

Quels outils pour demain? La Précision dans les Pratiques d'Irrigation

Pour mieux
affirmer
ses missions,
le Cemagref
devient Irstea



www.irstea.fr

Molle, B., Tomas, S., Audouard, M., Granier, J.,
Rollin, D., Dejean, C., Rosique, P.,

Innov-Agri 2013



Introduction: Quelques principes

PERFORMANCE EN IRRIGATION

- Objectif: Uniformité et Efficience
 - Apport homogène:
 - Technologie: aspersion ou localisé → même potentiel
 - Conception: dimensionnement,
 - Entretien: respect paramètres hydrauliques de conception,
 - Conditions d'application: vent, évaporation, qualité eau.
 - Efficience:
 - Volume utilisé par la plante/Volume apporté,
 - Échelle parcelle, 50 à 95%, soit:
 - Pour 1l apporté 0.5l à 0.95l utilisé, retour au milieu 0.5l à 0.05l
 - Adéquation de la conduite et du pilotage
 - Quels spécificités par technologie...
 - ... mais avant où en est le parc d'équipement?

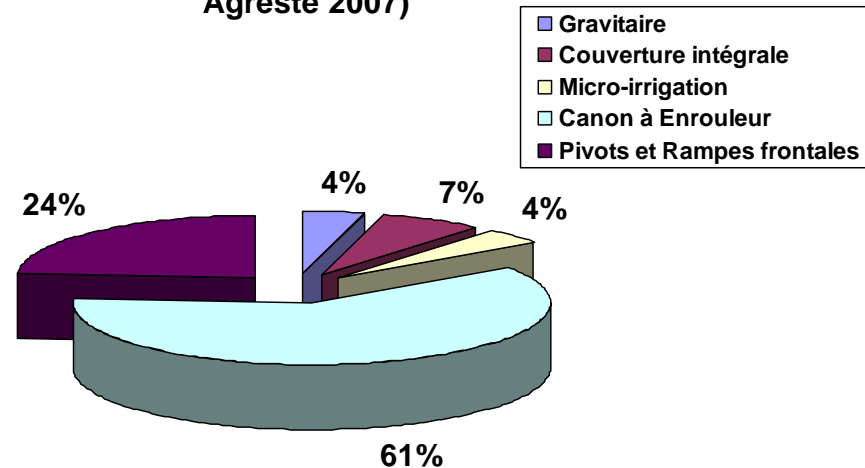
Parcs Français de matériel

ETUDE DGPAAT-2009

- Enquêtes: administration et services techniques, agriculteurs, installateurs, industriels...
 - Couverture de 90% des surfaces irriguées
 - Seule la surface irriguée par canon à enrouleur varie
 - Irrigation des céréales d'hiver
 - Impératif des rotations
 - Evolution en proportion :
 - Canons à enrouleur et micro-irrigation stables,
 - Couverture et gravitaire en baisse
 - Croissance rampes en nombre mais petites machines
 - Surface irriguée: 1.4 à 1.9 Mha



Distribution des surfaces par matériel (base Agreste 2007)





Parcs Français de matériel

ETUDE DGPAAT-2009

- **Canons à enrouleur**
 - Age moyen 7ans, Variation 5 à >15ans suivant régions et productions
 - Céréales machines récentes, Fourrages machines anciennes
 - Problèmes de pression avec croissance des tailles → motorisation
 - Parc croissant de vieilles machines à poste fixe
- **Pivots et rampes frontales**
 - Durée de vie supérieure à 20ans
 - Renouvellement des pièces mécaniques régulier
 - Busages non renouvelés avant défaut visible
 - Pivots Rampes ou multi-centres: souvent fixées après quelques années
- **Couvertures d'asperseurs**
 - Souvent très anciennes sauf installations basses pression
 - Problème de main d'œuvre amène à changer
- **Irrigation localisée**
 - Durée de vie moyenne 5ans, minimum 3ans, potentielle >10ans
 - Fréquents problèmes de filtration inadaptée → systèmes jetables



Conclusion: Parcs Français de matériel

- Marges de réduction/optimisation des consommations
 - Régulation des pressions au canon
 - Contrôle technique périodique des enrouleurs
 - Amélioration du pilotage
 - Sondes, Asservissement au vent pour aspersion, Avertissement...
 - Augmenter l'efficacité de l'eau
 - Diagnostic ou surveillance des équipements
 - Renouvellement et entretien des équipements
 - Conversion canons vers pivots ou rampes
- Les questions des agriculteurs
 - Comment réduire les consommations énergétiques?
 - Lien consommations en Énergie et en Eau
- L'irrigation reste la meilleure assurance de revenu





Enrouleurs équipés de canon ou rampe

PLUS DE 50% DES SURFACES EN FRANCE

- Canon à enrouleur: l'idéal en irrigation de complément

+	-
Coût d'investissement Coût d'entretien réduits Mobilité et souplesse d'utilisation Robustesse et simplicité Automatisation	Efficiencce fragile Besoin en main d'œuvre Énergie Sensibilité au vent Intensité de l'arrosage (instantanée)

- Rampe sur enrouleur

+	-
Efficiencce potentielle Faible besoin en énergie Coût d'entretien réduits Simplicité de conception Sensibilité au vent réduite Automatisation	Coût d'investissement Besoin en main d'œuvre Mobilité et souplesse d'utilisation Intensité de l'arrosage (moyenne) Robustesse de la rampe Stabilité en terrain accidenté



Enrouleurs quelles évolutions et perspectives?

- Taille des machines (850m) = Motorisation
- Automatisation des réglages:
 - Alarmes, gestion par smartphone
 - Angle de secteur du canon
 - Début/Fin de position (Dipalma, Komet)
 - En fonction de la forme de parcelle...
 - En fonction de la vitesse du vent et de sa direction...
 - Angle de jet: réduire les effets du vent...
 - Vitesse d'enroulement
- Rampes plus longues (90m) plus hautes (3m)
- Mini-rampes
- Rendement énergétiques enroulements < 15%



Pivots et Rampes Frontales

PLUS DE 35% DES SURFACES EN FRANCE

- Pivot : simplicité et robustesse

+	-
<p>Coût d'investissement (taille+) Besoin en main d'œuvre Sensibilité au vent réduite Uniformité → Efficience Fertigation et Chimigation Énergie, Fréquence de passage Automatisation</p>	<p>Coût d'investissement (taille-) Système fixé à une parcelle Intensité de l'arrosage (suivant taille) Réglage Canon d'extrémité Forme topographie de parcelle</p>

- Rampes frontales, Pivots déplaçables

+	-
<p>Adaptation a forme de parcelle Faible besoin en énergie Mobilité et souplesse d'utilisation Sensibilité au vent réduite Automatisation</p>	<p>Coût d'investissement Besoin en main d'œuvre Coût d'entretien Topographie parcelle</p>

Rampes quelles évolutions et perspectives?

- Progrès dans les composants
 - Tubes, galvanisation et chemisage
 - Mécanique plus fiable, optimisation de structure (poids, stabilité)
- Taille des travées >60m
- Surveillance et Gestion à distance
 - Alarmes, suivi position, croisements, guidage GPS
 - Gestion des opérations spéciales: chimigation
 - Prémices de l'irrigation de précision
- Fin de rampe: porte à faux escamotables (GPS)
- Pression de fonctionnement en baisse
 - Asperseurs spécifiques (portée > 6m pour 1bar)
 - Contrôle de l'énergie cinétique de l'arrosage...
- Mini-rampes, Pivot à alimentation solaire



Goutte à goutte

PLUS DE 7% DES SURFACES EN FRANCE

- Goutte à goutte de surface

+

Besoin en main d'œuvre
Insensibilité aux conditions climatiques
Uniformité → Efficacité
Fertigation et Chimigation
Énergie, Fréquence d'irrigation
Automatisation

-

Coût d'investissement
Système fixé à une parcelle
Besoin en énergie finale
Conditionnement de l'eau
Durée de vie → Uniformité & Efficacité
Ravageurs

- Goutte à goutte enterré

+

Pas de mauvaises herbes
Pas d'obstacle sur la parcelle
Efficacité potentielle maximum

-

Coût d'investissement/durabilité
Levée par temps sec
Coût/Soin d'entretien
Passages et écrasement
Intrusions racines et particules de sol

Goutte à goutte quelles évolutions et perspectives?

EN ENTERRÉ LES DIFFICULTÉS SONT RENFORCÉES – POTENTIEL MAXIMUM DE PRODUCTIVITÉ

- Baisse des débits des goutteurs
 - $<0.5\text{l/h}$, on parle de 0.3l/h
 - Goutteurs PC
- Résistance au vieillissement
 - Colmatage essentiellement:
 - Goutteurs à écoulement turbulent
 - Goutteurs anti-siphon
 - Herbicide/Répulsif racines
 - Méthodes de nettoyage
 - Recyclage des déchets: problème en enterré
- Fertigation généralisée, et la Chimigation?
 - Intervention en curatif plus que préventif
- Asservissement de l'irrigation à capteurs sol
- Goutte à goutte enterré...



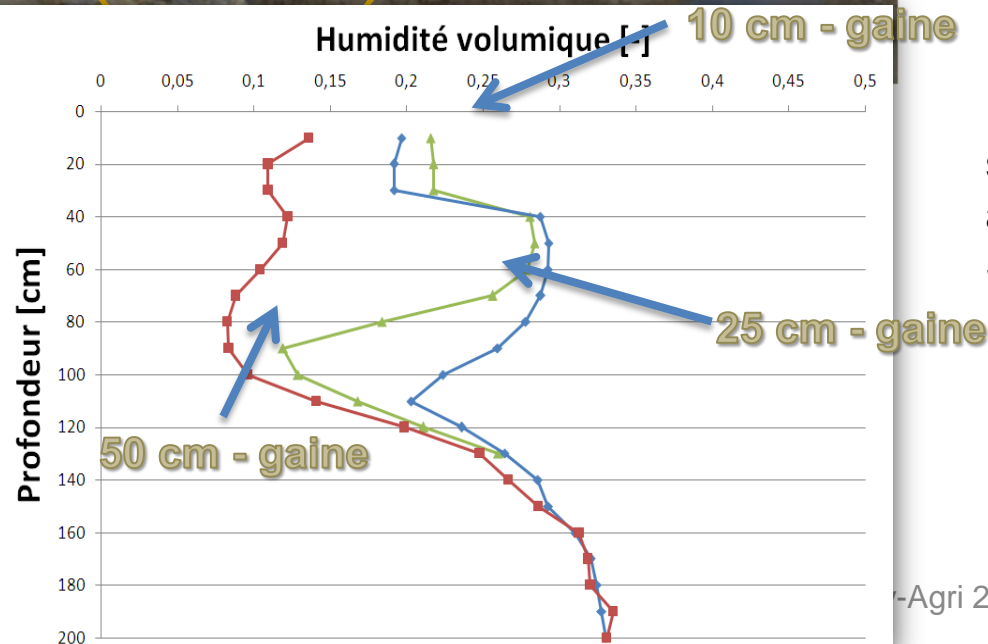
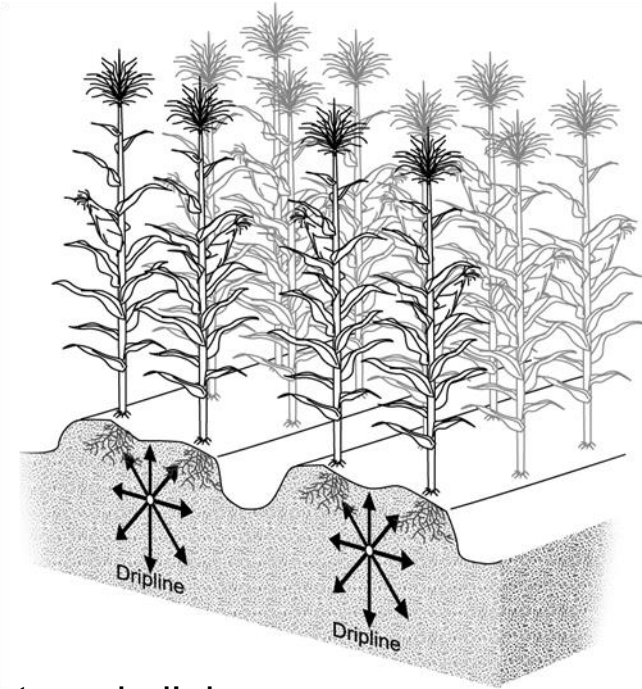


Goutte à goutte enterré: intérêts et limites

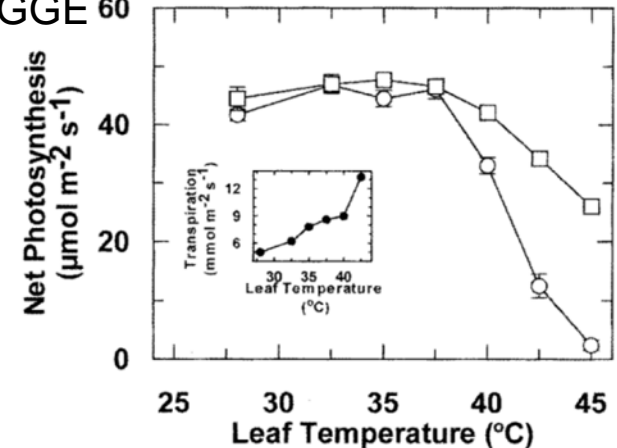
- Économie par rapport à aspersion (même niveau de conduite)
 - Eau de 0 jusqu'à 20% et Azote de 0 jusqu'à 30%
 - Moins de mauvaises herbes
- Pas d'obstacles mais géolocalisation des lignes requise
- En cas de printemps sec:
 - Besoin d'un à deux passages d'aspersion
- Coût d'installation 3 à 4.5k€/ha
 - Réseau maillé, Soupapes casse vide, Compteurs, Manomètres, Filtre à lavage automatique,
 - Traitements chimiques (Chlore, Acide, H₂O₂, Bactéricide...)
 - Rentabilité potentielle élevée... sauf années humides
- Suivi d'humidité dans le sol: déterminant
- Tests en cours sur maïs sans labour... (prof 0.2m)

Approche expérimentale du goutte à goutte enterré

BEAUCOUP D'ESPOIR MAIS UNE TECHNOLOGIE DIFFICILE



Effet température de l'air sur photosynthèse en aspersion et GGE 60 Sur Maïs



Résultats sur Lavalette (2011) à l'échelle de l'ha

No	Traitement	Grain (Qx/ha)	PEI (kg/m ³)	PNA (kg/U d'N)
1	Lab-Asp Etm(0N)	68	0,44	-
2	Lab-Asp Etm	161	3,20	23,37
3	Lab-Asp 50%Etm	102	3,12	17,62
4	Lab-Pluv	54	-	-
5	Lab-GGE120	156	4,10	37,93
6	Lab-GGE160	138	3,50	30,17
7	Lab-GGE80	165	4,17	41,81
8	Sd-GGE80	175	3,78	37,60
9	Sd-GGE160	113	1,98	12,18
10	Sd- GGE160 Etm	162	3,41	32,77
11	Sd-Asp Etm (0N)	84	0,84	-
12	Sd-Asp Etm	158	3,18	19,12
13	Sd-Pluv	59	-	-

Lab=Labour ; GG=goutte à goutte de surface ; GGE=Goutte à goutte enterré ; Sd=Semi direct

PEI: Productivité de l'eau d'irrigation en kg grain par m³ d'eau d'irrigation

PNA: Productivité de l'azote appliqué en kg grain par Unité d'N appliqué

Année avec printemps et juillet humides

Modalité irriguées à l'ETM meilleure e, GGE ou équivalentes si bien conduites

GGE donne de bons résultats en productivité de l'eau et de l'azote (pas de concurrence de mauvaises herbes)

Écartement de 160 trop élevé pour ces sols limoneux

En aspersion peu de différence entre labour et non labour (2 et 12), si pas d'azote (1 et 11) le non labour est meilleur



(F. Chapelin, 2012)



Lab-GGE 160
(début août)



Quelques idées sur l'irrigation de précision

LA BONNE DOSE QUAND, LÀ ET OÙ IL FAUT

- **Division de la parcelle en zone indépendantes**
 - Taille dépendant de l'échelle de commande
 - Groupe d'asperseurs sur les rampes
 - Bloc d'irrigation en goutte à goutte ou couverture intégrale
 - Demie bandes d'arrosage pour canons
 - Connaissance de l'état hydrique du sol avant irrigation
 - Cartographie du sol
 - Capteurs distribués ou observation aérienne
 - Images aériennes ou satellite des plantes, capteurs micro ondes embarqués (rampes)
 - Connaissance de l'état hydrique et nutritionnel du végétal
 - Images aériennes (couleurs, IR, radar...), ou capteur embarqué
 - Capteurs plantes (flux de sève, couleur feuilles...)
- **Modélisation des besoins et application différenciée**
 - Cartographie des apports, simulation de croissance
 - Actuellement seule prise en compte cartes de sols
- **Fertigation & Chimigation deviennent faciles et sûres**
 - Respect des engagements -50% de pesticide à 2015

Irrigation de précision Valley Valmont (VRI)

- Variation de vitesse
- Variation de dose
- Carte prédéfinie

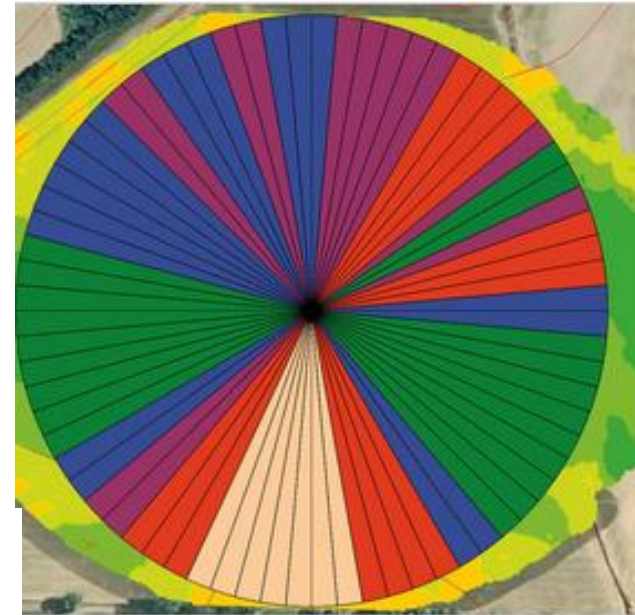
Thèse A.Zanolin (2005)

- Carte potentialités du sol
- Dose réduite de 25% sur travée 5
- Carte de rendement machine
- A coupler avec semi à densité variable et fertigation

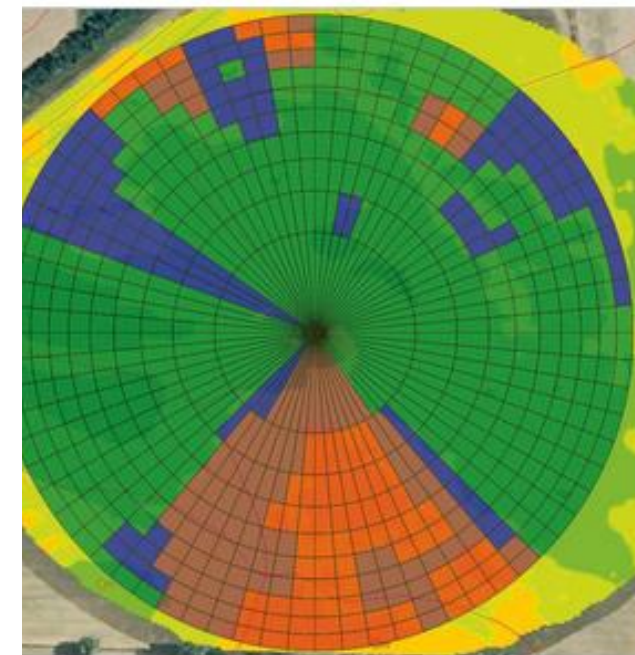
Rendements en grain 2000 humidité corrigée

Rendements en qn/ha

- 90
 - 95
 - 100
 - 105
 - 110
 - 115
 - 120
 - 125
 - 130
 - 135
 - 140
 - 145
 - 150
- ~ contours des U.C.S.
~ contours des couronnes
~ parcellaire



VRI Speed Control
One slice is one sector



VRI Zone Control
One block is one management zone



Précision de l'application en micro-irrigation

LE PLUS FORT POTENTIEL DE RATIONNEMENT

- **Micro-irrigation**

- Prolonger la durée de vie des installations

- **Maîtrise du colmatage (vieillesse)**

- Conception (turbulence de l'écoulement)

- Nettoyage des installations

- Apport localisé à faible débit

- **Connaissance de la mécanique des écoulements**

- Les modèles mécaniques classiques ne fonctionnent pas

- Transport/dépôts de particules

- Fiabiliser le goutte à goutte enterré

- Associer travail minimum et goutte à goutte enterré



Et pour en savoir un peu plus...



Précision de l'irrigation: en aspersion

ÉCONOMIE D'EAU ET MAITRISE DE LA DISPERSION EN CHIMIGATION

- Maitrise de la dérive et du transport
 - Dispersion d'un jet d'eau en pluie
 - Portée, Intensité → Tolérance structure du sol
 - Intensité et ruissellement
 - Sensibilité au vent → dérive
 - Taille des gouttes produites
 - Évaporation et transport:
 - Taille des gouttes: surface d'échange
 - Vecteur de pollution, de pathogènes en Reuse?
 - En cas de traitement par aspersion → Prescriptions de sécurité dérivée des étude Reuse :
 - Distance de protection: de 1 (>20m) à 2 (<10m) fois la portée
 - Vitesse du vent limite: 3 à 5m/s? ou force 3 (12-19km/h)?

Observations

100kPa



250kPa



350kPa



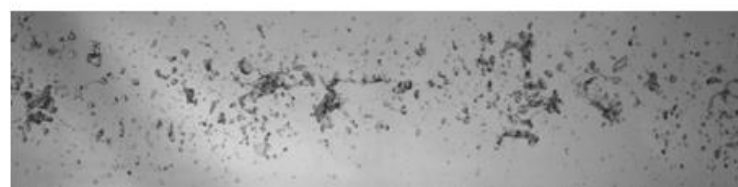
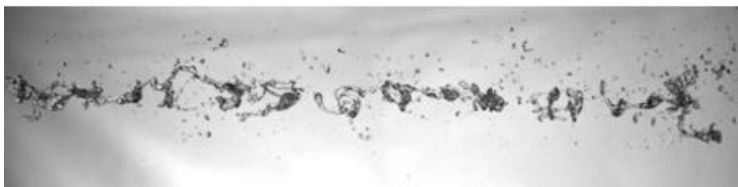
100kPa



250kPa

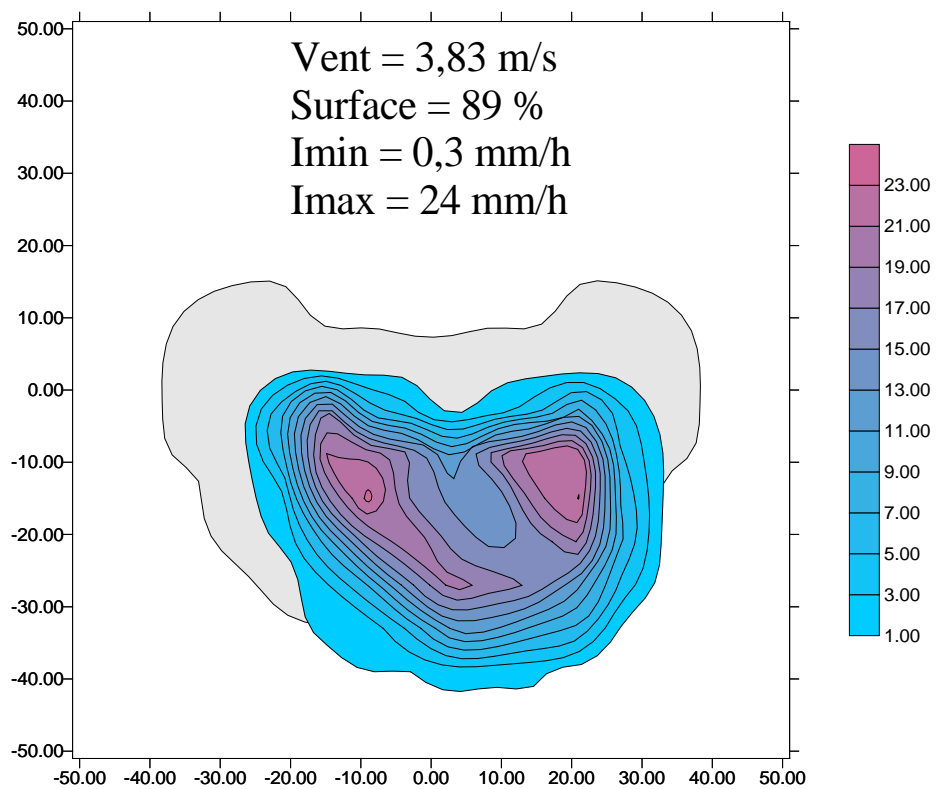


350kPa



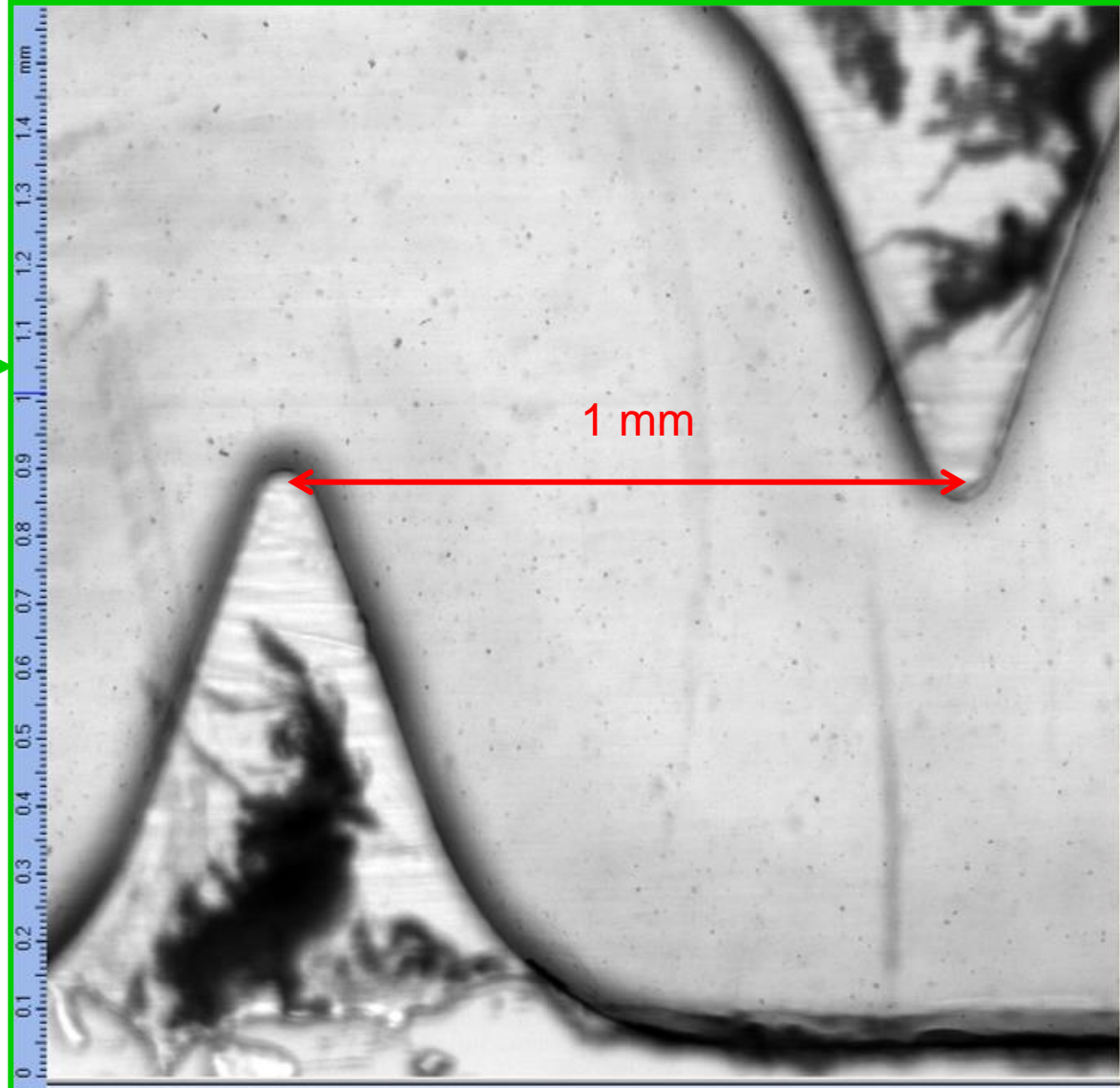
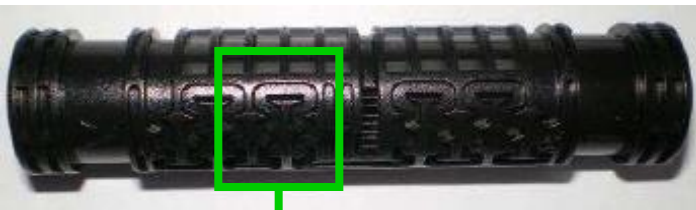
$210 < X/D < 285$

$570 < X/D < 645$





PIV et PTV dans le labyrinthe d'un goutteur (thèse en cours...)



- Labyrinthe: 1 mm² section
- Bentonite particules (~ 5 μm)



Conclusions: de la précision de l'irrigation à l'irrigation de précision

- Intégrer différentes sources d'informations et les coordonner
 - Observations
 - Long terme: profondeur et qualité de sol
 - Moyen terme: densité de semis/qualité de levée, réserve en eau
 - Court terme: comportement du couvert (eau, azote, ravageurs), réserve en eau
 - Raisonnement intégré
 - Recours aux modèles
 - Planification des apports stratégique et tactique conjointement
- Garantir un niveau de performance constant
 - Prédire ce qu'on va apporter et le réaliser
 - Pour ça il faut des modèles (dispersion, goutteurs, transferts)
- Collecte d'information et de données
 - Baisse du coût des moyens de mesure
 - Développement des réseaux MtoM

Taille critiques des gouttes et volumes en jeu

Canon Komet Twin 101 Plus, buse 22mm

Pression de fonctionnement (bar)	3.5		4.5		5.5	
Débit délivré (m³/h)	35.3		41.0		44.2	
Volume (l/h) & % gouttes <0.15mm	11.4	0.03%	22.6	0.06%	27.1	0.06%
Volume (l/h) & % gouttes <0.40mm	125.6	0.35%	227.6	0.56%	271.3	0.61%
Portée (m) Dérive	42.0	18%	47.0	18%	50.5	21%

Turbine Rain Bird EAGLE 750 S

Pression de fonctionnement (bar)	4.5		5.5		6.5	
Débit délivré (m³/h)	5.19		5.85		7.01	
Volume (l/h) & % gouttes <0.15mm	2.6	0.05%	1.9	0.03%	2.0	0.03%
Volume (l/h) & % gouttes <0.40mm	28.1	0.54%	21.1	0.36%	24.6	0.35%
Portée (m) Dérive	22.2	20%	23.5	20%	23.5	19%

Asperseur Rain Bird 46 WH

Pression de fonctionnement (bar)	2.5		3.5		4.5	
Débit délivré (l/h)	1530		1789		2100	
Volume (l/h) & % gouttes <0.15mm	4.7	0.30%	3.1	0.17%	4.8	0.23%
Volume (l/h) & % gouttes <0.40mm	64.8	4.23%	75.0	4.19%	118.1	5.62%
Portée (m) Dérive	13.5	25%	14.0	30%	14.5	37%

Turbine Rain Bird 5000 plus

Pression de fonctionnement (bar)	2.0		3.0		4.0	
Débit délivré (l/h)	489		601		716	
Volume (l/h) & % gouttes <0.15mm	0.9	0.19%	2.11	0.35%	3.1	0.43%
Volume (l/h) & % gouttes <0.40mm	21.5	4.42%	38.81	6.46%	55.3	7.73%
Portée (m) Dérive	11.5	17%	12.5	23%	12.5	28%

Asperseur Nan-Dan 5022 U

Pression de fonctionnement (bar)	2.5		3.0		3.5	
Débit délivré (l/h)	575		657		700	
Volume (l/h) & % gouttes <0.15mm	7.0	1.2%	11.9	1.8%	17.5	2.5%
Volume (l/h) & % gouttes <0.40mm	66.1	11.5%	96.7	14.7%	165.4	23.6
Portée (m) Dérive	10.0	18%	10.3	20%	10.2	16%

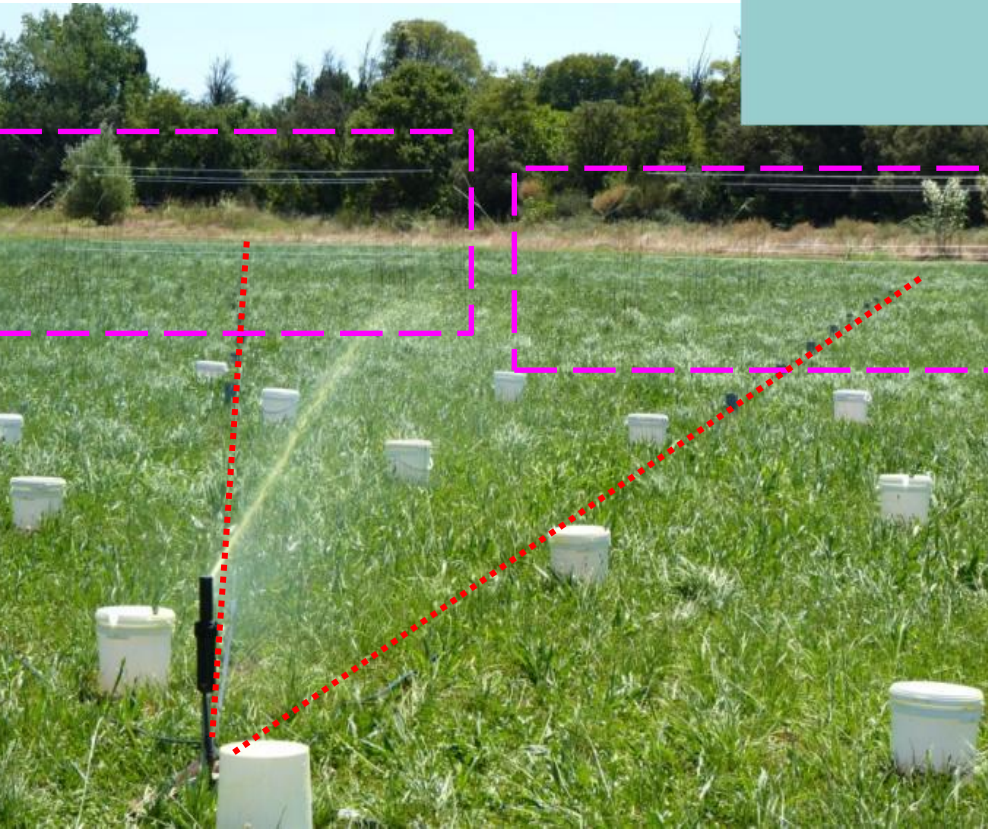
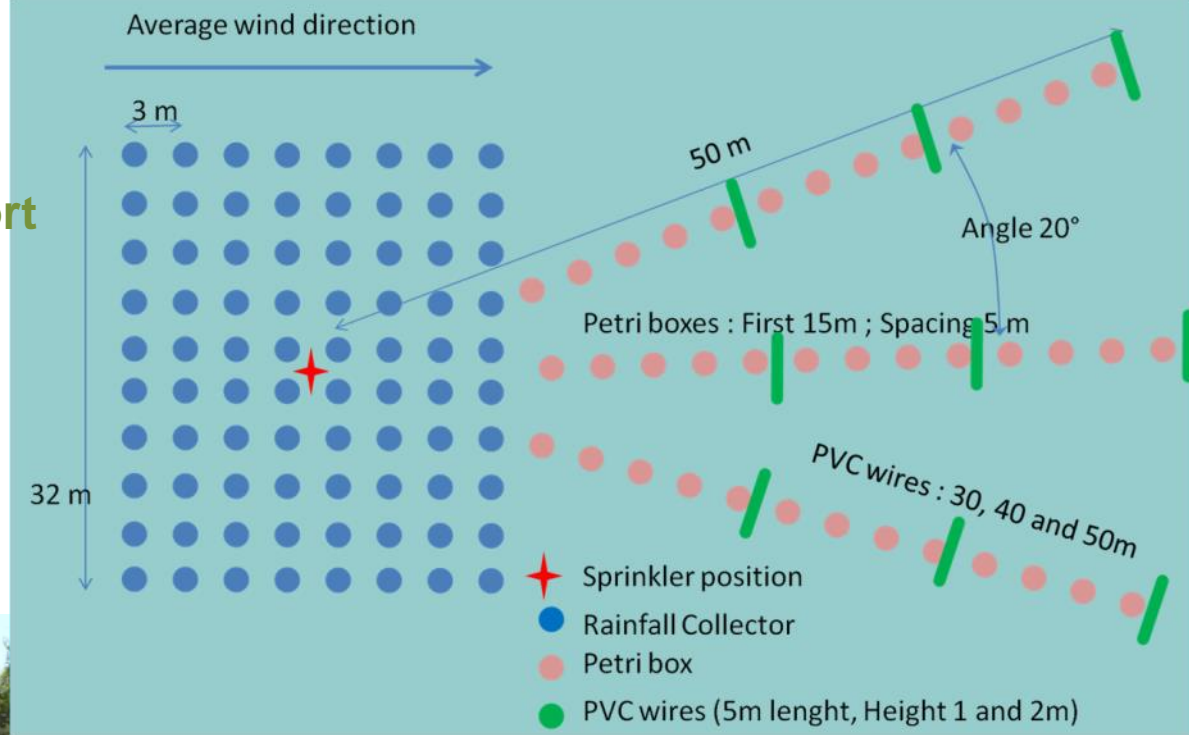
Micro-asperseur Nan-Dan Hadar 7110

Pression de fonctionnement (bar)	2.5		3.0		3.5	
Débit délivré (l/h)	87.7		99.0		127.2	
Volume (l/h) & % gouttes <0.15mm	5.3	6.1%	7.0	7.1%	7.6	6.0%
Volume (l/h) & % gouttes <0.40mm	54.0	61.7%	78.0	78.8%	94.1	74.0%
Portée (m) Dérive	3.8	34%	3.9	37%	3.75	29%

Micro-asperseur Nan-Dan Turbojet

Pression de fonctionnement (bar)	2.5		3.0		3.5	
Débit délivré (l/h)	31.1		36.7		35.7	
Volume (l/h) & % gouttes <0.15mm	1.7	5.5%	0.2	0.5%	0.5	1.3%
Volume (l/h) & % gouttes <0.40mm	14.3	46.1%	4.82	13.1%	7.10	21.0%
Portée (m) Dérive	2.25	39%	3.0	22%	3.75	21%

Approche expérimentale
De la dérive et du transport
Eau colorée et dosage de
colorant à concentration
très faible → mesure du
transport





Dérive sous le vent jusqu'à 50m,

Pour 6m/s de vent:
Volume déposé,
boites de Pétri
<0.5ml/m²/h

Volume en transit
Fils PVC (1 et 2m)
<1ml/m²/h

