

# Améliorer l'efficacité de l'irrigation

## Quelles économies d'eau réalisables à la parcelle ?



14 Juin 2023

Claire WITTLING

UMR G-EAU – Montpellier - FRANCE

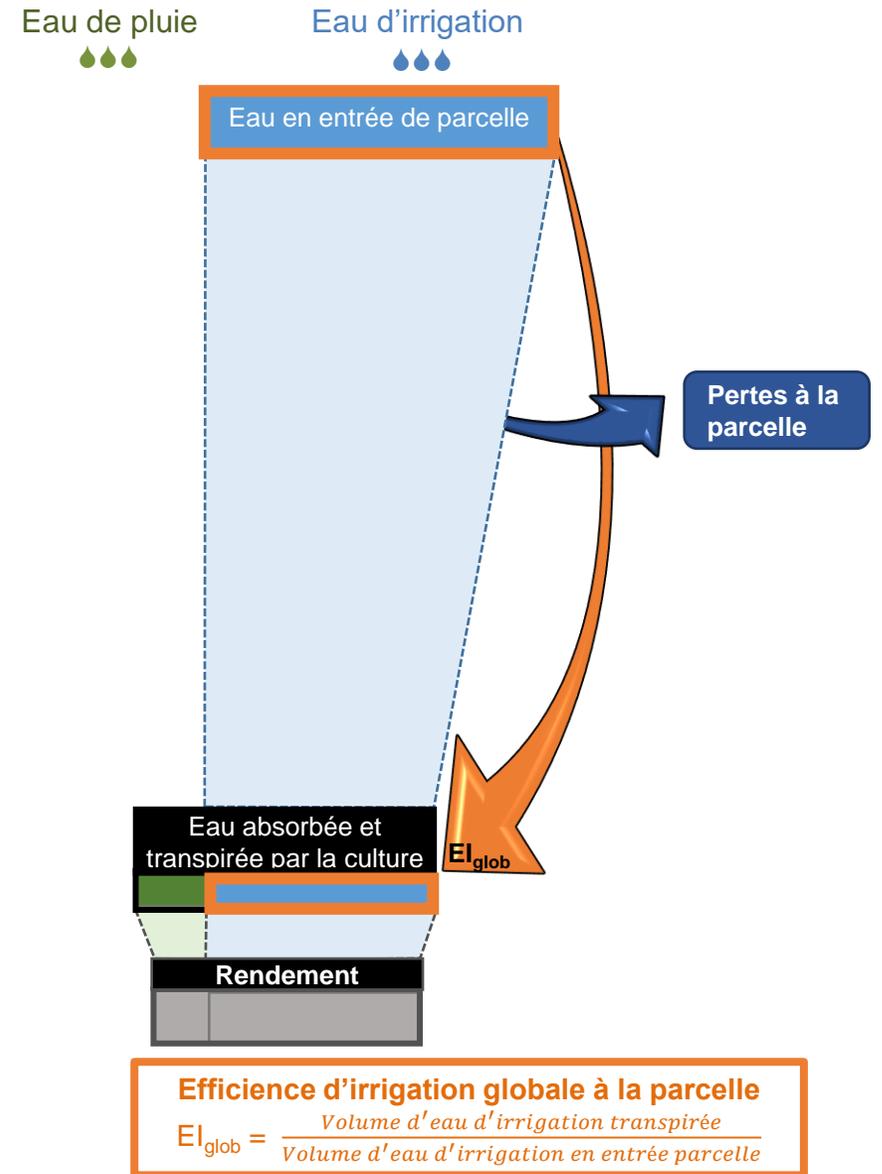
[claire.wittling@inrae.fr](mailto:claire.wittling@inrae.fr)

**INRAE**

  
Gestion de l'Eau, Acteurs, Usages

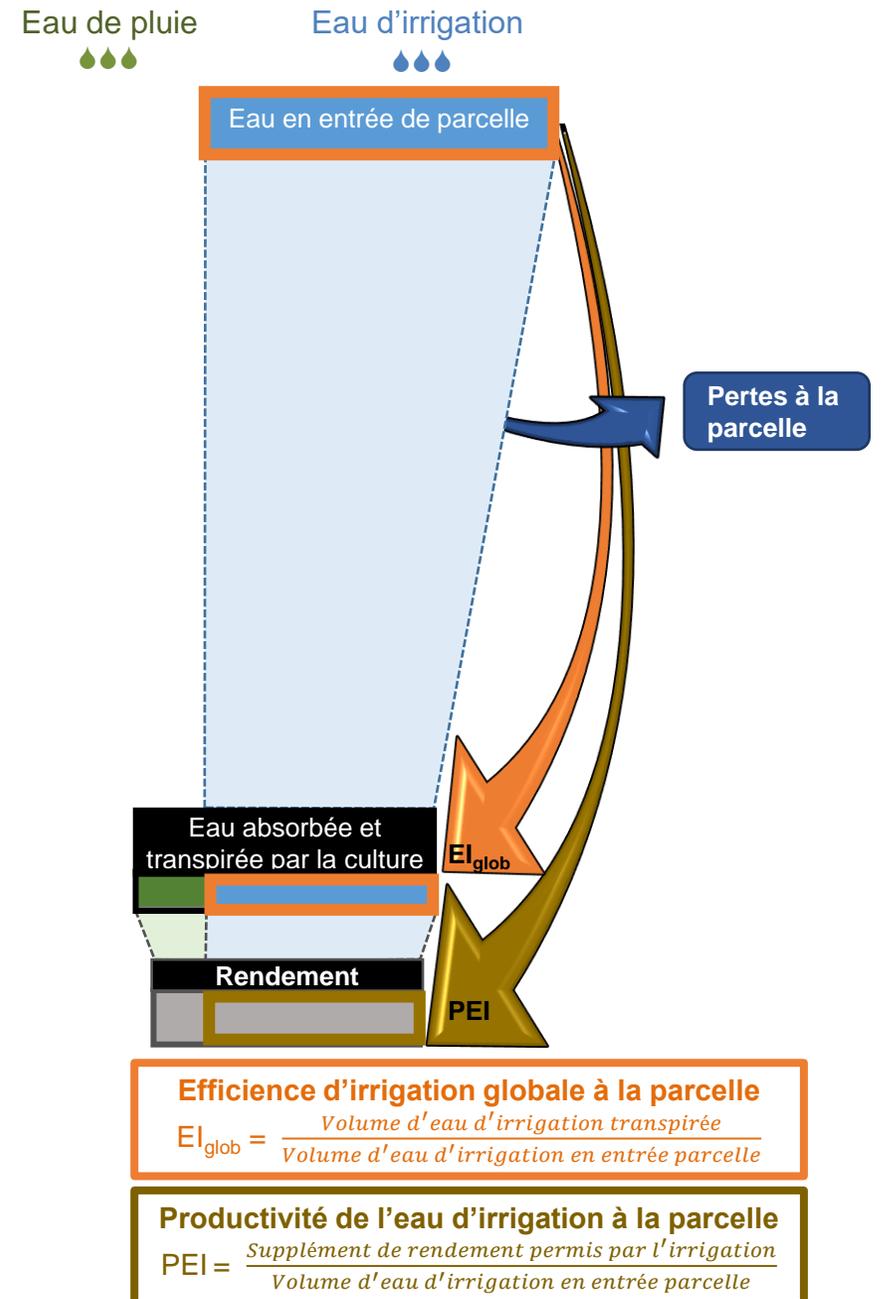
# 1. Qu'est-ce que l'efficacité de l'eau d'irrigation ?

➤ Efficience d'irrigation globale



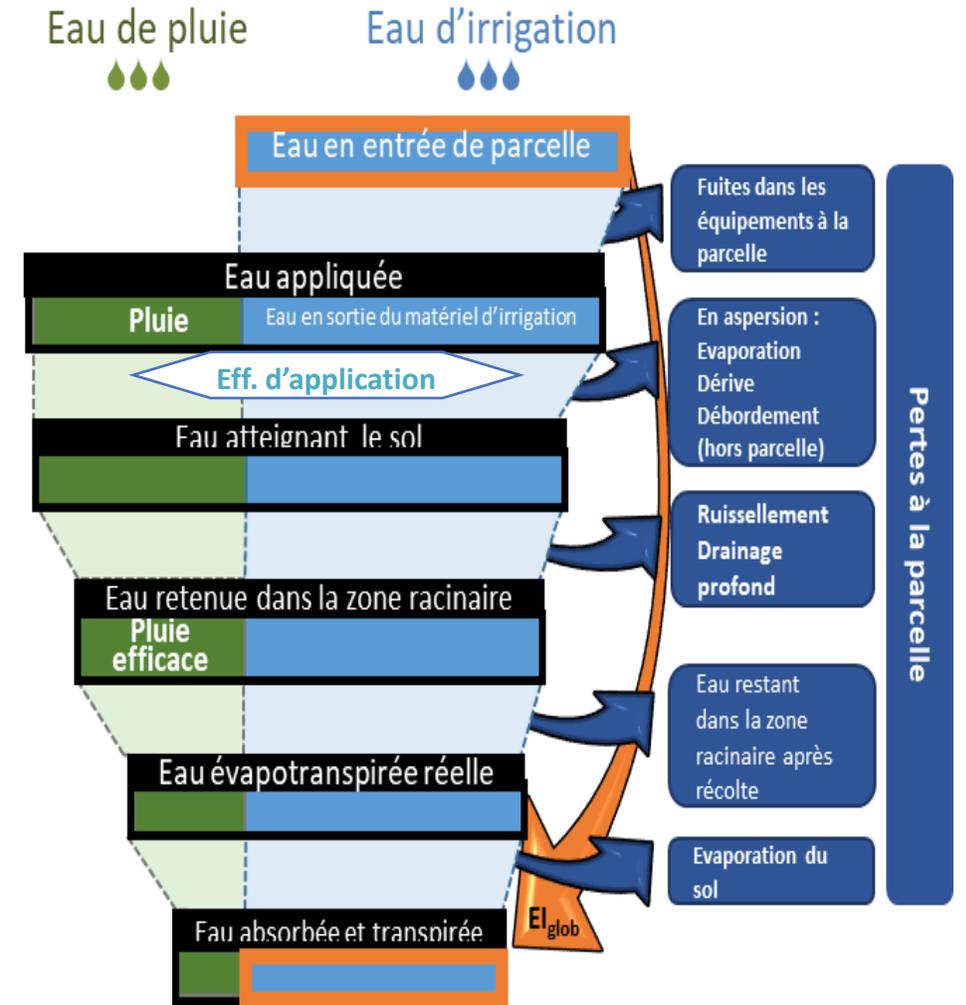
# 1. Qu'est-ce que l'efficience de l'eau d'irrigation ?

- Efficience d'irrigation globale
- Productivité de l'eau d'irrigation



# 1. Qu'est-ce que l'efficacité de l'eau d'irrigation ?

- Efficacité d'irrigation globale
  - Productivité de l'eau d'irrigation
  - Les étapes du cheminement de l'eau d'irrigation dans la parcelle
  - Cas particulier de l'efficacité d'application
- 
- **Améliorer l'efficacité de l'irrigation à la parcelle = réduire les pertes d'eau d'irrigation**

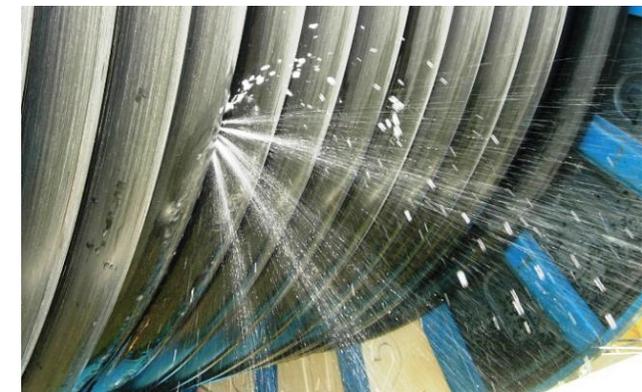
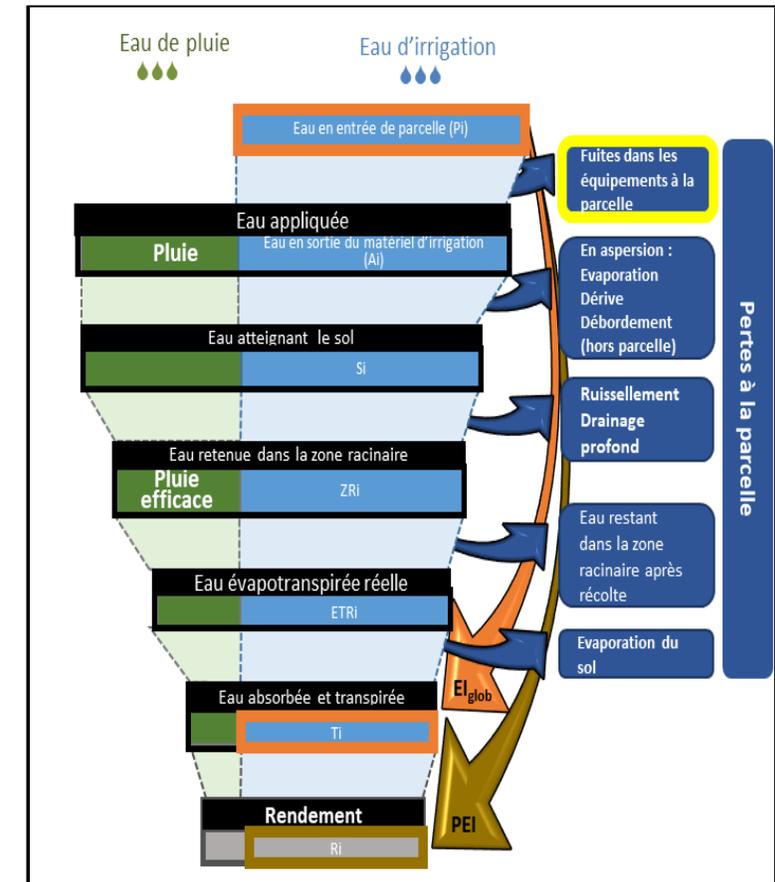


**Efficacité d'irrigation globale à la parcelle**

$$E_{glob} = \frac{\text{Volume d'eau d'irrigation transpirée}}{\text{Volume d'eau d'irrigation en entrée parcelle}}$$

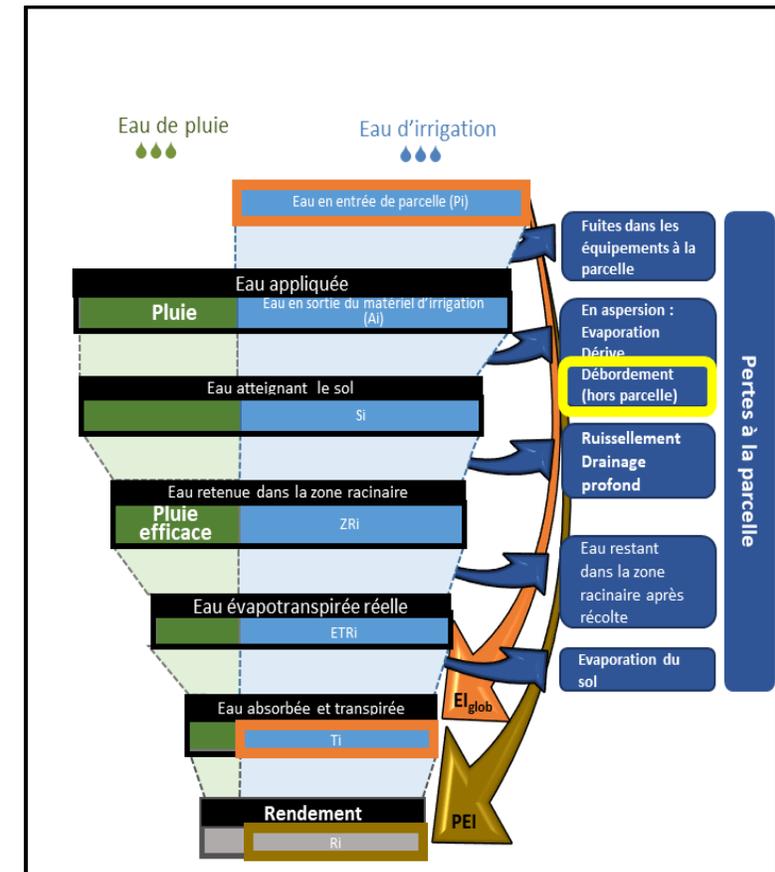
# 2. Les pertes d'eau d'irrigation dans la parcelle

- *Fuites dans les équipements à la parcelle*  
→ jusqu'à 5-10% de pertes
- Vétusté du matériel et son mauvais entretien
- Couverture intégrale : fuites nombreuses et de faible débit.
- Enrouleurs et pivots : fuites accidentelles, faciles à identifier
- Goutte-à-goutte : fuites par endommagement des gaines (pincements, dégâts par les oiseaux ou les insectes), difficiles à repérer, encore plus lorsqu'elles sont enterrées.



## 2. Les pertes d'eau d'irrigation dans la parcelle

- *Débordement hors parcelle*
- Essentiellement avec le canon enrouleur  
⇒ Eau perdue sur parcelles voisines ou sur route bordant le champ
- Gravitaire  
⇒ Colatures  
= volume ruisselé en dehors de la parcelle  
Peut être recueilli dans un fossé de colature et rejoindre un réseau de drainage ou être réutilisé pour d'autres parcelles  
Parfois possibilité de boucher les extrémités pour éviter ce ruissellement (donc avec un volume infiltré en profondeur plus important)



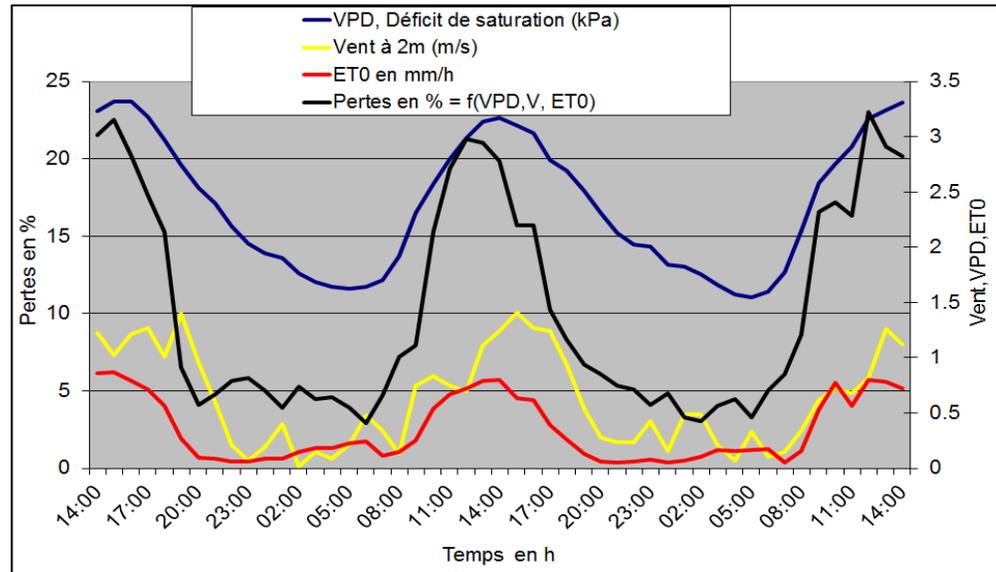
# 2. Les pertes d'eau d'irrigation dans la parcelle

- *Evaporation directe (aspersion)*

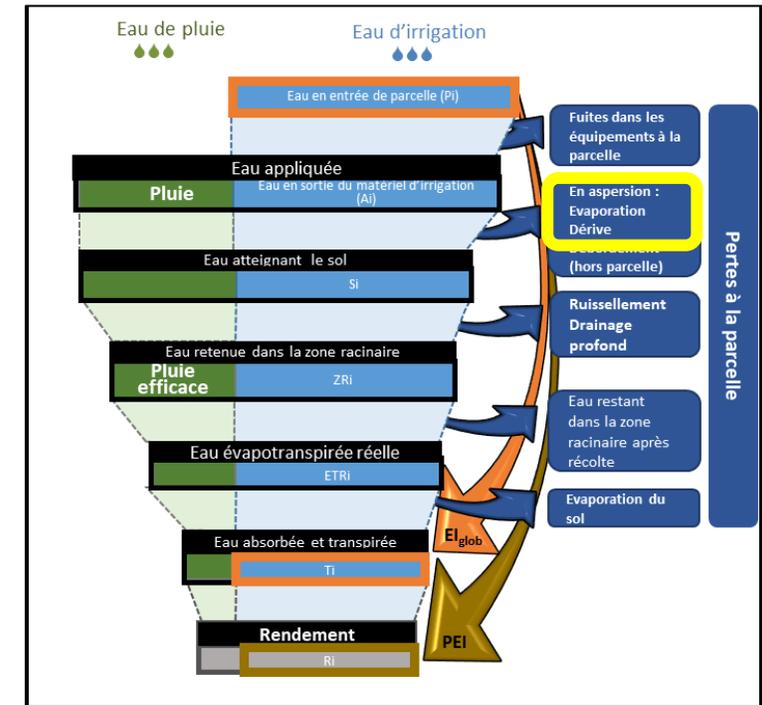
Ex : journée caniculaire de 2003 (Hendawi, 2007)

Pertes ponctuellement > 20%

→ Pertes < 9% sur 24h



Pertes d'eau d'irrigation par évaporation directe pour un asperseur de couverture intégrale isolé fonctionnant à 3,5 bar, au cours de la journée du 6 août 2003 (Hendawi, 2007)



- *Dérive et transport dus au vent (aspersion)*

**Dérive** = déplacement du périmètre mouillé à l'intérieur de la parcelle

**Transport** = exportation hors de la parcelle

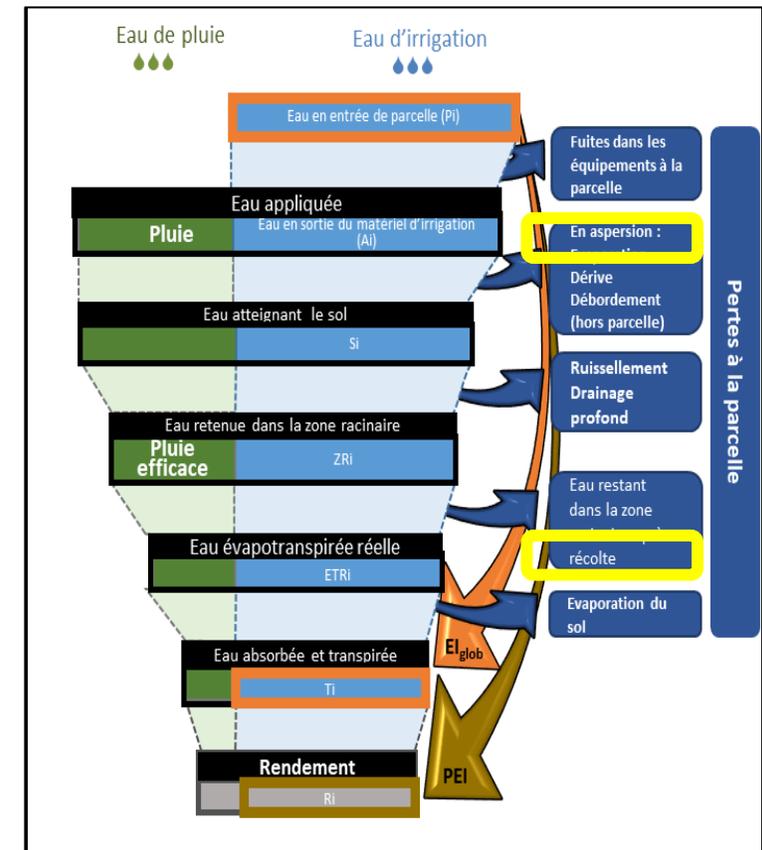
Pertes plus importantes que les pertes par évaporation directe

Ex : maïs (Merchan et al, 2015)

→ Perte par évaporation directe + dérive = 15% sur la saison culturale

## 2. Les pertes d'eau d'irrigation dans la parcelle

- *Interception par la canopée (aspersion)*
  - Une part de cette eau retourne au sol en s'écoulant le long des tiges (stemflow)
  - L'autre part est finalement perdue par évaporation à partir de la surface foliaire  
= 1,5 à 2,5 mm lors de chaque irrigation, pour une culture de maïs après floraison (Lamm et Manges, 2000)  
→ Perte par interception de la canopée : de l'ordre de 1% sur la saison
- *Evapotranspiration des adventices*
  - Les adventices consomment de l'eau => perte d'eau d'irrigation
  - Inversement, elles peuvent créer un tapis végétal, équivalent à un mulch naturel  
=> Limitation des pertes par évaporation du sol



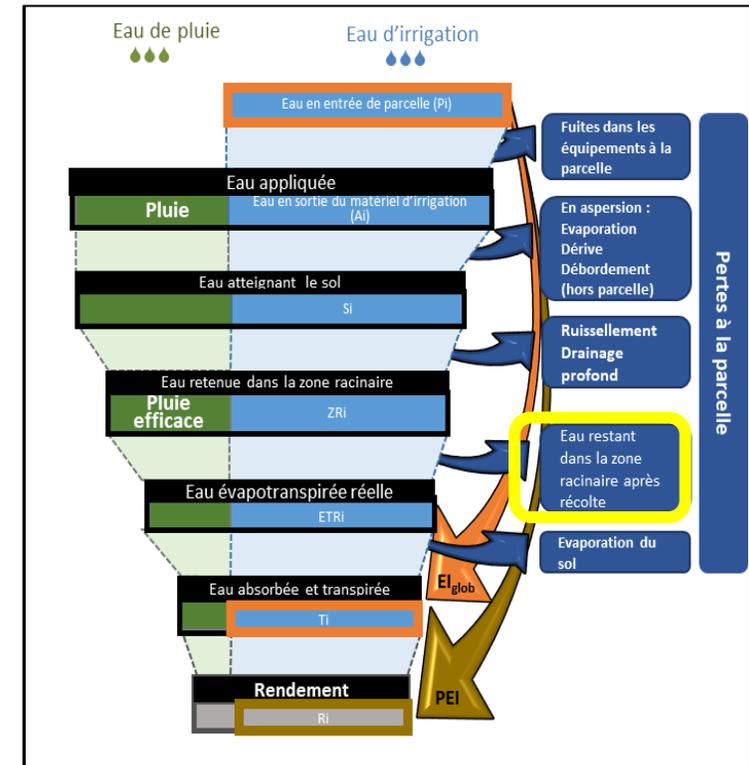
## 2. Les pertes d'eau d'irrigation dans la parcelle

- *Eau d'irrigation restant dans la zone racinaire après la récolte*  
= eau d'irrigation résiduelle dans la zone racinaire après la récolte  
⇒ Perte pour la culture à l'échelle de la saison culturale  
⇒ On aurait pu se passer de cet apport d'eau d'irrigation

*Rq : L'eau d'irrigation résiduelle pourrait éventuellement être réutilisée si une culture ultérieure était installée immédiatement après.*

*Cependant, dans le cas du maïs, 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.*

**!! On parle bien d'eau d'irrigation, l'eau de pluie dans le stock final du sol n'est pas une perte d'eau d'irrigation !!**



## 2. Les pertes d'eau d'irrigation dans la parcelle

- *Ruissellement*

Quand le débit d'apport d'eau d'irrigation est supérieur aux capacités d'infiltration du sol (ex : quand croûte de battance à la surface d'un sol limoneux)

Pente : **ruissellement**

Pas de pente : **flaquage**

*Rq : Energie cinétique des gouttes => érosion par impact direct (effet « splash ») => microtopographie => ruissellement*

*=> 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*

*=> Adapter le débit d'irrigation aux caractéristiques du sol*

- *Drainage profond*

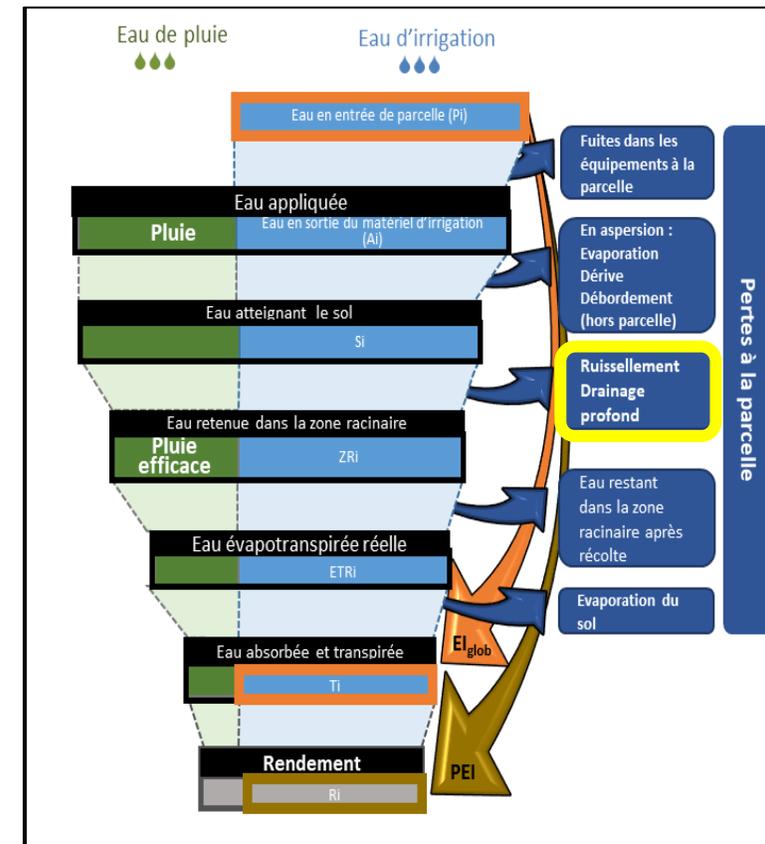
Quand les doses d'irrigation sont supérieures au volume que le sol peut retenir

=> Excédent est drainé sous la zone racinaire => perte pour la culture

=> Importance de connaître la **réserve utile (RU)** du sol et de tenir compte de la participation des pluies au remplissage de la RU

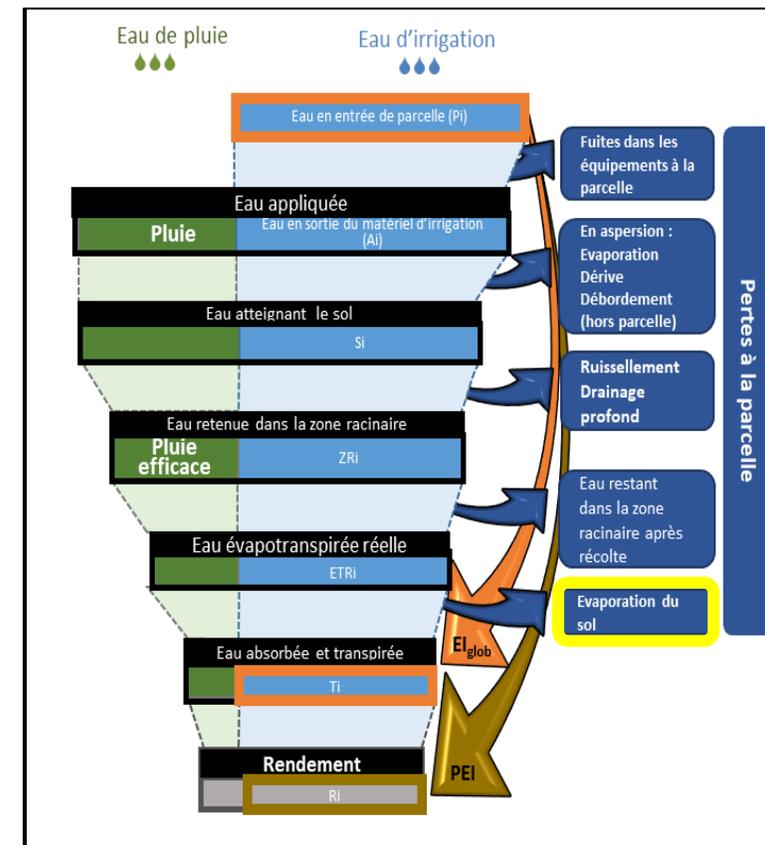
Ex : étude menée en Espagne dans le bassin de l'Ebre sur 55 parcelles irriguées essentiellement par aspersion (Merchan et al, 2015)

→ Pertes moyennes par drainage de 10%



## 2. Les pertes d'eau d'irrigation dans la parcelle

- *Evaporation du sol*
- Part d'eau évaporée par le sol diminue au fur et à mesure que le taux de couverture par la canopée augmente
- Ex : sous un couvert végétal complètement développé part d'eau évaporée en journée par le sol  
→ 10 à 20% de l'eau évapotranspirée (Jara et al, 1998 ; Hsiao et al, 2007)
- Irrigation localisée  
⇒ n'humidifie qu'une partie restreinte du sol  
⇒ limite considérablement l'évaporation  
⇒ Goutte-à-goutte enterré supprime totalement les pertes par évaporation du sol  
Ex : goutte-à-goutte enterré par rapport au goutte-à-goutte de surface  
→ Economie d'eau de 18-41% dans une oliveraie jeune grâce à la réduction de l'évaporation du sol (Bonachela et al, 2001)
- Pratiques culturales visant à diminuer l'évaporation du sol (ex mulching)



# 3. Comment améliorer l'efficacité de l'eau d'irrigation ?

**Améliorer l'efficacité = réduire les pertes en eau d'irrigation**

- **Pertes liées au contexte local** (sol, climat, développement de la culture)  
**= non modifiables**

Ex : parcelle à forte pente, sol à faible réserve utile, situation en une région ventée, végétation encore peu couvrante...

=> Adapter les équipements d'irrigation et les pratiques afin de limiter au mieux leur influence

- **Pertes liées à la technologie** du système d'irrigation, **aux pratiques d'irrigation** (la manière dont est utilisée la technologie), et **aux pratiques culturelles**  
**= leviers à actionner pour réduire les pertes** et améliorer l'efficacité de l'irrigation

# 3. Comment améliorer l'efficacité de l'eau d'irrigation ?

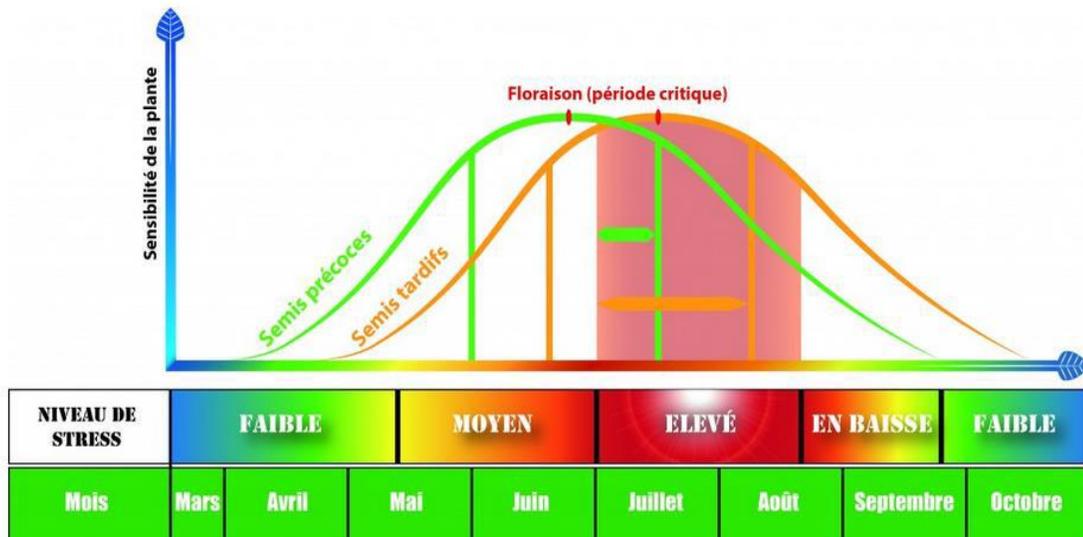
## 3.1. Par les pratiques culturales

➤ Réduire la vulnérabilité au manque d'eau estival

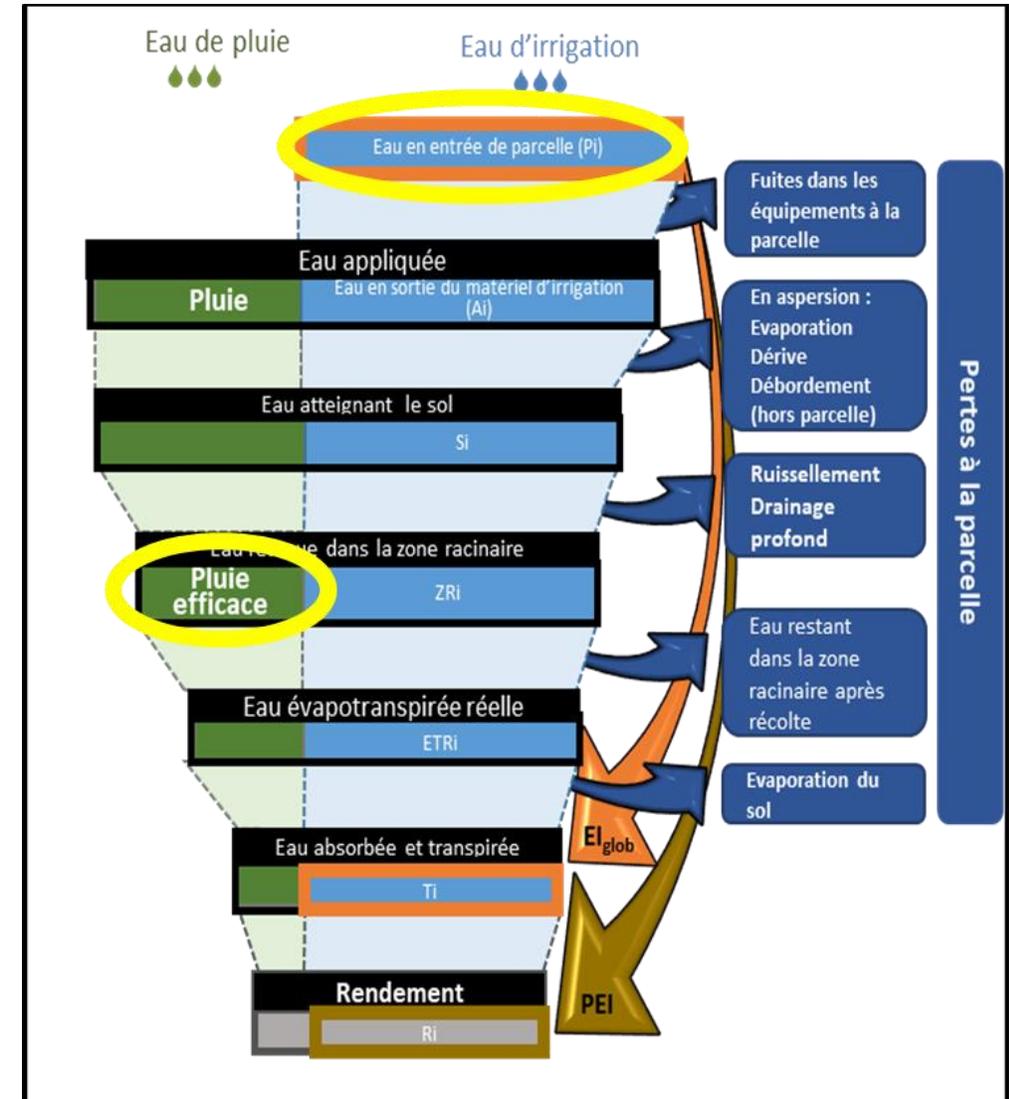
= **Stratégie d'esquive** = Mieux valoriser l'eau de pluie

→ Décaler les stades phénologiques les plus sensibles au déficit hydrique (floraison chez le maïs)

→ Par le choix de **variétés précoces** ou le **semis anticipé**



Sensibilité du maïs au stress hydrique



# 3. Comment améliorer l'efficacité de l'eau d'irrigation ?

## 3.1. Par les pratiques culturales

- Augmenter le volume d'eau pouvant pénétrer dans le sol (infiltration)

= Réduire le ruissellement

- ➔ Cultures en courbes de niveau, billonnage ou griffage du sol, labour, couverture du sol

- Améliorer le stockage d'eau dans la zone racinaire (réserve utile)

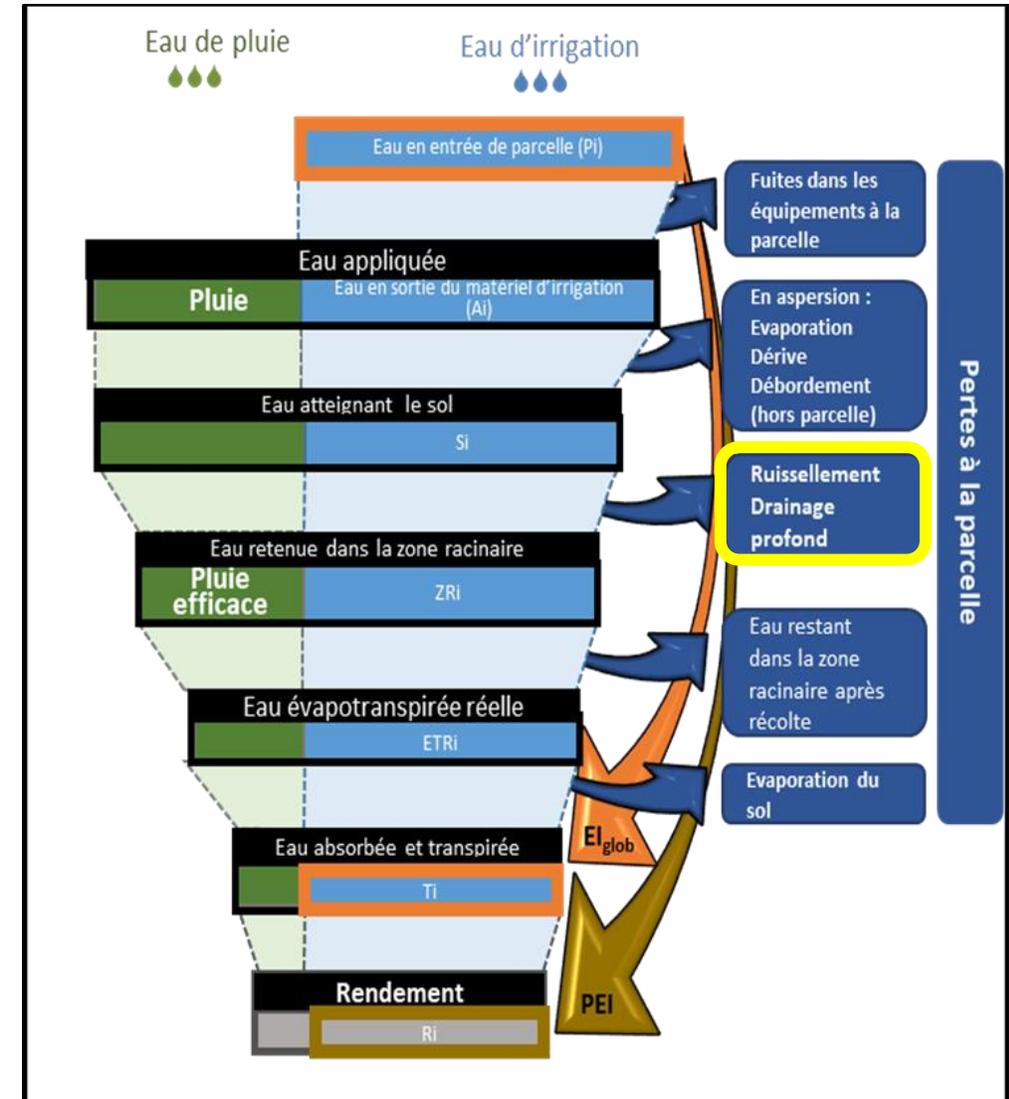
= Réduire le drainage

- ➔ Apport de matières organiques

⇒ améliore la texture du sol, la teneur en humus et l'activité biologique du sol

⇒ meilleure rétention en eau

- ➔ Favoriser l'enracinement profond du couvert végétal



# 3. Comment améliorer l'efficacité de l'eau d'irrigation ?

## 3.1. Par les pratiques culturales

### Exemple de l'agriculture de conservation des sols (ACS)

- Augmenter l'infiltration de l'eau dans le sol

Sol en ACS depuis 15 ans

Sol travaillé en conventionnel



D'après JP SARTHOU, Colloque La conservation des sols et sa biodiversité fonctionnelle, 23/10/2020



# 3. Comment améliorer l'efficacité de l'eau d'irrigation ?

## 3.2. Par le matériel d'irrigation

### ➤ Améliorer les systèmes d'aspersion

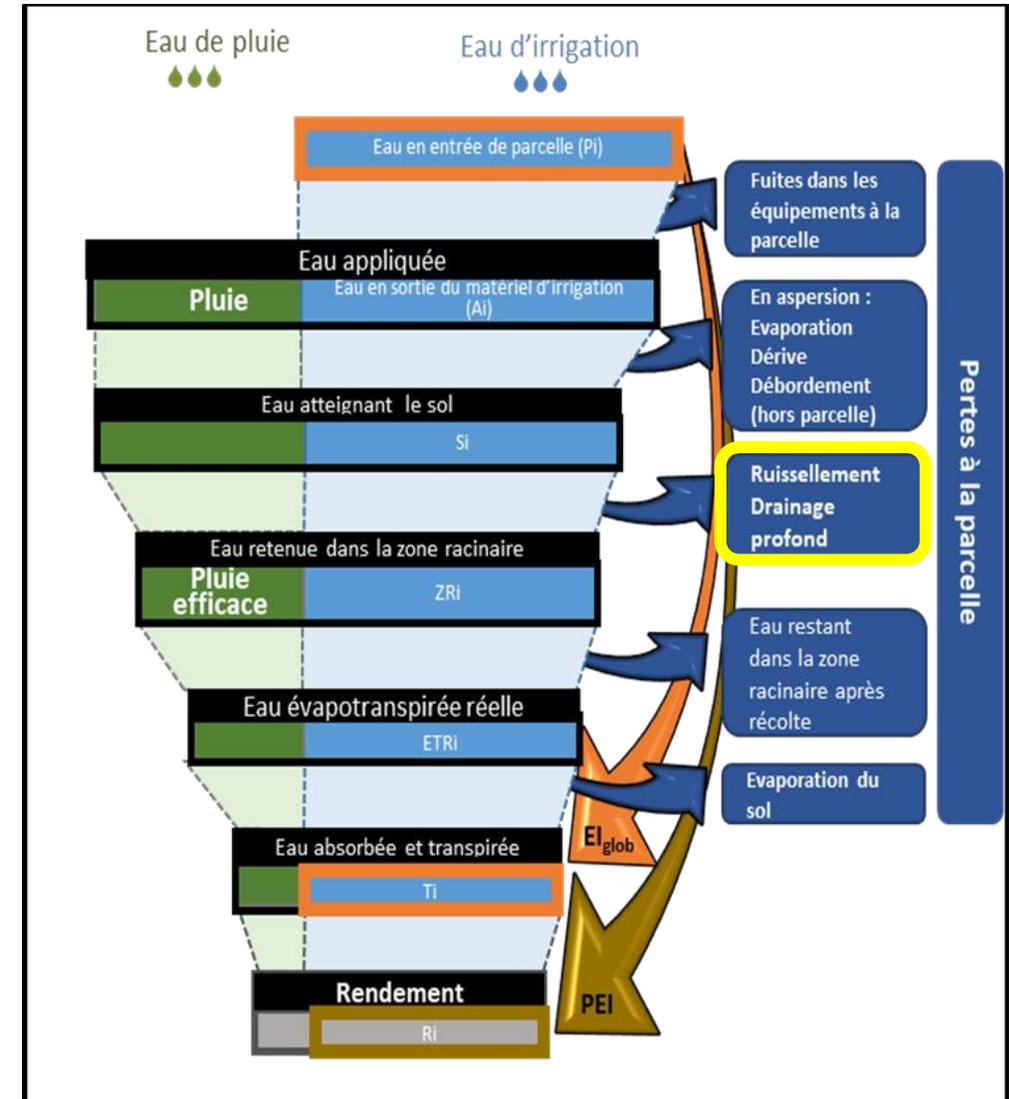
#### ➤ Uniformité de l'application

Une mauvaise uniformité d'application peut 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 (aspersion)
- au colmatage

⇒ Zones sous et sur-irriguées dans la parcelle

⇒ Pertes localisées par **ruissellement et/ou drainage**



# 3. Comment améliorer l'efficacité de l'eau d'irrigation ?

## 3.2. Par le matériel d'irrigation

### ➤ Améliorer les systèmes d'aspersion

#### ➤ Uniformité de l'application

Exemple : influence du vent sur l'uniformité de l'application en aspersion, évaluée par le coefficient d'uniformité de Christiansen (CUC), ainsi que sur l'**efficacité d'application** (Ea)

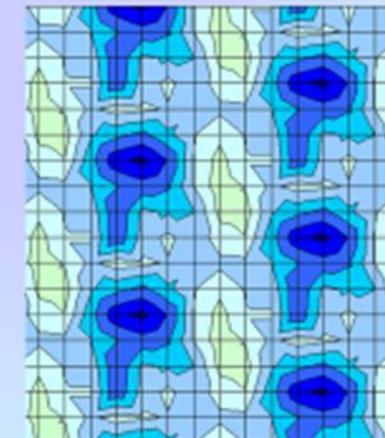
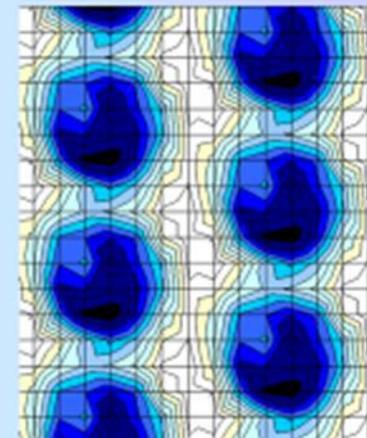
[projet CASDAR Eau Midi-Pyrénées (2007-2010)]

### Couverture intégrale (ASA de la Saudrune)

18m x 18m, asperseurs RB46 à 4.5-5.0 bar

5 juillet 2010  
vent de 2.5 à 3 m/s  
**CUC = 43%**  
**Ea = 83% (± 6%)**

7 juillet 2010  
vent de 0.5 à 1 m/s  
**CUC = 80%**  
**Ea = 93% (± 6%)**



# 3. Comment améliorer l'efficacité de l'eau d'irrigation ?

## 3.2. Par le matériel d'irrigation

### ➤ Améliorer les systèmes d'aspersion

#### ➤ Choix de la période d'application

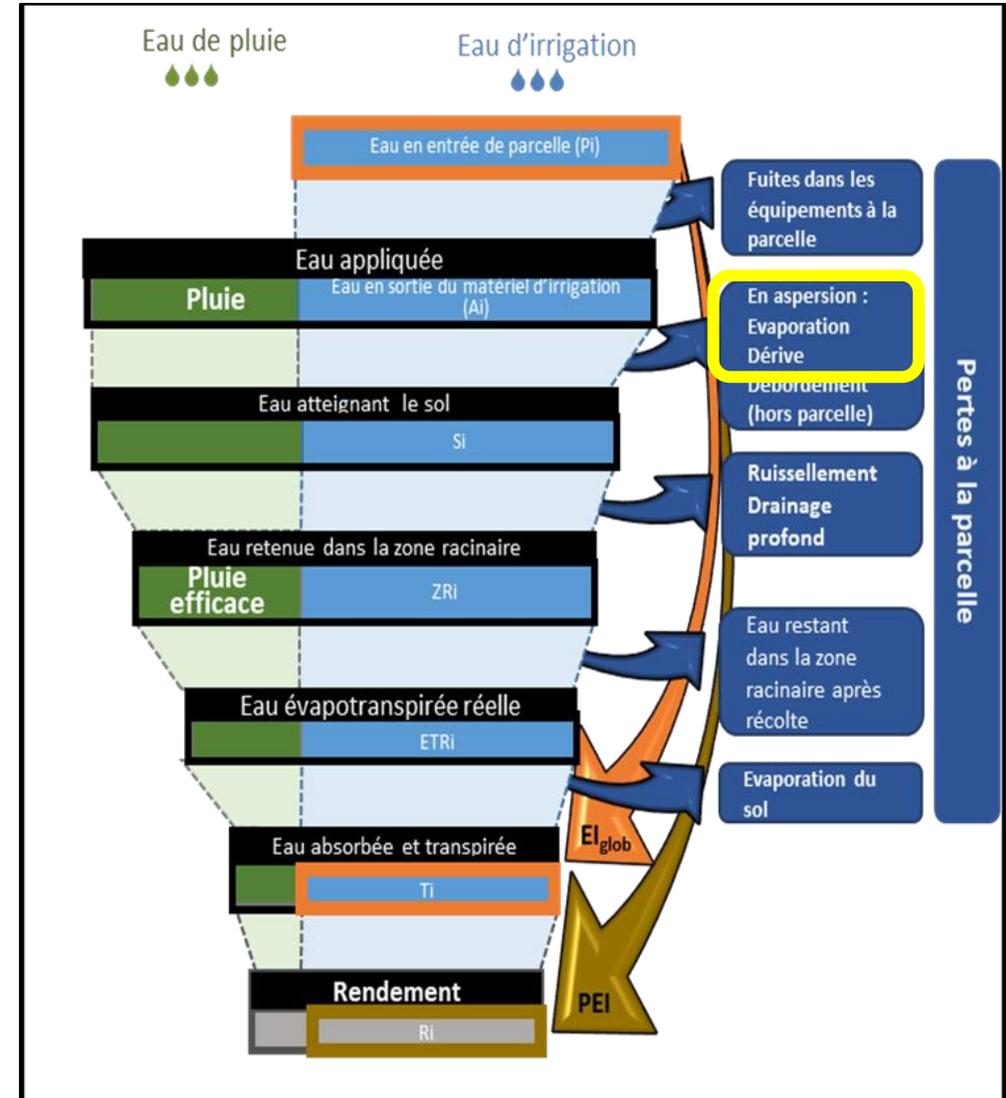
Pour réduire les pertes par **évaporation directe**

⇒ Eviter d'irriguer durant la plage horaire 11 – 15 h (température et rayonnement élevés)

Pour limiter les pertes par **dérive**

⇒ Aspersion est déconseillée en journées fortement ventées, de même que durant la plage horaire 12 – 18 h (vent thermique).

⇒ Mauvaise uniformité



# 3. Comment améliorer l'efficacité de l'eau d'irrigation ?

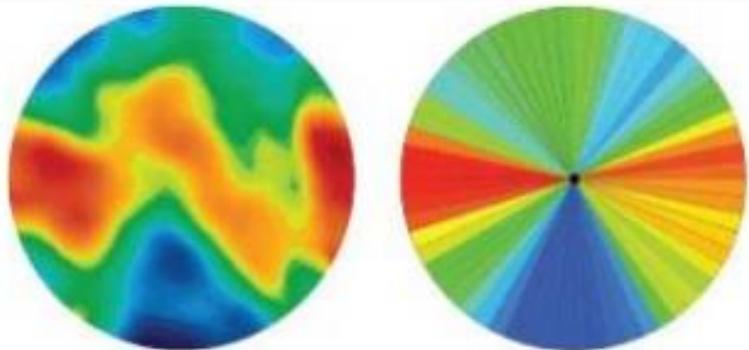
## 3.2. Par le matériel d'irrigation

### ➤ Améliorer les systèmes d'aspersion

#### ➤ Les systèmes de modulation intra-parcellaire des doses

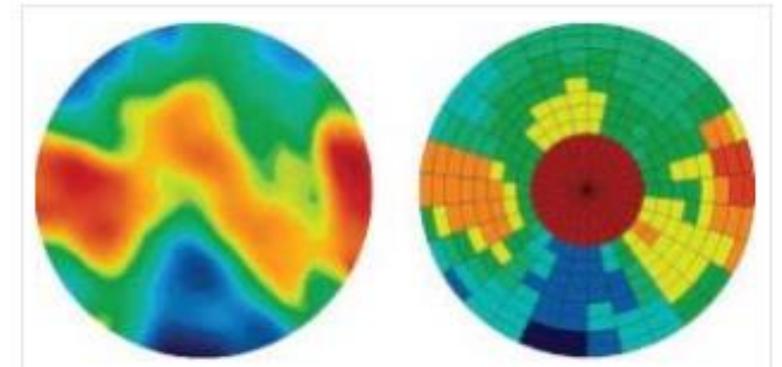
##### Régulation électronique de l'avancement

Enrouleur, pivot ou rampe : permet de programmer des doses différentes par zone de parcelle (zones rectangulaires dans le cas d'une rampe ou d'un enrouleur, zones en secteurs dans le cas d'un pivot).



##### Modulation de l'ouverture des buses

= VRI (Variable Rate Irrigation)



⇒ √ des zones sur-irriguées et des pertes par **drainage**

# 3. Comment améliorer l'efficacité de l'eau d'irrigation ?

## 3.2. Par le matériel d'irrigation

### ➤ Améliorer les systèmes d'aspersion

#### ➤ Arroseurs basse-pression sur pivot et rampe frontale

Arroseurs rotatifs ou oscillants fonctionnant à faible pression (0.5 à 1.5 bar selon les modèles contre 3 pour les sprinklers).

⇒ Génèrent de grosses gouttes

⇒ Moins sensibles aux pertes par **évaporation directe** et par **dérive due au vent**

⇒ Bonne homogénéité d'application

⇒ Moins de perte par **ruissellement/drainage**

# 3. Comment améliorer l'efficacité de l'eau d'irrigation ?

## 3.2. Par le matériel d'irrigation

### ➤ Améliorer les systèmes d'aspersion

#### ➤ Cannes de descentes sur pivot et rampe frontale

Arroseurs basse pression montés sur des cannes de descentes

⇒ Gouttes appliquées plus près de la canopée et de la surface du sol

⇒ Trajectoire des gouttes réduite

⇒ ↘ pertes par évaporation directe et par dérive due au vent



# 3. Comment améliorer l'efficacité de l'eau d'irrigation ?

## 3.3. Par le pilotage de l'irrigation

- Réduire les pertes par ruissellement, drainage et stock dans la zone racinaire à la récolte

# 4. Quelles économies d'eau d'irrigation ?

**Améliorer l'efficacité** = réduire les pertes en eau d'irrigation  
= réaliser des économies d'eau

## 4.1. Par le matériel d'irrigation

➤ **Opter pour un système plus efficient**

### MAÏS ET AUTRES GRANDES CULTURES

Economie 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



Economies d'eau (%)  
potentiellement réalisables  
par **changement de système d'irrigation**

(Serra-Wittling et Molle, 2017)

# 4. Quelles économies d'eau d'irrigation ?

Améliorer l'efficacité = réduire les pertes en eau d'irrigation  
 = réaliser des économies d'eau

## 4.2. Par le pilotage de l'irrigation

PILOTAGE avec capteurs - Exemples

Economie d'eau (%) ➔	Type de capteur			
Système d'irrigation	Tensiomètres	Sondes capacitives	Sondes capacitives + centrale	Dendromètre
Rampe	 35 - 40%	 35%		
Couverture intégrale	 20-25%		 8%	 Tensiomètres 20-25 % Tensiomètres + dendromètre 50 %
Micro-jet			 60 %	
GGS	 20 à 35 %	 55 à 90 %	 20 %	
	 50-65%			
GGE	 25%			

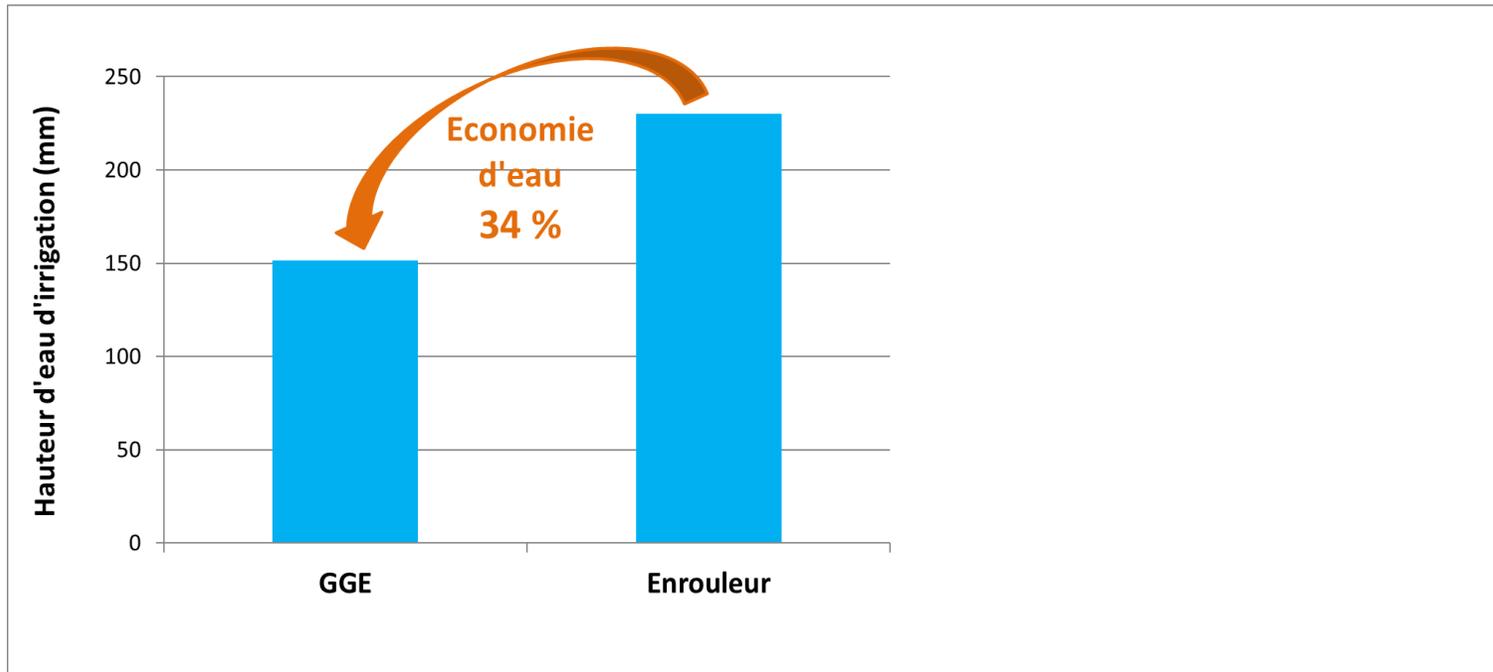
Economies d'eau (%)  
potentiellement réalisables par  
 l'utilisation d'un **matériel de pilotage**  
 (en comparaison d'une irrigation  
 sans matériel de pilotage)

(Serra-Wittling et Molle, 2017)

# 4. Quelles économies d'eau d'irrigation ?

## 4.3. Un exemple d'amélioration de l'efficacité à la parcelle

**Maïs – Ain – 2009 – Sol d'alluvions à faible RU (60-80mm)**  
Comparaison enrouleur / goutte-à-goutte enterré (GGE)

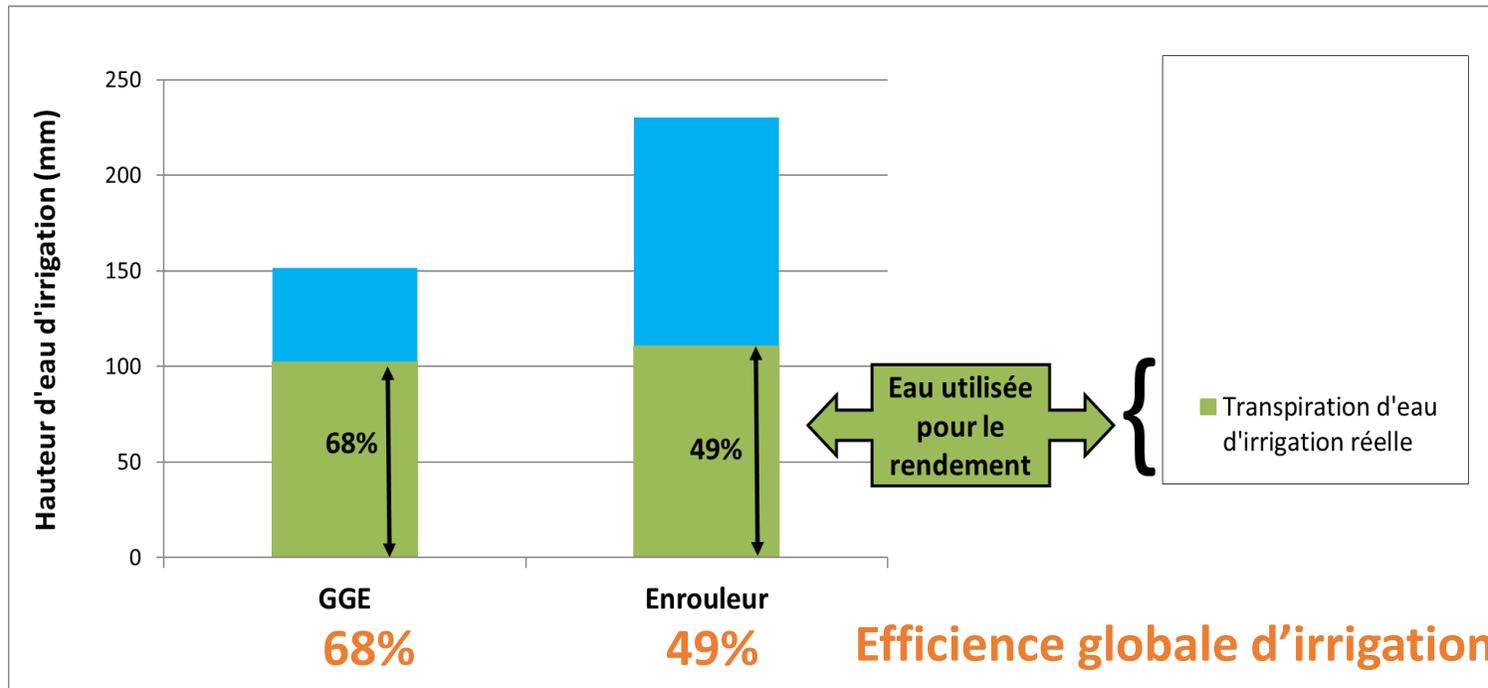


- ▶ **Economie d'eau avec le goutte-à-goutte enterré**  
→ D'où provient cette économie ?

# 4. Quelles économies d'eau d'irrigation ?

## 4.3. Un exemple d'amélioration de l'efficacité à la parcelle

**Maïs – Ain – 2009 – Comparaison enroueur / goutte-à-goutte enterré**

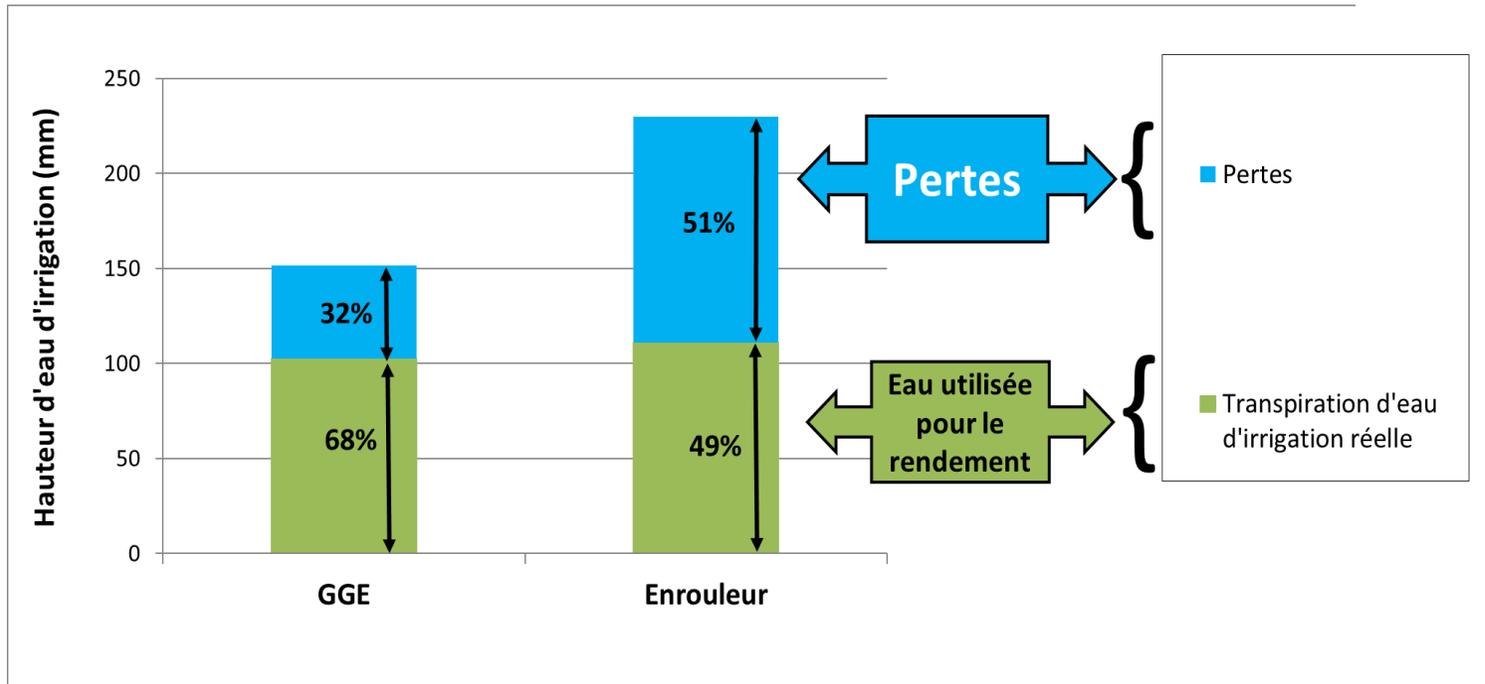


- ▶ **Meilleure efficacité du goutte-à-goutte enterré**  
→ Pourquoi ?

# 4. Quelles économies d'eau d'irrigation ?

## 4.3. Un exemple d'amélioration de l'efficacité à la parcelle

**Maïs – Ain – 2009 – Comparaison enrouleur / goutte-à-goutte enterré**

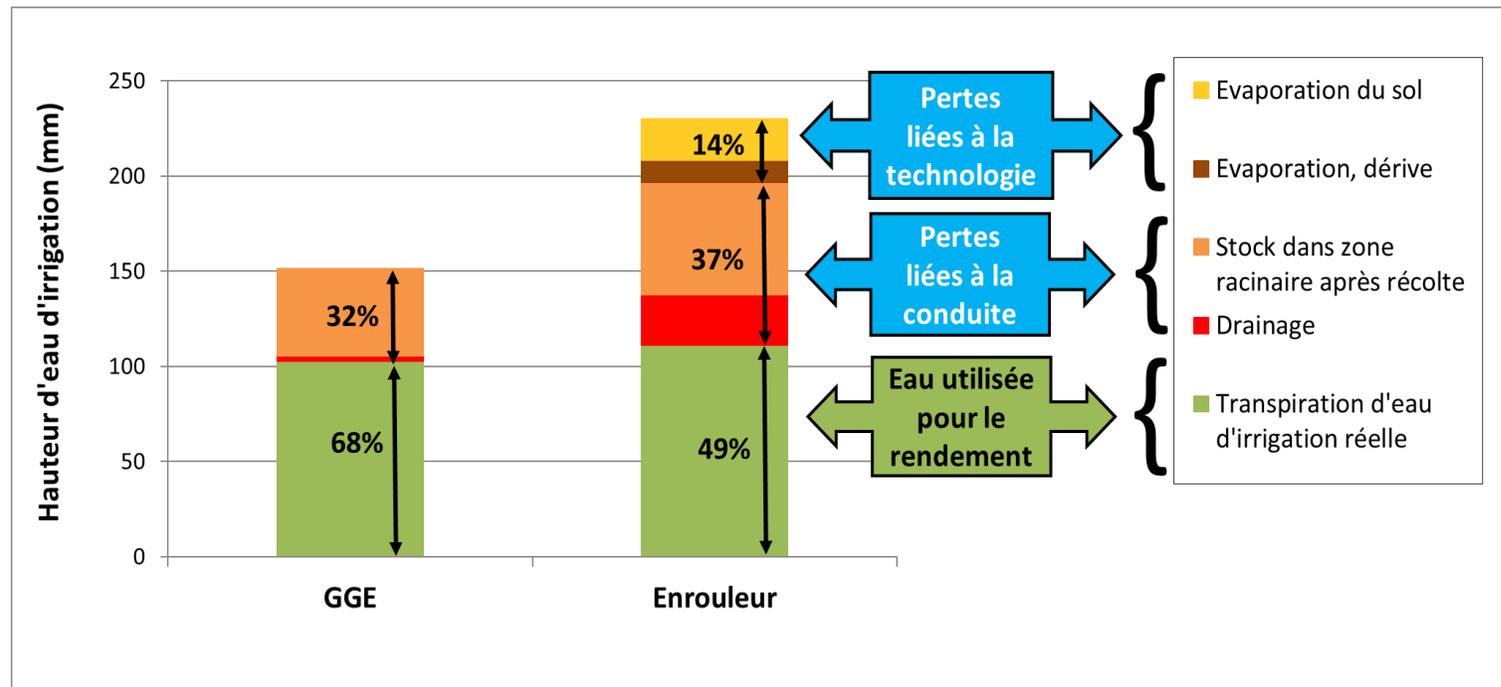


- ▶ Moins de pertes avec le goutte-à-goutte enterré  
→ Quelles pertes sont réduites avec le goutte-à-goutte enterré ?

# 4. Quelles économies d'eau d'irrigation ?

## 4.3. Un exemple d'amélioration de l'efficacité à la parcelle

Maïs – Ain – 2009 – Comparaison enrouleur / goutte-à-goutte enterré

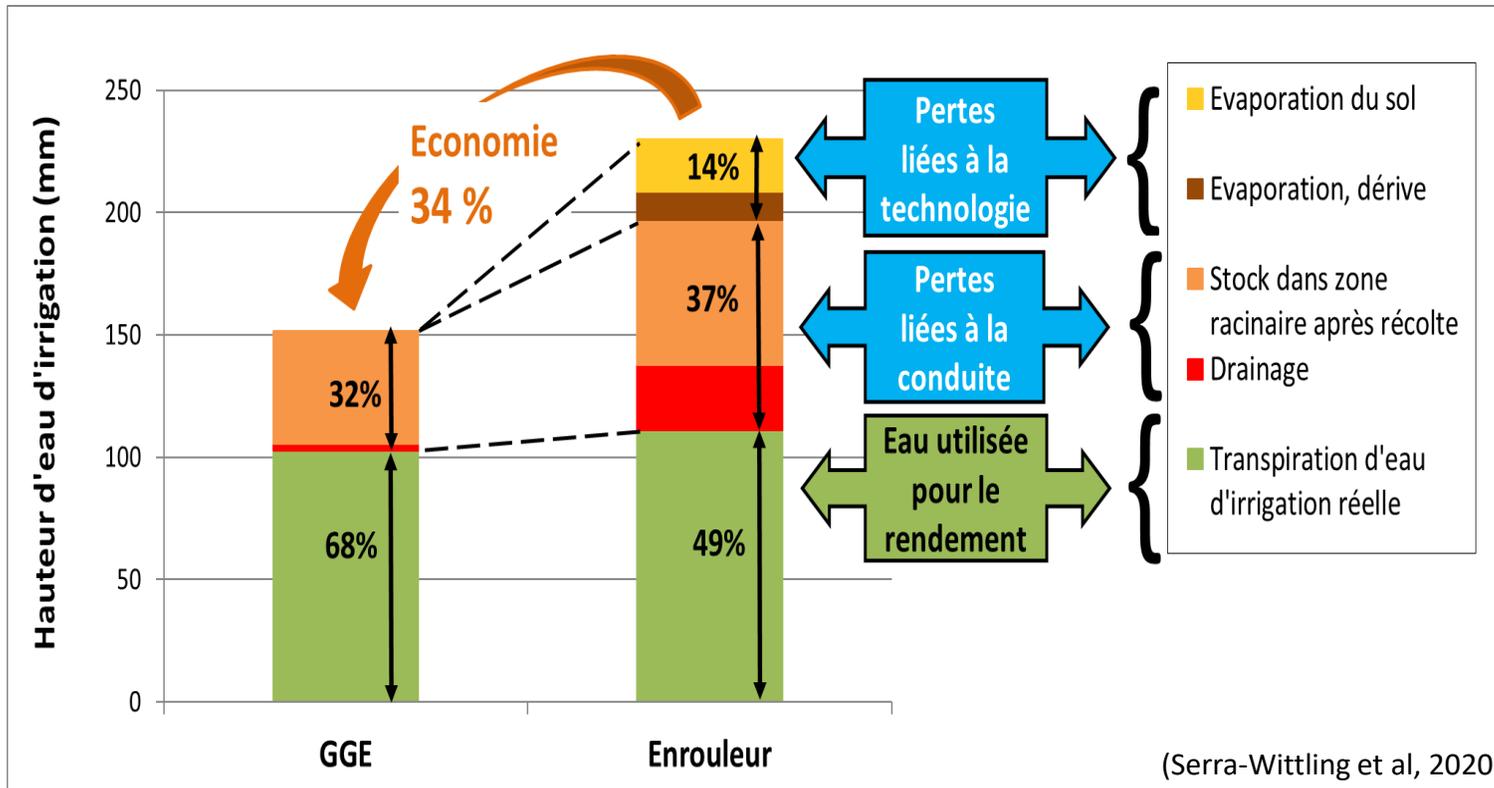


- Distinction de 2 types de pertes :  
liées à la **technologie** ou à la **conduite de l'irrigation**

# 4. Quelles économies d'eau d'irrigation ?

## 4.3. Un exemple d'amélioration de l'efficacité à la parcelle

Maïs – Ain – 2009 – Comparaison enrouleur / goutte-à-goutte



- ⇒ Meilleure efficacité globale du goutte-à-goutte enterré
- ⇒ Economie d'eau en goutte-à-goutte due à la réduction des pertes grâce
  - au **changement de système**
  - et à **l'amélioration de la conduite** de l'irrigation
- ⇒ Economie d'eau pourrait être encore potentiellement réduite
  - par une **amélioration de la conduite en goutte-à-goutte**

Quantification des volumes obtenue par simulation avec **Optirrig** (modèle INRAE de génération, analyse et optimisation de scénarios d'irrigation des cultures)

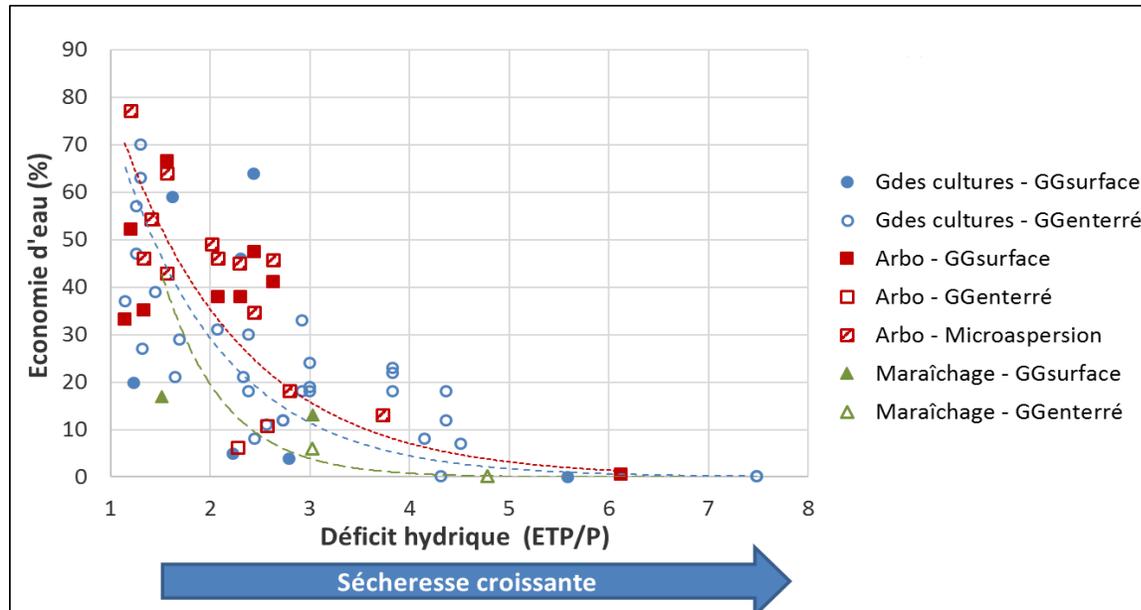
Les pertes par fuites à la parcelle sont arbitrairement considérées nulles

# 4. Quelles économies d'eau d'irrigation ?

## 4.4. Impact du déficit hydrique de la saison

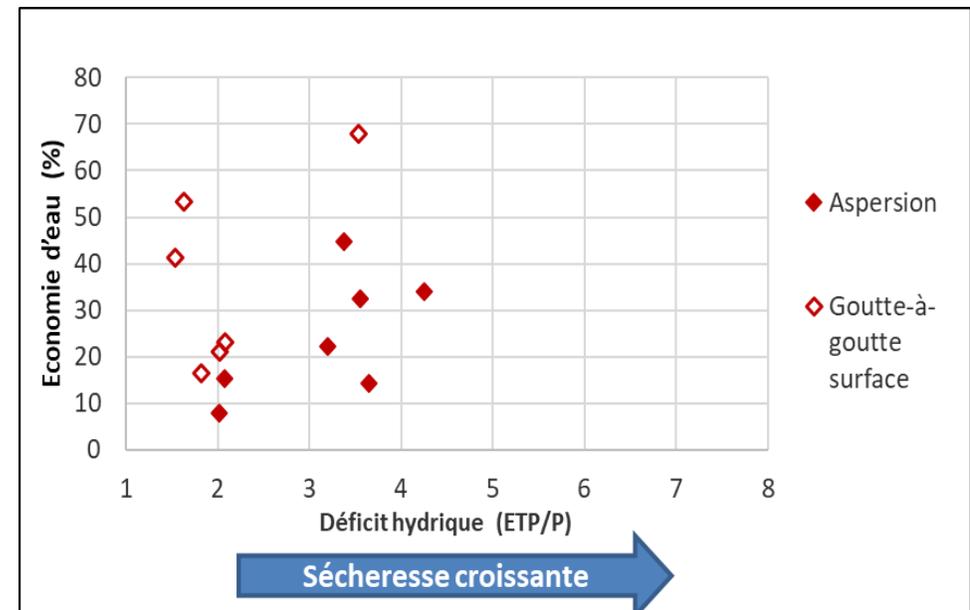
Economies d'eau réalisées par

Changement de système d'irrigation



► Economies d'eau plus faibles en années sèches

Pilotage avec capteurs d'état hydrique du sol



► Peu d'influence de l'année climatique

➔ **Dans la perspective du changement climatique**  
Meilleur potentiel d'économies d'eau avec **l'adoption d'outils de pilotage de l'irrigation** plutôt qu'avec le changement de technologie d'application de l'eau

# 4. Quelles économies d'eau d'irrigation ?

## Ce qu'il faut retenir

- ▶ **Améliorer l'efficience = réduire les pertes en eau d'irrigation  
= réaliser des économies d'eau**
- ▶ **Améliorer l'efficience à la parcelle**
  - D'abord par les **pratiques culturales**
  - = mieux valoriser l'eau de pluie (et d'irrigation si nécessaire)
  - Ensuite par la **modernisation des systèmes d'irrigation et le pilotage de l'irrigation**
  - Politiques publiques : afin de favoriser les économies d'eau, il est important d'inciter les investissements de **matériels économes en eau**, mais aussi les améliorations de pratiques des irrigants dont le **pilotage de l'irrigation**

## ▶ **Attention !**

Des économies d'eau réalisées à la parcelle n'impliquent pas nécessairement des économies à l'échelle d'un territoire

# Patience, l'efficiency avance...



Merci pour votre attention !

**INRAE**

Claire WITTLING  
UMR G-EAU – Montpellier - FRANCE  
[claire.wittling@inrae.fr](mailto:claire.wittling@inrae.fr)

  
Gestion de l'Eau, Acteurs, Usages