1,1
N°2 : GGE 150-GR (85% ETM)	Juillet : 950	850	160	4,4
N°3 : GGE 100-GS (85% ETM)	Août : 610	810	145	4,4
N°4 : ASP-CI (85% ETM)	Septembre : 240	1 130	144	3,1
N°5 : ASP-CI (100% ETM)	Octobre : 280	0	109	-
PLUVIAL				

Tableau 2 : performances des systèmes d'irrigation (extraits)

Le comparatif du GGE avec l'aspersion a montré pour les 3 années de test :

- En 2012 et 2013, années moyennement sèches, une économie d'eau respectivement de 10% et 15% (irrigation à 90% ETM en 2012 et 85% ETM en 2013) pour un rendement équivalent à l'irrigation à 100% ETM, mais avec des protocoles qui devaient être consolidés,
- En 2014, année humide, des résultats beaucoup plus variables et donc délicats à interpréter, tout en plaçant l'aspersion et le GGE à des niveaux équivalents.

4. Enseignements et perspectives

4.1 Premiers enseignements

Les rendements GGE ne sont pas affectés, par rapport aux installations d'aspersion classique, pour les écartements les plus resserrés (1 mètre), avec des économies d'eau de 10 à 15% en 2012 et 2013, et des résultats plus variables pour 2014 (année exceptionnellement pluvieuse) qui devront être confortés. Les écartements les plus distants (1,5 mètres) en goutte à goutte enterré pénalisent les rendements (7% et plus en fonction des années).

Les économies d'énergie sont vérifiées, mais il faut prêter attention au choix du système de fertigation qui peut provoquer des besoins de pression complémentaire disproportionnés. La conduite de la fertigation est donc à affiner, notamment pour répondre aux contraintes des années humides.

4.2 Perspectives

Ces 3 premières années d'expérimentation ont permis une mise en œuvre progressive (2 parcelles de GGE en 2012, une 3^{ème} en 2013 ; démarrage de la fertigation seulement en 2013, pas de témoins en aspersion dose réduite en 2012...) et ont apporté de nombreux enseignements pour affiner tant les protocoles de comparaison et que les conclusions à tirer. En outre à partir de 2015, le site de la Mirandette fera l'objet d'une concertation quant au protocole et aux enseignements d'ensemble, sur la base d'échanges avec Arvalis (site du Magneraud-17) et Irstea (Site de la Valette-34) qui sont les autres sites référents en France.

Les perspectives de réflexion pour les prochaines années sont les suivantes :

- Mieux quantifier les économies d'eau, en vérifiant d'abord la base d'ETP prise en compte pour le calcul de l'ETM 100% par une comparaison à un calcul d'ETP par une centrale climatique Campbell sur site, puis en affinant le pilotage de l'irrigation, à partir de capteurs de sol, à la fois pour rechercher la limite d'économie et pour proposer une méthode de pilotage « au champ » applicable par les agriculteurs,
- Affiner la fertigation, en prenant mieux en compte les consommations énergétiques induites, et en évitant le « tout fertigation » pratiqué en 2014, inadapté pour la région en année humide, c'est-à-dire en réservant la fertigation azotée aux seuls apports tardifs (2 fois 30 unités juste avant et juste après la floraison femelle),
- Poursuivre la quantifier des économies d'énergie, notamment par rapport au rendement potentiel (PENC),
- Tester la durée de vie du goutte-à-goutte enterré, et comparer les 2 types en place : gaine souple et gaine rigide,
- Comparer le goutte-à-goutte enterré et le goutte-à-goutte de surface mis en place depuis 2014.