# EAU-SOL-PLANTE
# (*quelques pistes d'innovation pour s'adapter à la sècheresse)*

*Bernard Itier*

*Chercheur émérite  EGC Grignon*

# Plan

**1/ Un peu d'écophysiologie:** ***eau-carbone***

***et eau - énergie***

**2/ Le bilan hydrique:**

**de l'échelle de la parcelle au bassin versant**

**3/ Adéquation offre-demande en eau**

*a- augmentation de l'offre:* ***l'irrigation***

b- augmentation de la pluie efficace:

. ***agriculture de conservation***

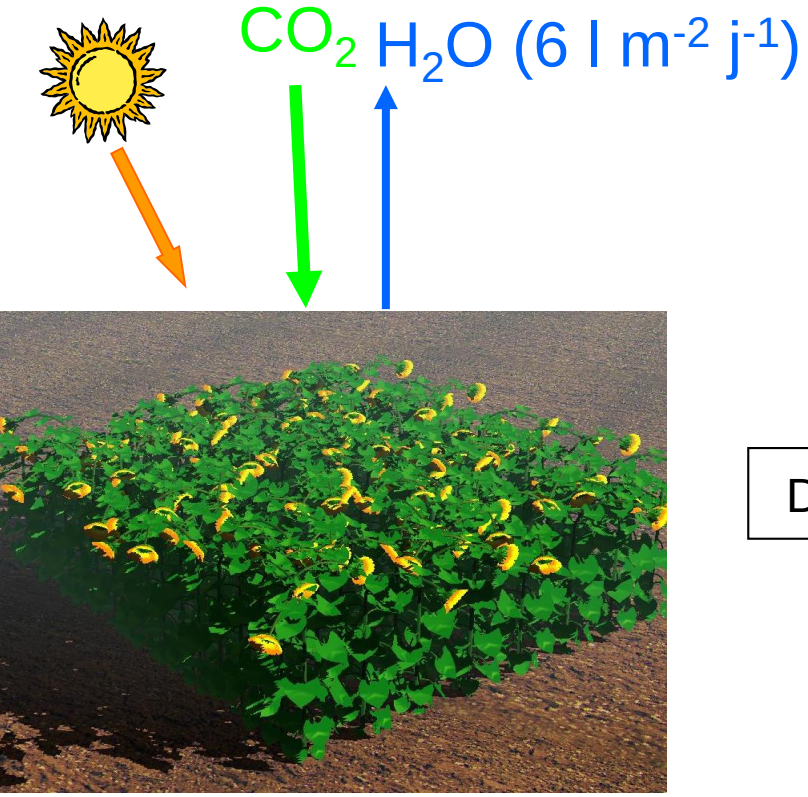
c- diminution de la demande:

***esquive-évitement-tolérance***

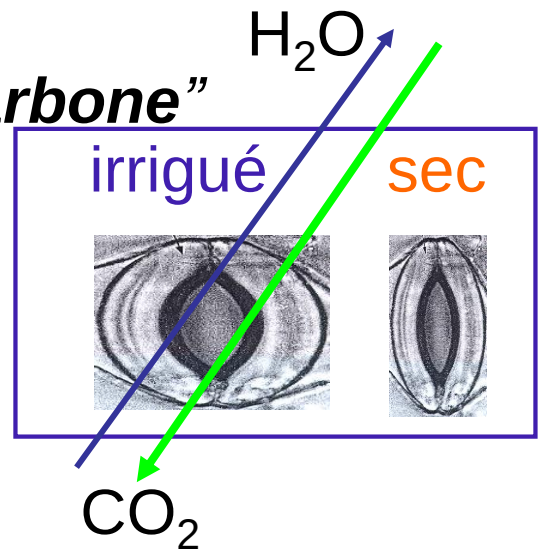
d- aridoculture (« récolte de l'eau »)

# La plante est une machine à capter l'énergie solaire et le CO2

**ON NE POURRA JAMAIS PRODUIRE SANS EAU**




***"eau contre carbone"***

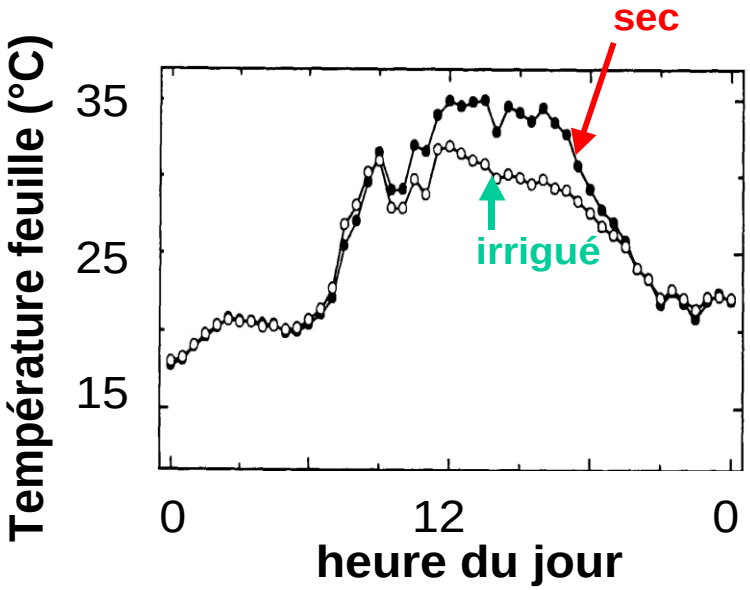



Deux échanges

***"eau contre chaleur"***

irrigué sec

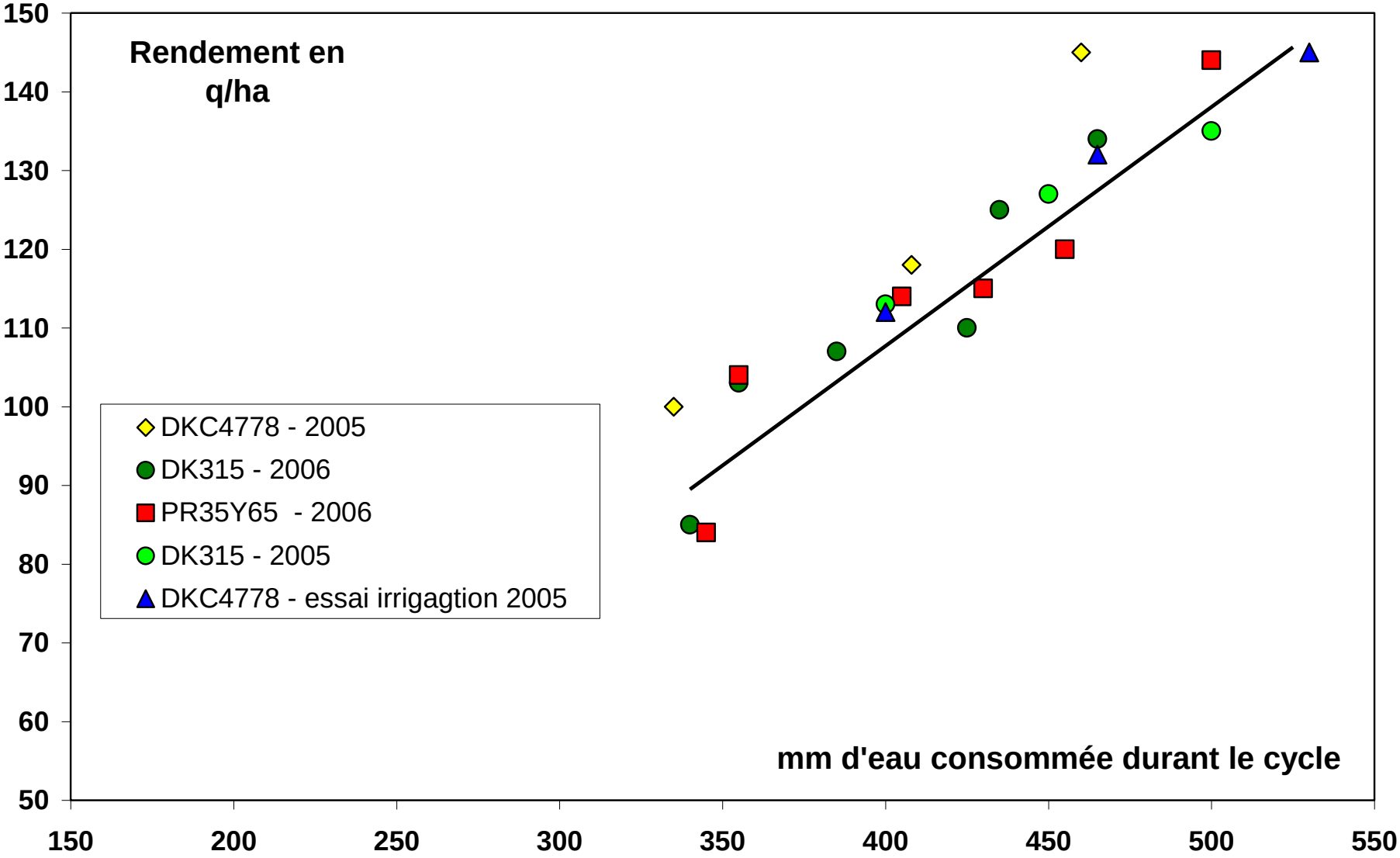
*d'après F. Tardieu, INRA 2006*



# Rendements comparés de différentes variétés de maïs en fonction de la quantité d'eau consommée

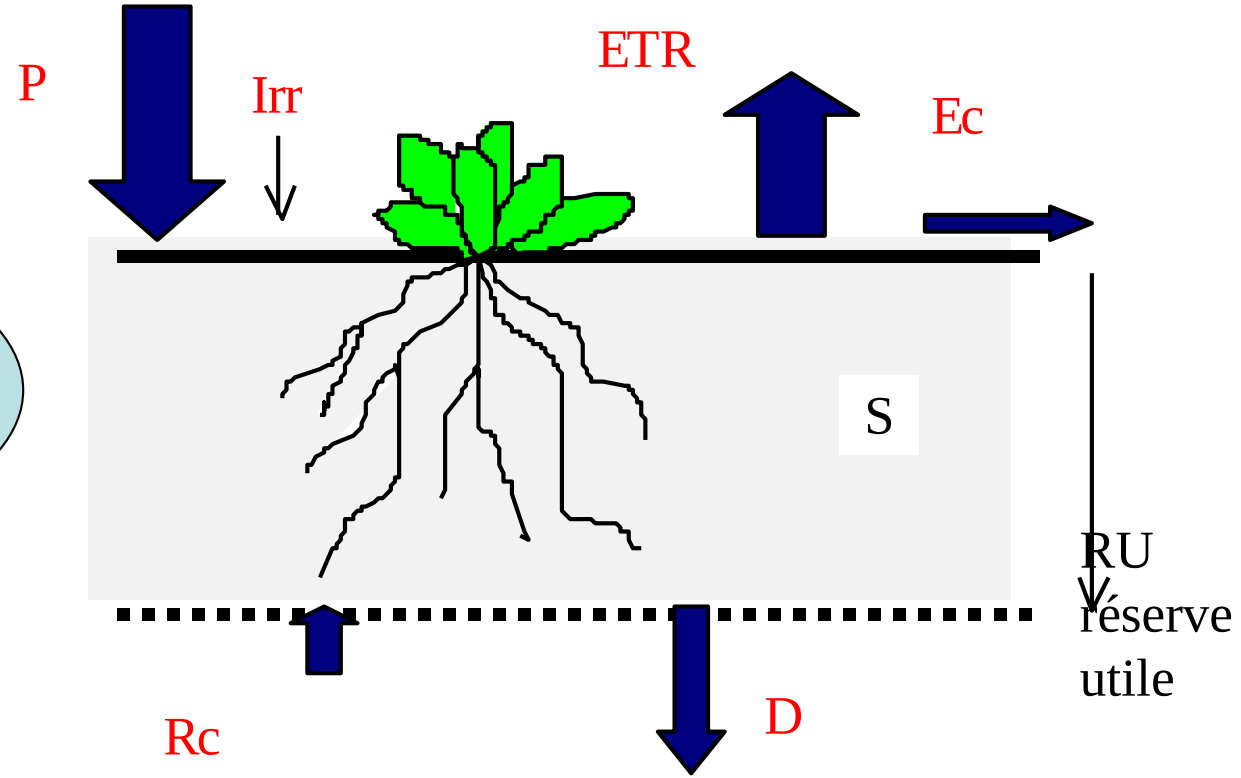
## Essai sous toits roulants au Magneraud (17) - 2005 et 2006.

***Source: Arvalis***



# ***Le bilan hydrique***
*(au niveau local)*

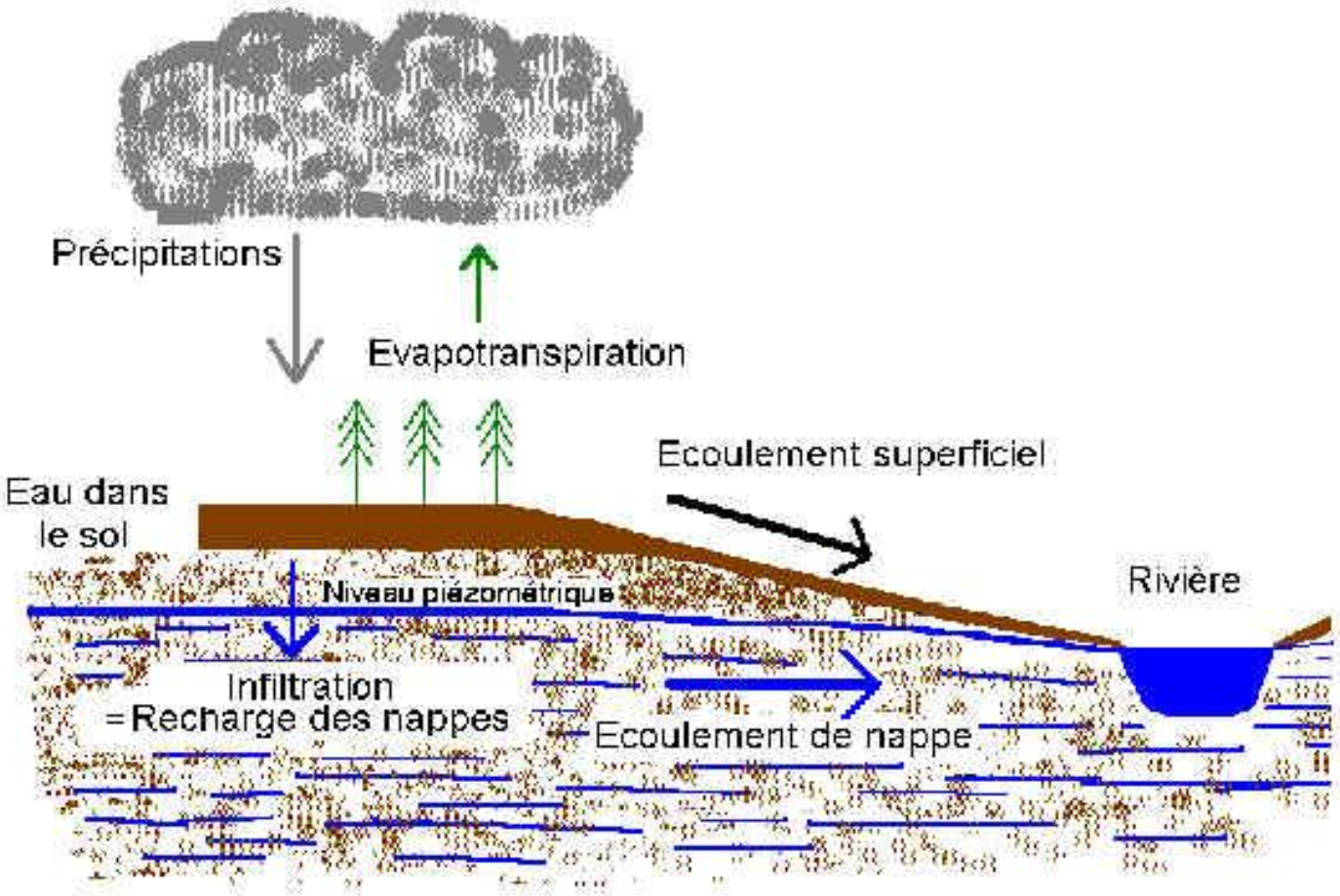
$$\Delta S = (P + I) - (ETR + D)$$




***« Eau verte »**: ETR = Pluie (+ Irr ) - Ruissellement - Drainage*

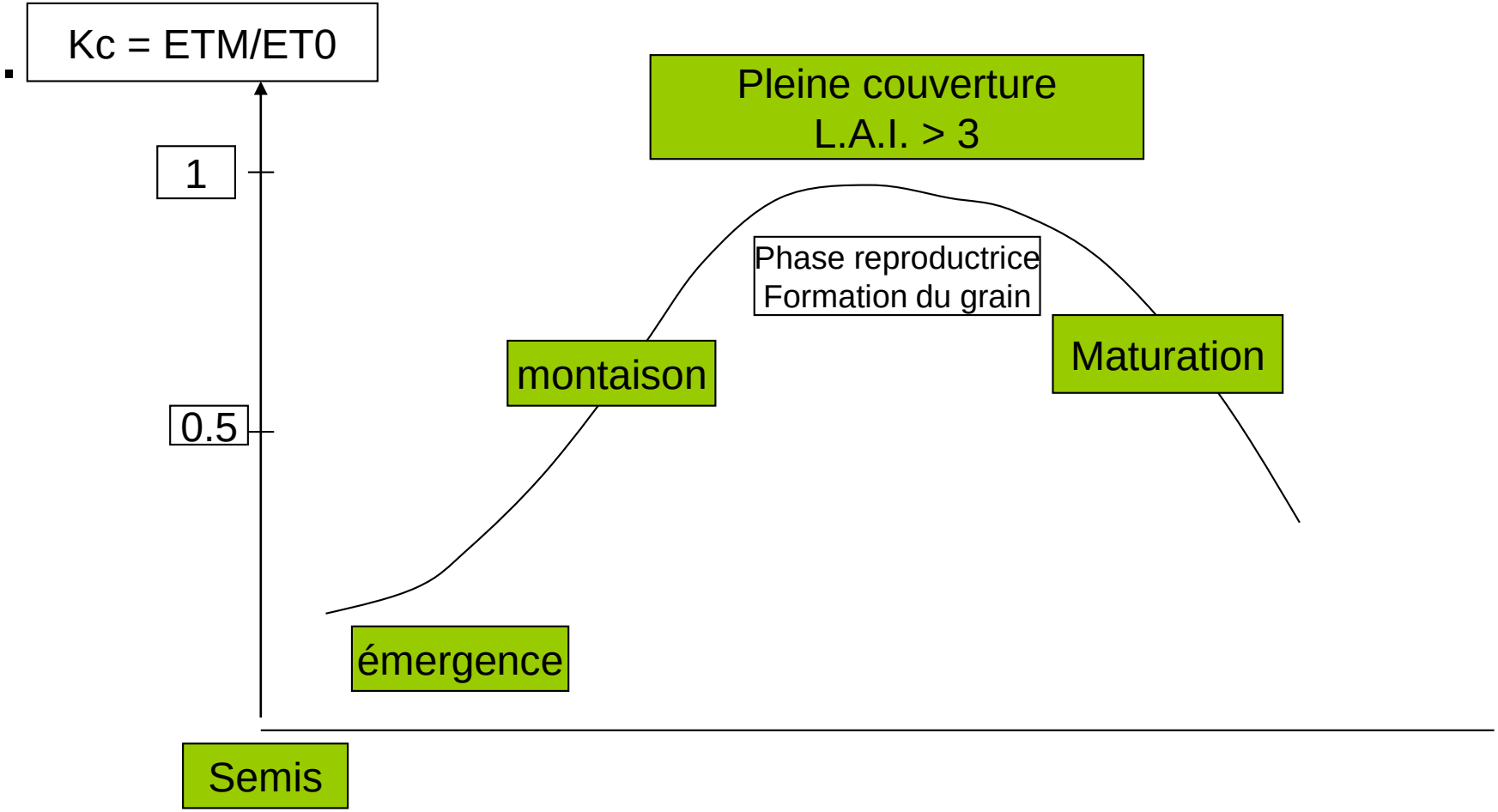
*« Eau bleue » = Drainage ± Ruissellement – ( Irr )*

# Le bilan hydrologique
## *(au niveau du bassin versant)*

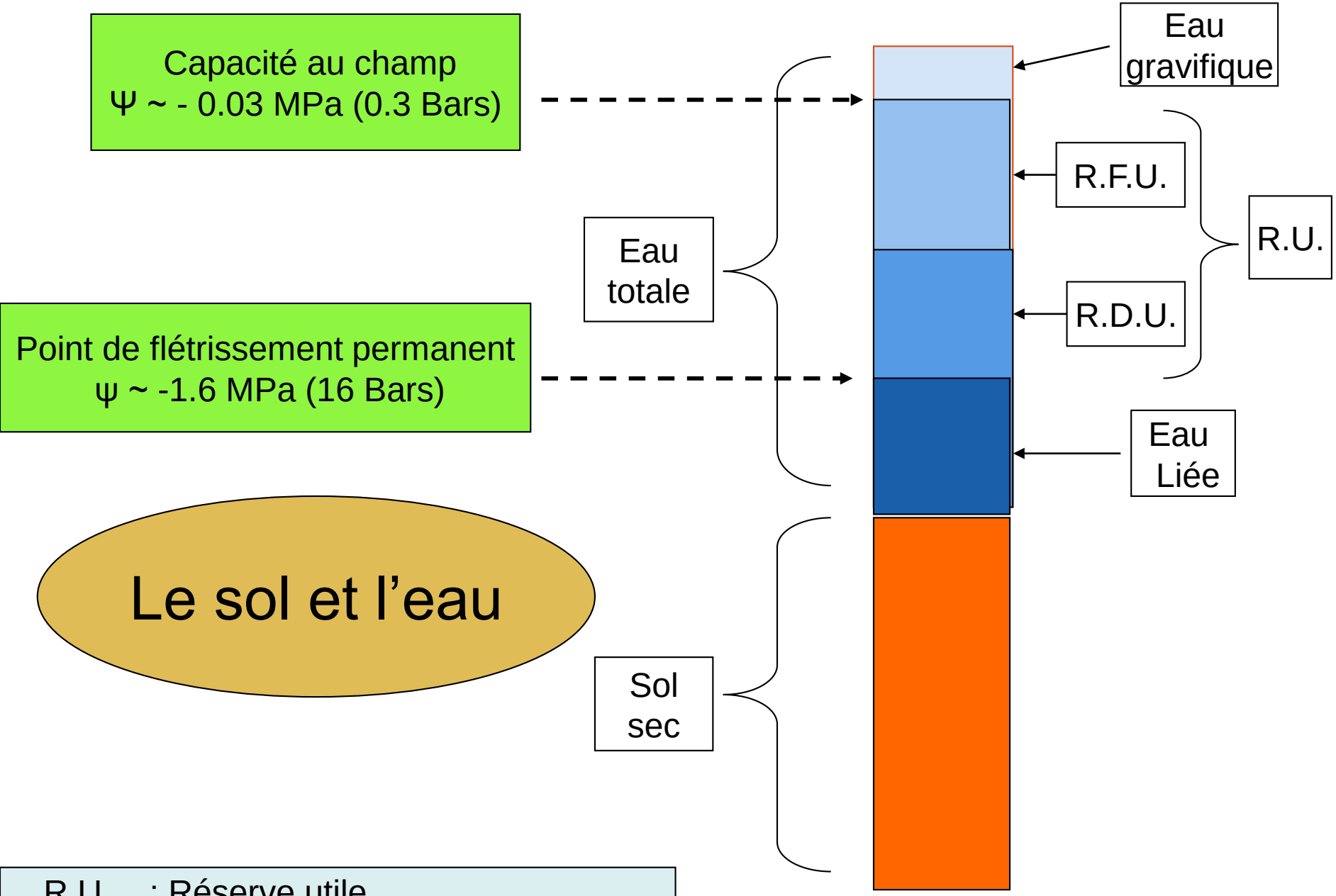



***Pluie efficace*** *= infiltration+ ruissellement ( en France ~P/3)*

# Evolution du coefficient cultural d'une culture en fonction des stades phénologiques

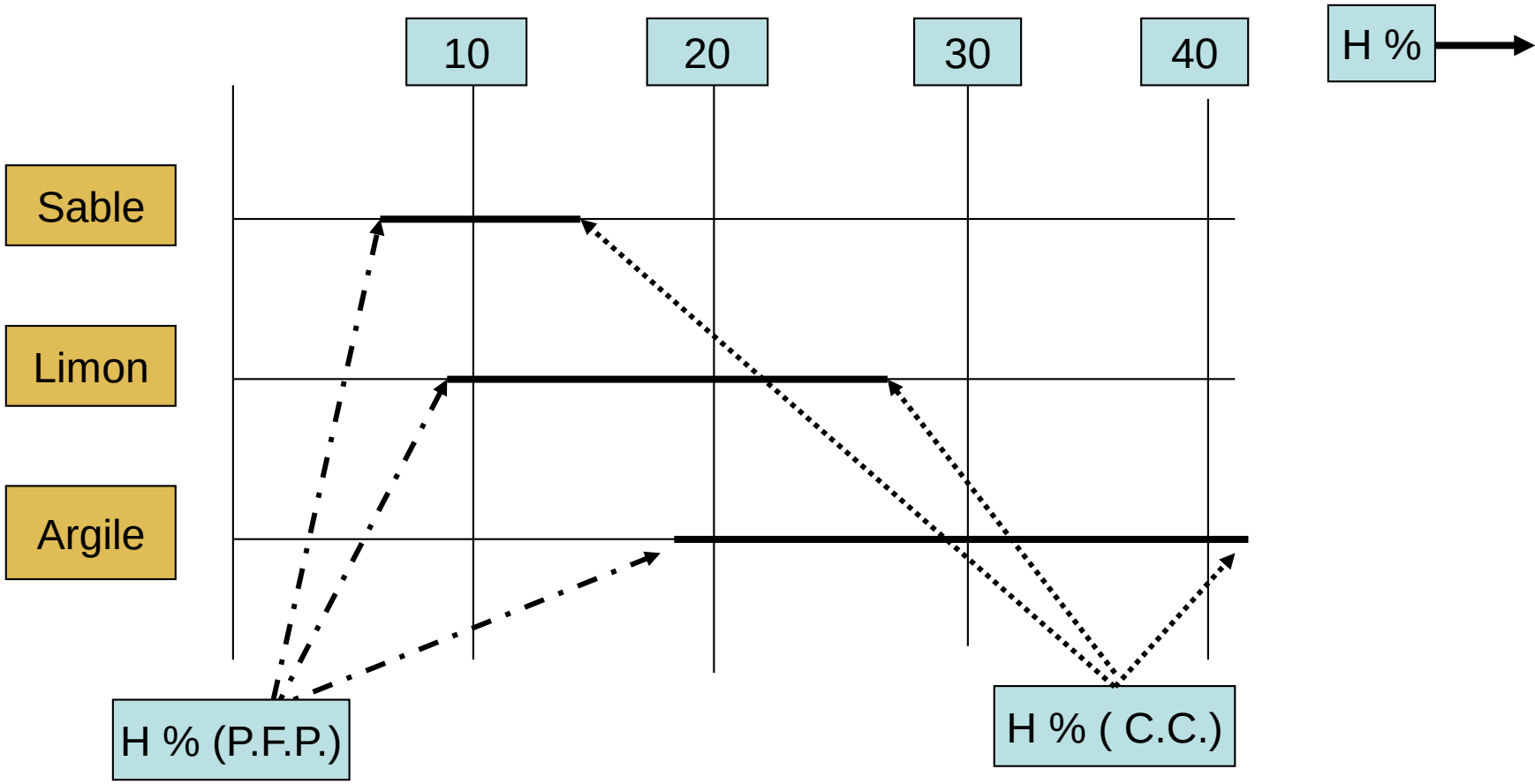


# Le sol et l'eau




R.U. : Réserve utile .
R.F.U. : Réserve facilement utilisable .
R.D.U. : Réserve difficilement utilisable

# L'eau dans le sol: l'importance de la granulométrie

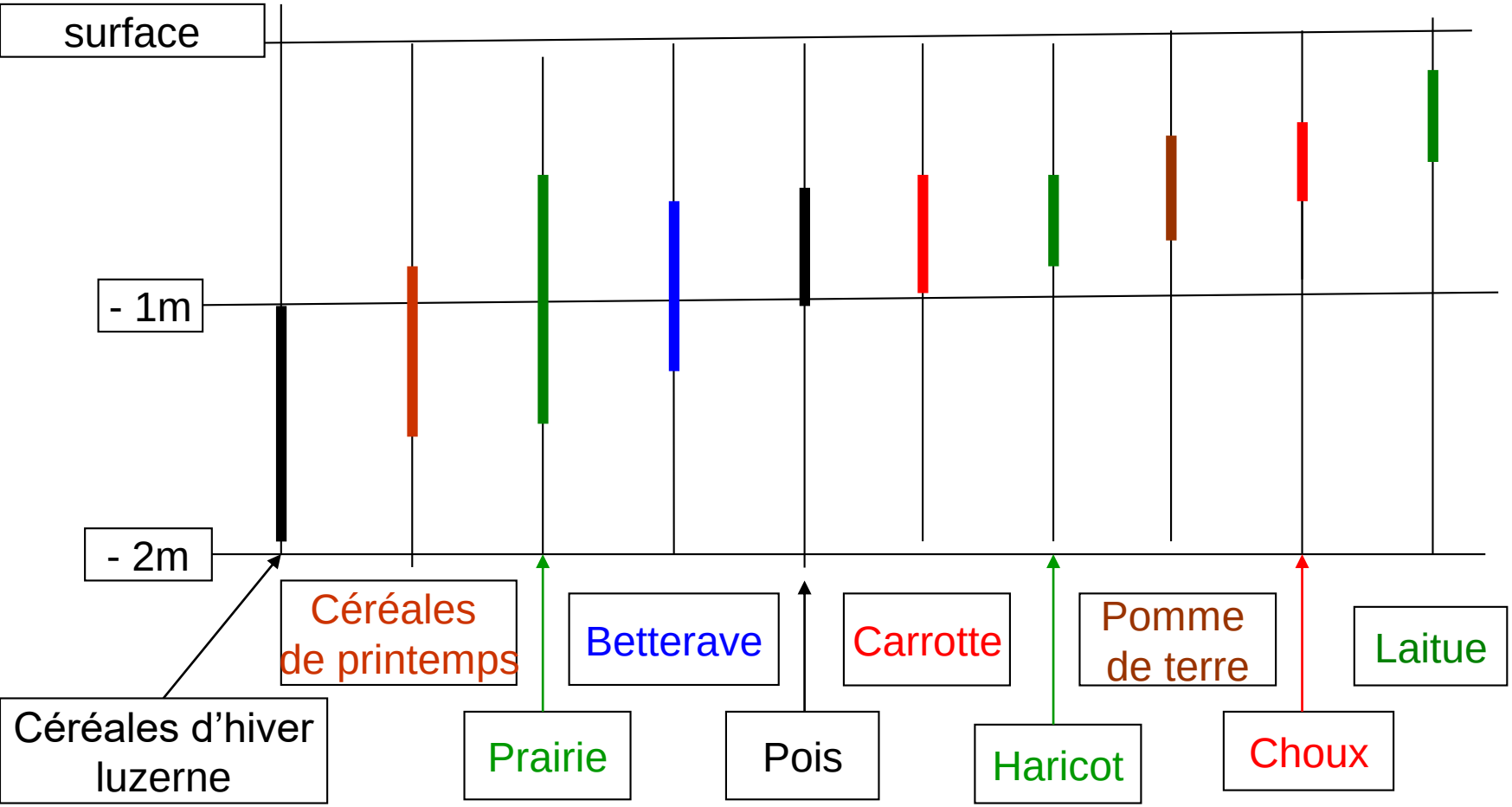



Pourcentage d'humidité utile ( % H.U.): ***H% (cc) – H% (pfp)***

# La réserve utile

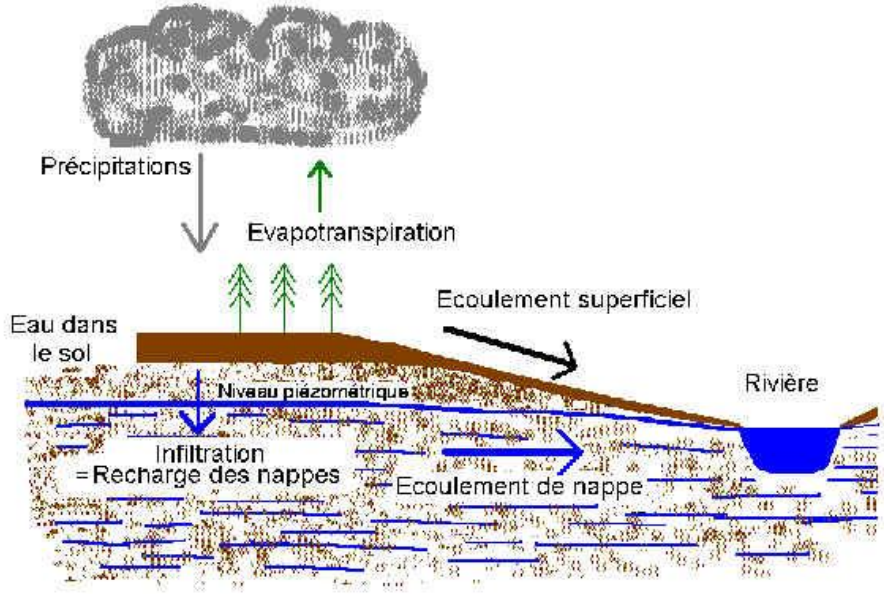
RU = (% H.U.) x profondeur d'enracinement

## Profondeurs d'enracinement de quelques cultures

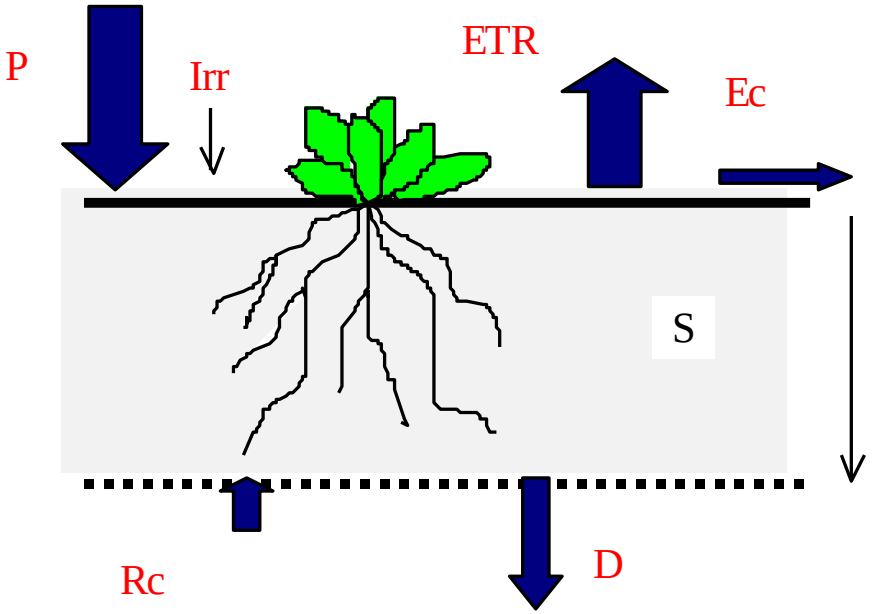


# Et l'eau « bleue » dans tout ça!!??

Le bilan hydrologique
*(échelle du bassin versant)*




***Le bilan hydrique***
*(échelle de la parcelle)*



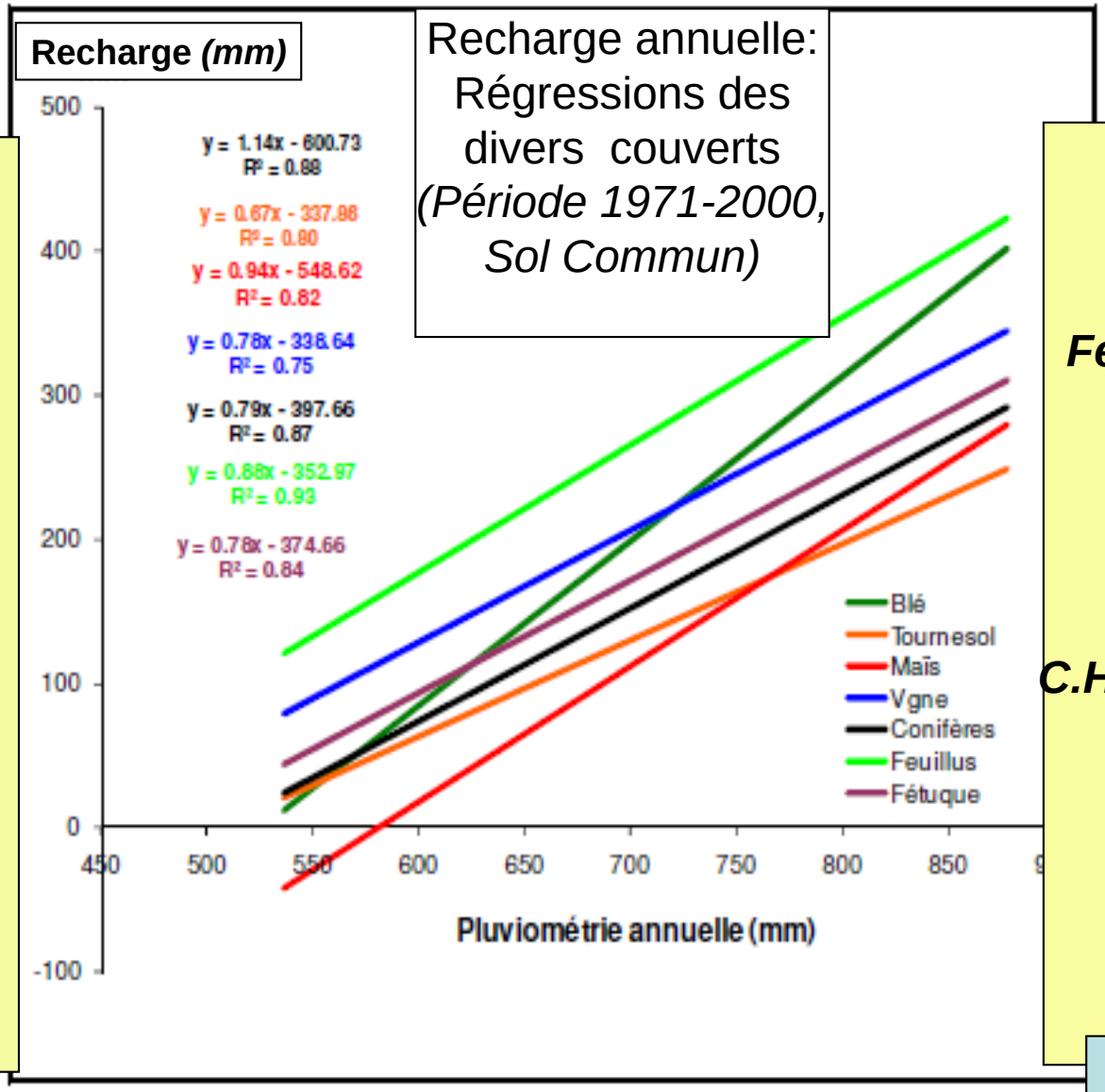

***Restitution au milieu*** *= infiltration + ruissellement –irrigation*
*= recharge = « eau bleue »*

**Recharge (bassin versant) = Σ recharges parcellaires**

En quoi la recharge d'une parcelle dépend-elle du système de culture en place?

# Hiérarchie des comportements environnementaux:

Feuillus
↓
Vigne
↓
C. d'Hiver
↓
Prairie
↓
Conifères
↓
C. Printemps
↓
C. Irriguées




***Feuillus > Conifères***

***Vigne > Prairie***

***C.Hiver > C. Printemps***

***Pluvial > Irrigué***

*Source CLIMATOR*

# changement climatique

## Evolution des Précipitations & Bilan Hydrique potentiel en France

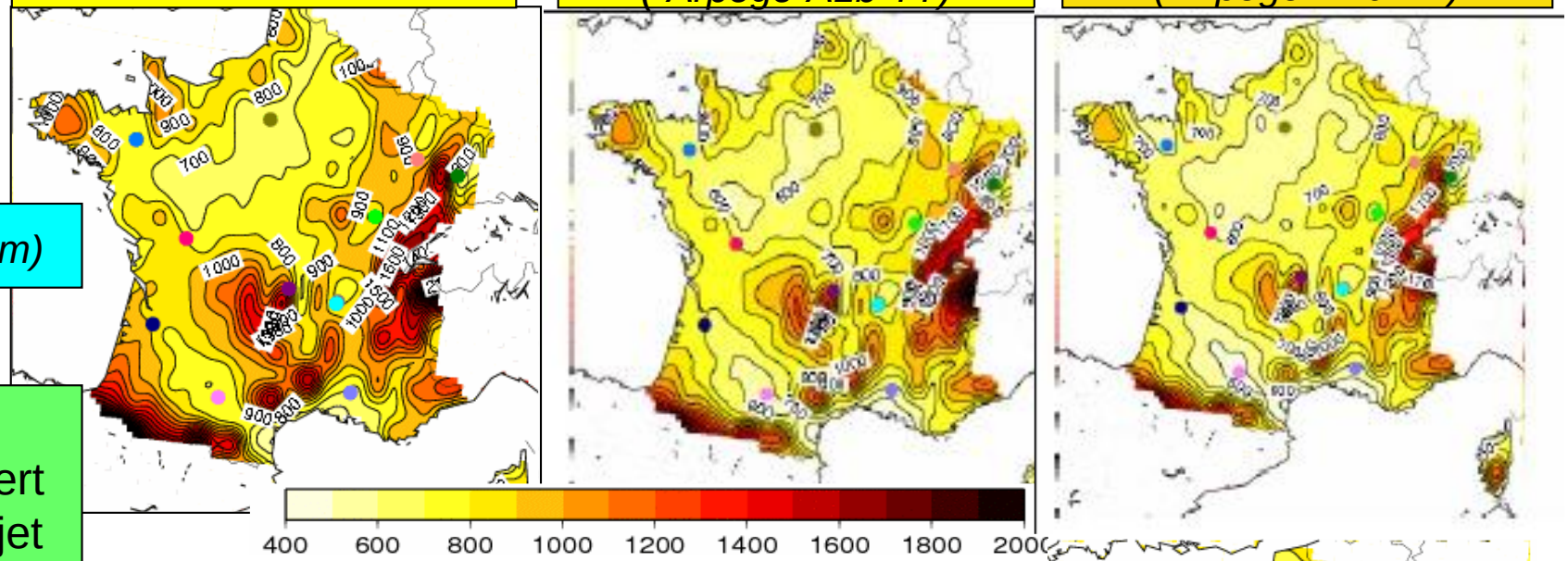
1970-1999 *(observée)*

2020-2049 *(simulée)*
*( Arpège-A1b-TT)*

**2070-2099 *(simulée)***
*( Arpège-A1b-TT)*

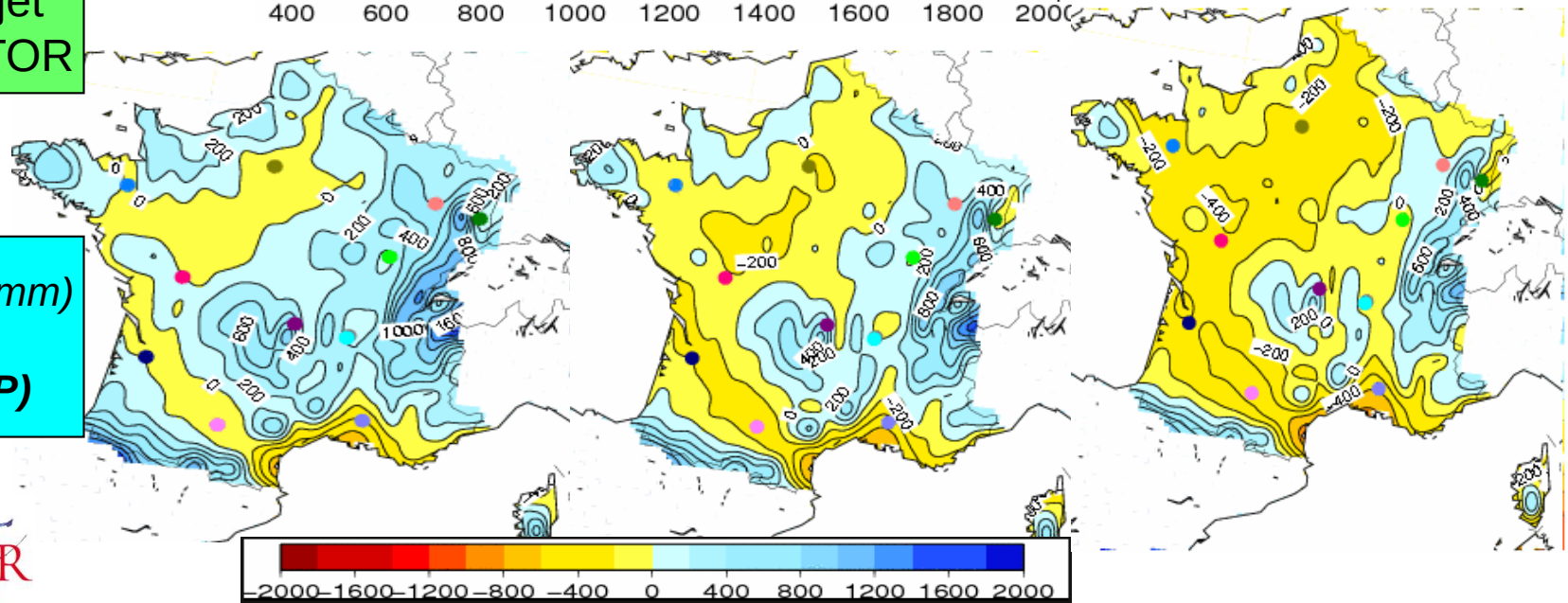
P *(mm)*

In:
Livre vert
Du projet
CLIMATOR




P-ETo *(mm)*

***(P-ETP)***



# *Dépendance de l'eau - Incidence sur l'eau*

## ***Comment va s'opérer le partage de la baisse de pluviométrie?***

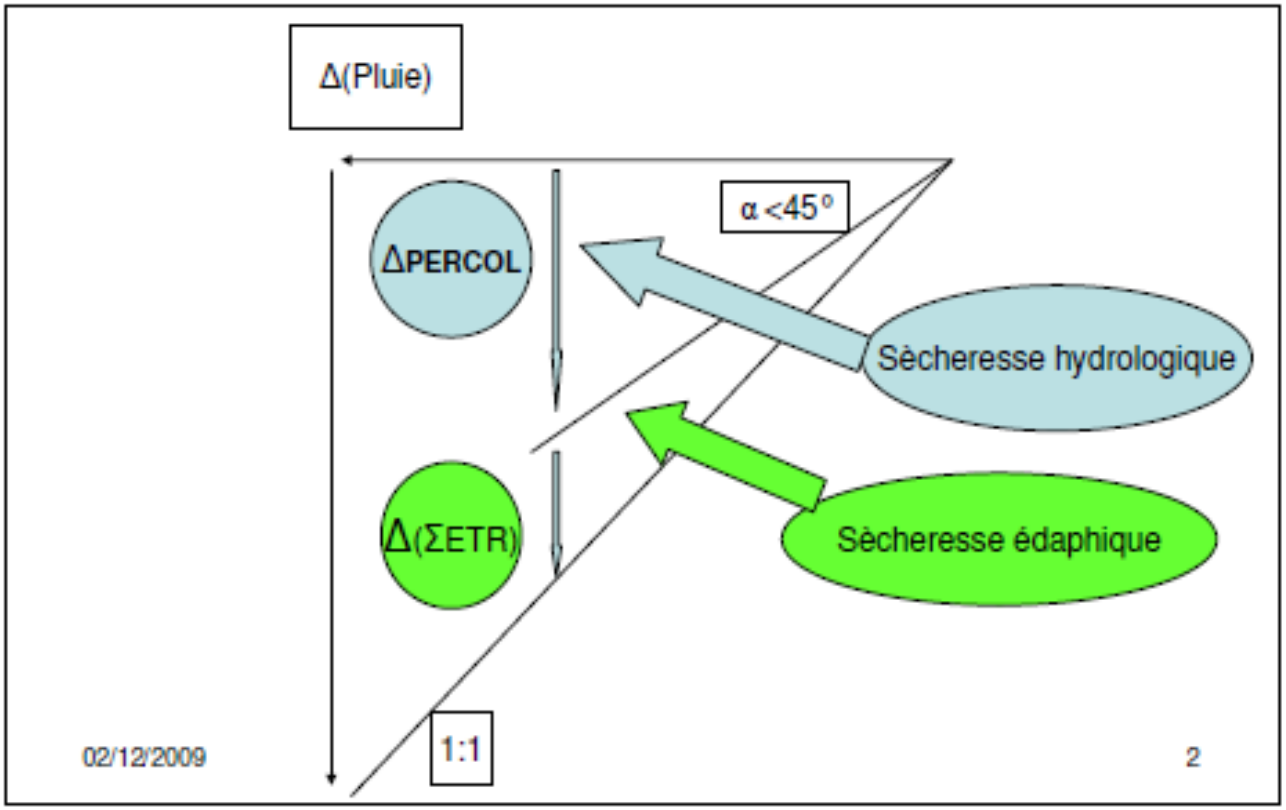



***Figure 2** : répartition de la baisse de pluviométrie entre eau verte (sécheresse édaphique) et eau bleue (sécheresse hydrologique)*

**ΔRecharge *vs* ΔPluie: proche de ¾ !!!!**

*Source CLIMATOR*

# Adéquation offre-demande

## A/ Amélioration de la pluie efficace

**Infiltration/ Ruissellement** ↗

**Evaporation/ Transpiration** ↘

**Transpiration/ Ruissellement** ↗

***Cet ensemble est un des volets de l'Agriculture de Conservation***

**on y parvient grâce à une couverture permanente du sol par des résidus organiques *( mulch, pailles, sarments,…)* combiné ou non au semi direct**

**Maïs pluvial**
**Au Mexique**

**Labour traditionnel (LT)**

**Semis direct**
**Pas de résidus**
**(SD0)**

***Findeling (2001)***

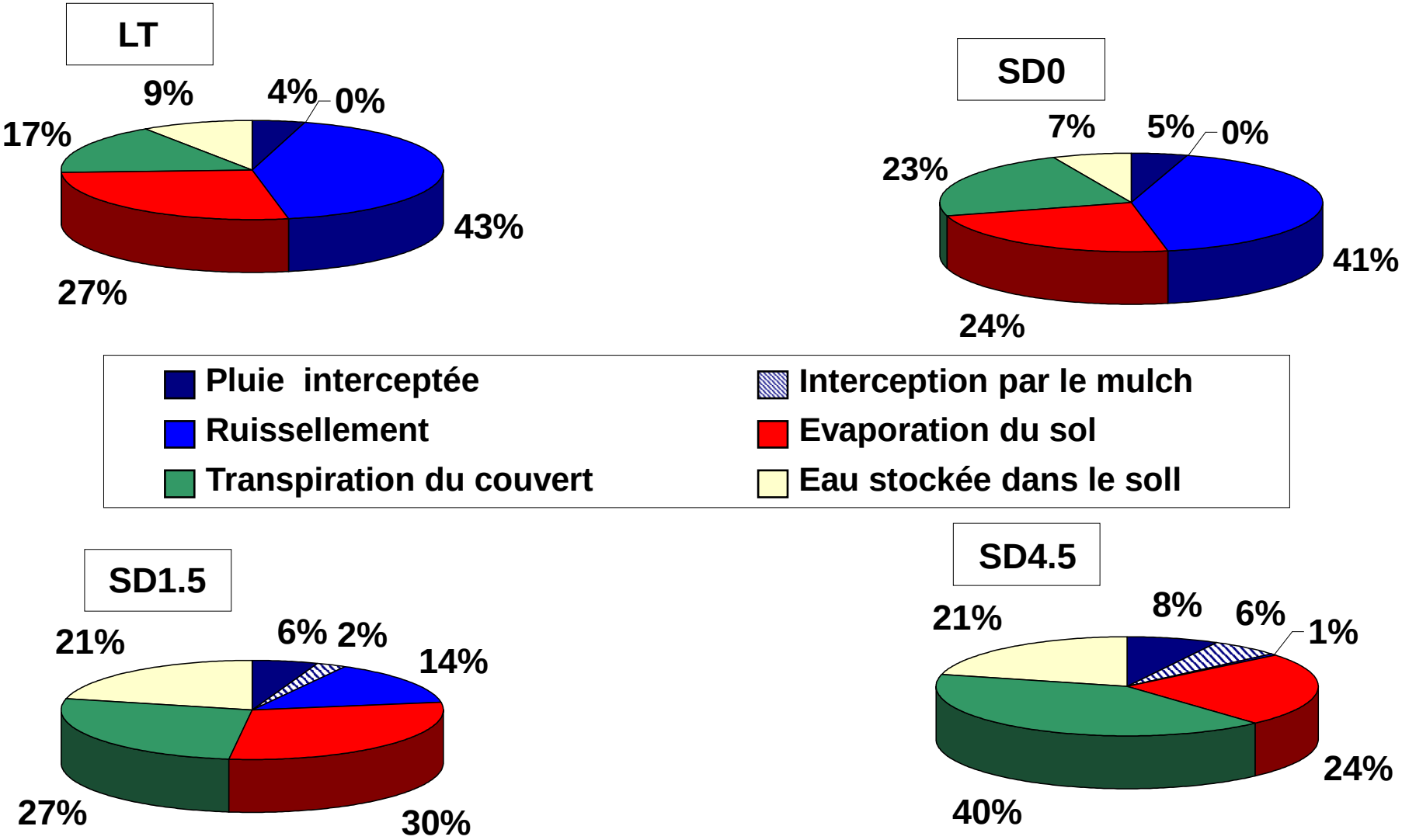
**(SD4.5)**

**Semis direct**

**4,5 T/ha de résidus de culture**

# Même avec de faibles quantités de résidus de culture,

# Fortes conséquences sur les termes du bilan hydrique



## *B/ Diminution de la demande*

- Cultures d’hiver / cultures de printemps

- Esquive – Evitement - Tolérance

# Cultures d'hiver/de printemps

Première piste:

- Mettre le cycle végétatif en phase avec le cycle hydrologique … si les conditions thermiques le permettent
- En France, la saison froide est généralement la plus pluvieuse

→ ***les cultures d'hiver sont moins affectées par la sécheresse que les cultures de printemps***

(leur cycle est « bouclé » avant la sécheresse)

# Evitement :

## soit génétique, soit agronomique

***→ fait, lui aussi, baisser le rendement potentiel***

1/ Mettre la demande atmosphérique en phase avec l'offre biologique:

- ***Diminution de la surface foliaire***

( densité, taille, chute précoce des feuilles,...)

2/ Mettre l'offre biologique en phase avec la demande atmosphérique :

- ***Augmentation de la profondeur ou de la densité racinaire***

(espèces mieux enracinées, conduite agronomique)

# Un exemple extrême d'évitement agronomique.

## la « Forêt » de Sfax en Tunisie

*Source Ennabli* 93

***Pour un olivier:***
***24x24= 576m2***

***Soit ~ 18 oliviers/ha***

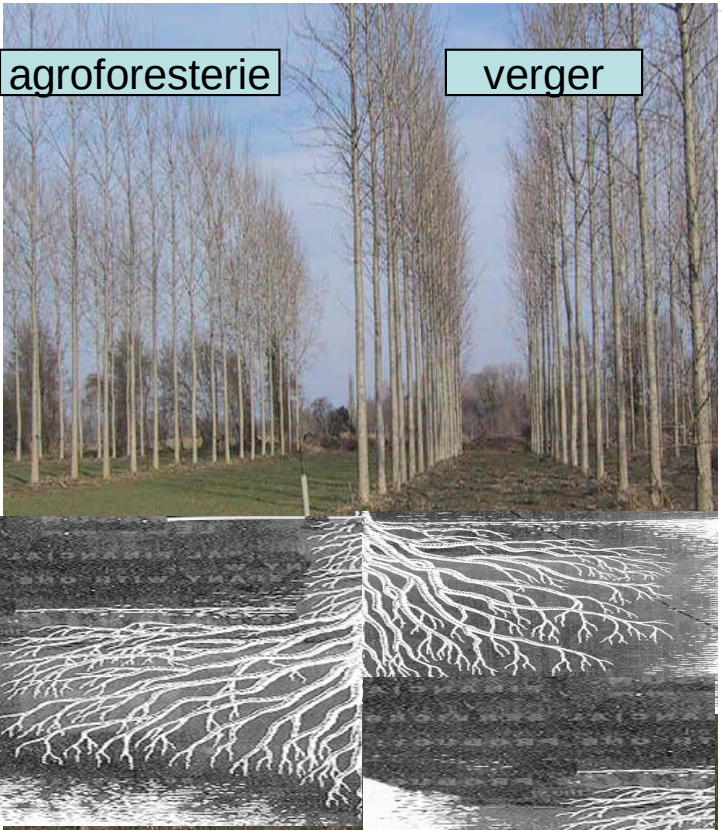
Pluie: Nord tunisien 500mm, Sousse 380mm, Sfax 250mm/an

Distance entre les oliviers:  Nord 8m, Sousse 12m, Sfax 24m

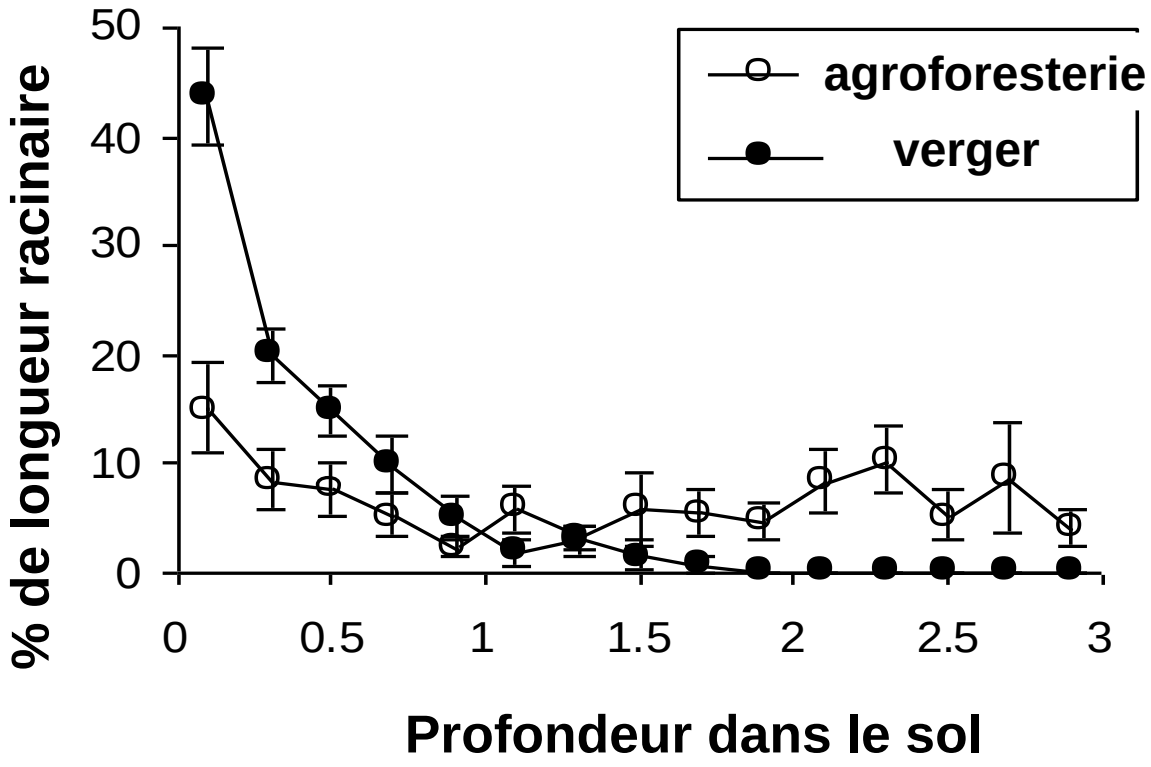
# Un moyen alternatif pour accroître l'eau disponible

## *Accroitre la profondeur racinaire des arbres grâce à l'agroforesterie*

**Mulia & Dupraz (2006)**




**Distribution racinaire du noyer**



# Adéquation offre-demande

## *C - Aridoculture*

*La pluie est insuffisante pour assurer une récolte.*

*→ Réduire la surface cultivée et lui faire bénéficier de la pluie tombée sur une plus grande surface*

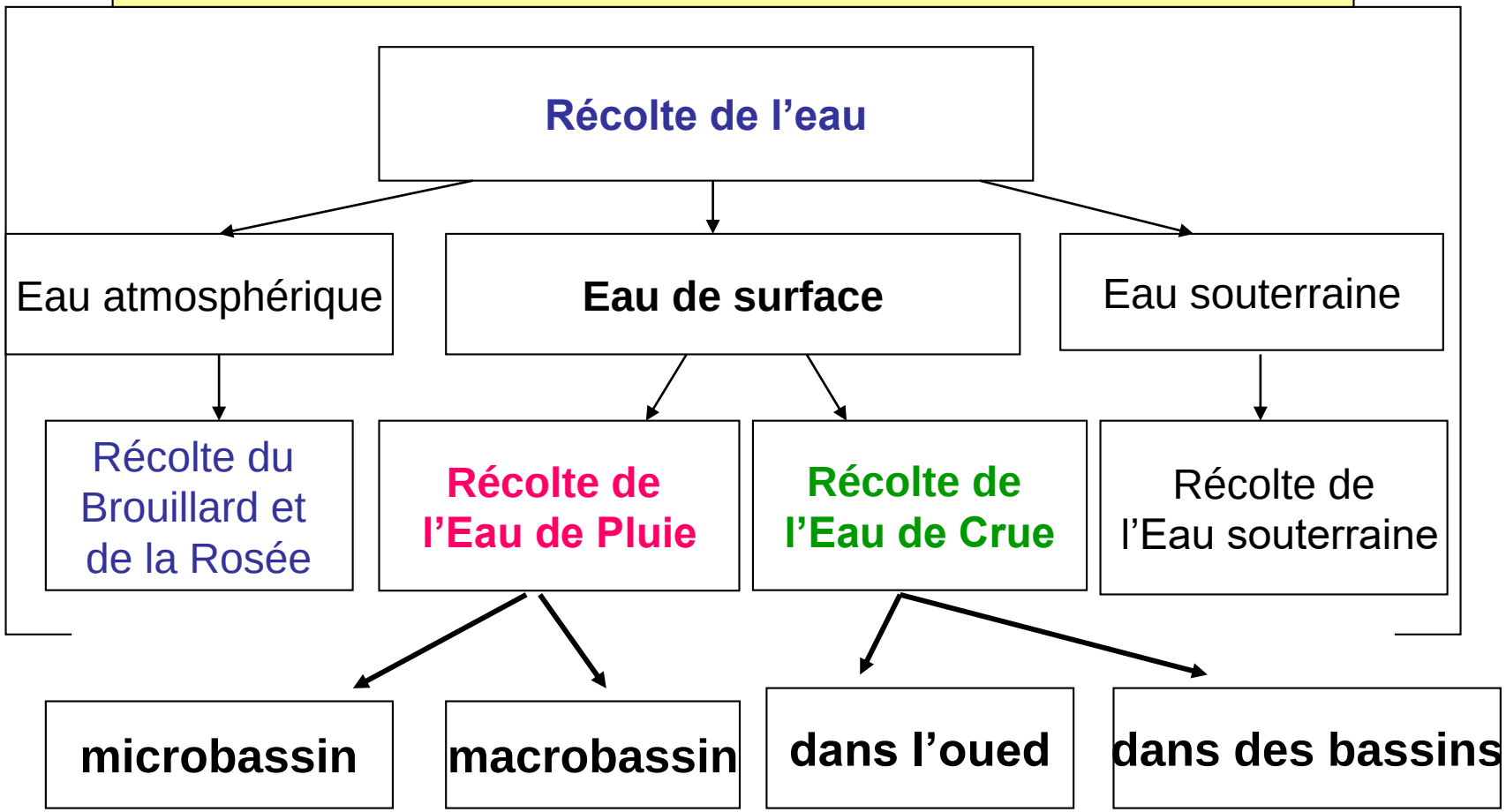
Accroître l'apport d'eau aux plantes en pratiquant la technique de « récolte de l'eau »

*( terme dérivé de l'expression anglaise: « water harvesting »*

# 1/ Récolte de l'eau

*« La récolte de l'eau consiste à priver une partie de la surface de sa part de pluie pour l'affecter à la partie cultivée »*

***(Classification proposée par Prinz & Singh (2000)***



# Récolte de l’eau de surface

Deux catégories principales:

***1-*** **Récolte de l’eau de pluie et du ruissellement**

***a/ micro-bassins***

***b/ macro-bassins***

***2-*** **Récolte de l’eau de crue**

***a/ dans l’oued***

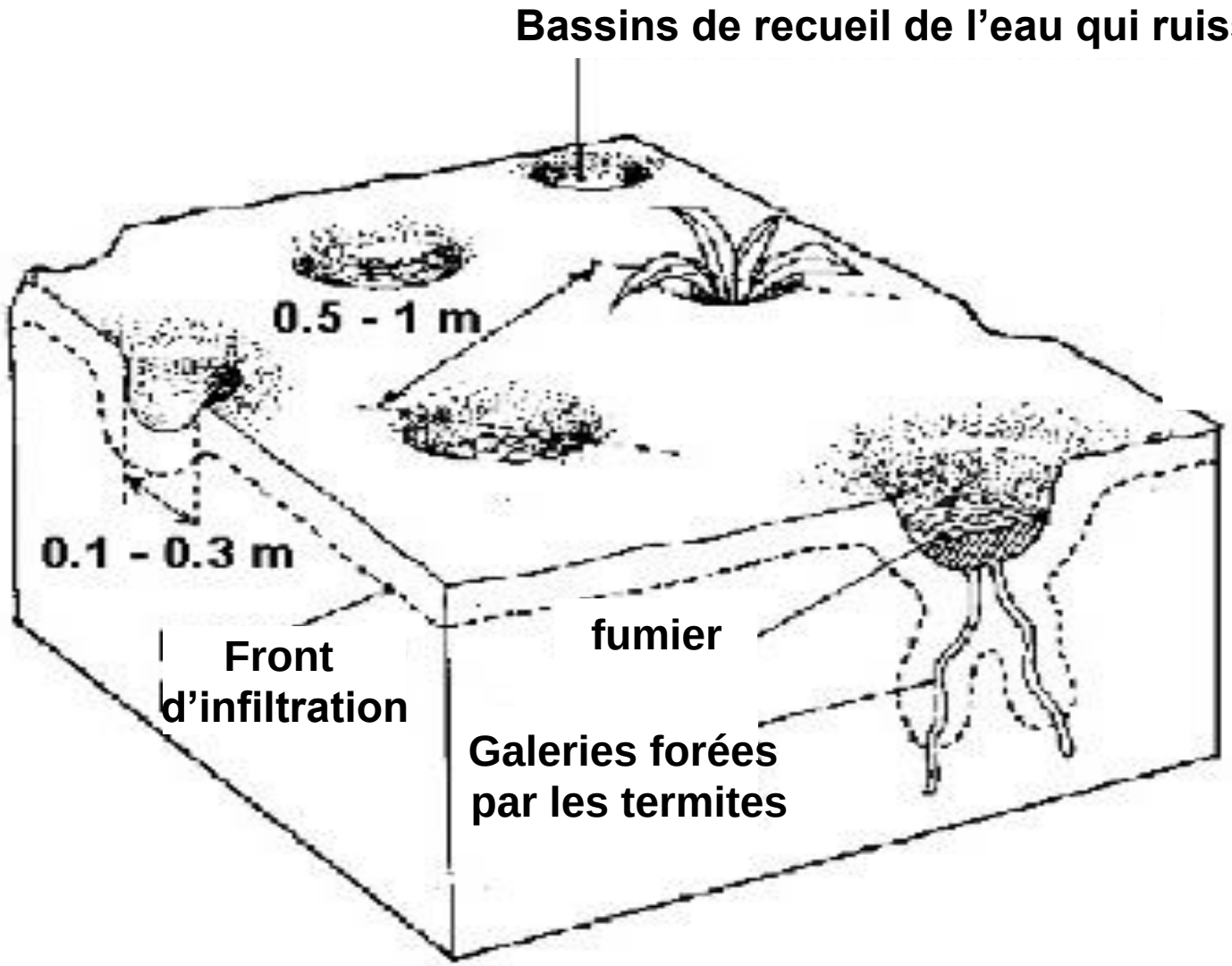
***b/ dans des bassins aménagés***

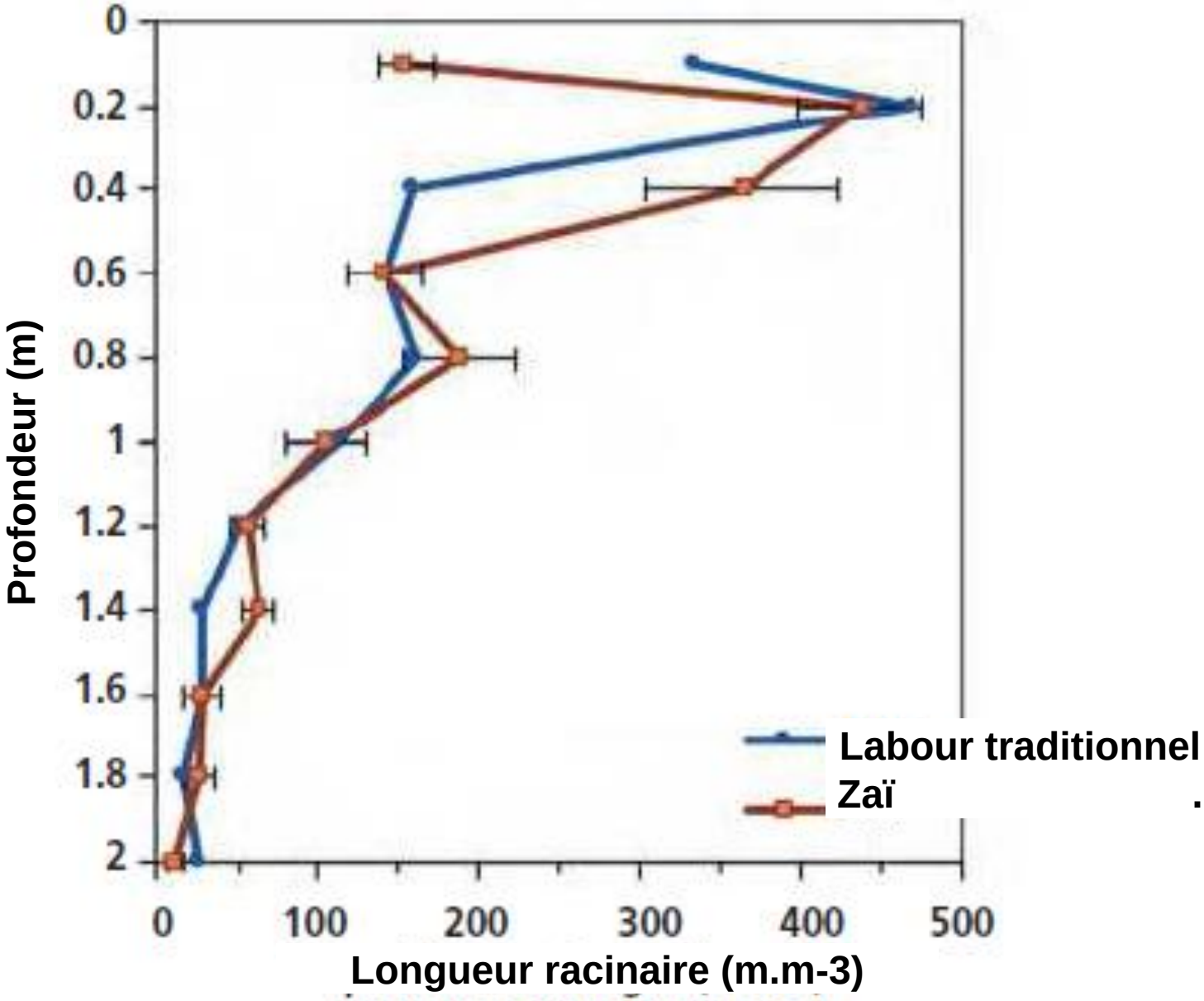
*Le propos s’appuie sur les documents suivants (Cf.bibliographie)*

- *Prinz D. (2002),*
- *Oweis T., Hachum A. & Bruggeman A. 2004*
- *Gomes N., Touma J. & Albergel (2008)*

# le« zaï » (régions sahéliennes)

*Rejinties et al.(1992), Roose (2007)*






**Profil de longueur racinaire de melon d'eau cultivés au Sahel**

Pasternak et al. (2009)

Demi-Lunes, Niger

Prinz, (2002)

Oweis et al. 2004

Exemple de terrasses pentues et buttées, sur lesquelles poussent des arbustes à Tel Haya en Syrie

## *2/ Récolte d'eau de flux ou de crue*
## *( « Irrigation de crue »)*

*Pakistan → 14000 km² , Maghreb → 3000 km²*

Eau du « courant » recueillie, soit:

- en la répandant dans le lit de l'oued aménagé à cet effet
- en la déviant vers une zone dédiée.

Eau stockée dans le sol

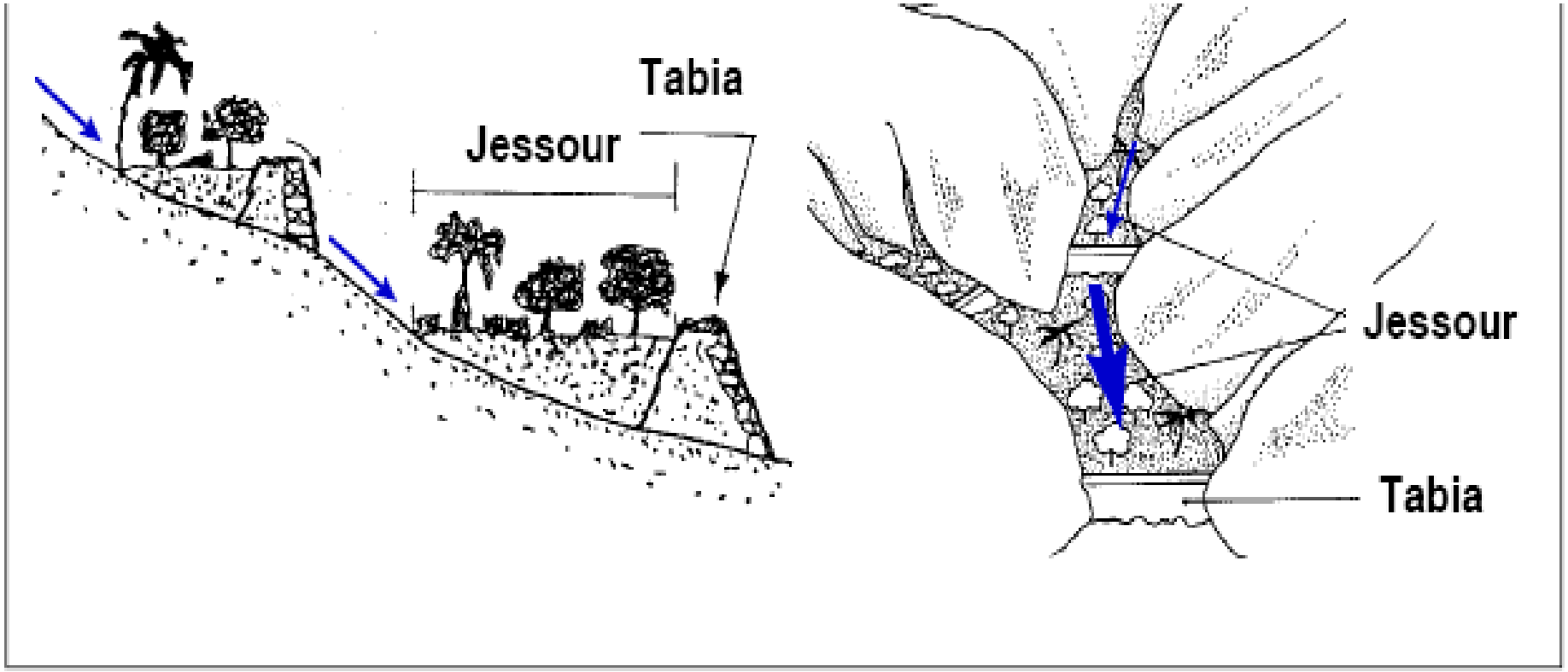
Longueur du bassin ~~ plusieurs Km

« zone de ruissellement / zone cultivée » > 10

Eau excédentaire évacuée

***(Jessour, barrages enterrés, nabateans, sailabas, mgouds,…)***

# Oued aménagé en terrasses:
# « ***Jessour*** »



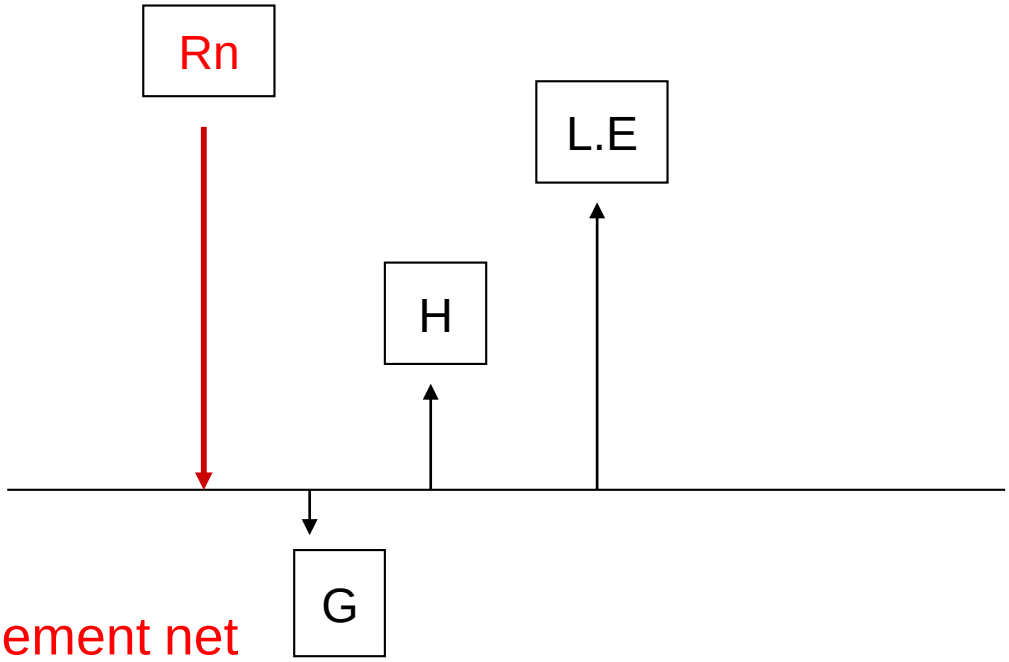

(Alya et al. 1993)

# Jessour dans le sud tunisien

Oweis et al. ( 2004)

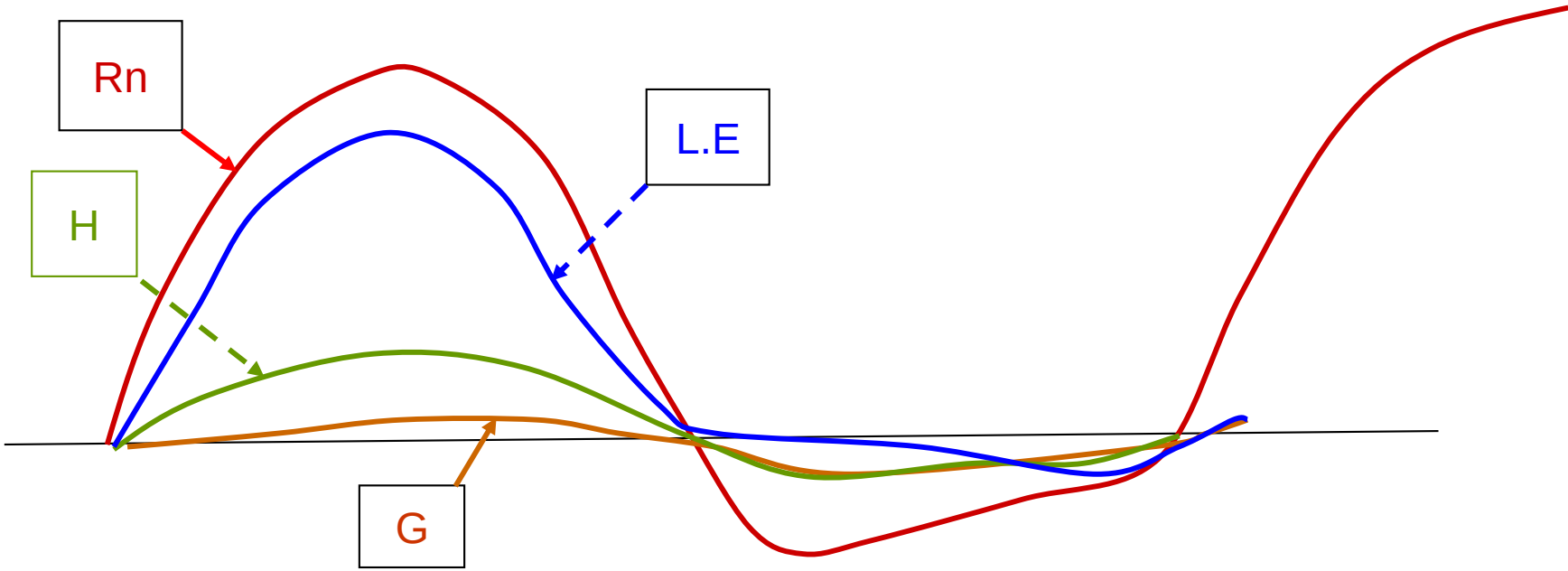
Merci pour votre attention

# Le bilan énergétique de la surface




- Rn : Rayonnement net
- G : Flux de chaleur dans le sol
- H : Flux de chaleur sensible (convectif)
- E : Flux massique de vapeur d'eau (convectif) = Evapotranspiration
- L.E : Flux de chaleur latente ( L= 2,4 MJ/Kg = *600 cal/g*)

# Evolution du bilan énergétique de surface au cours d'une journée *(nycthémère)*




- $$Rn - G = H + L.E$$

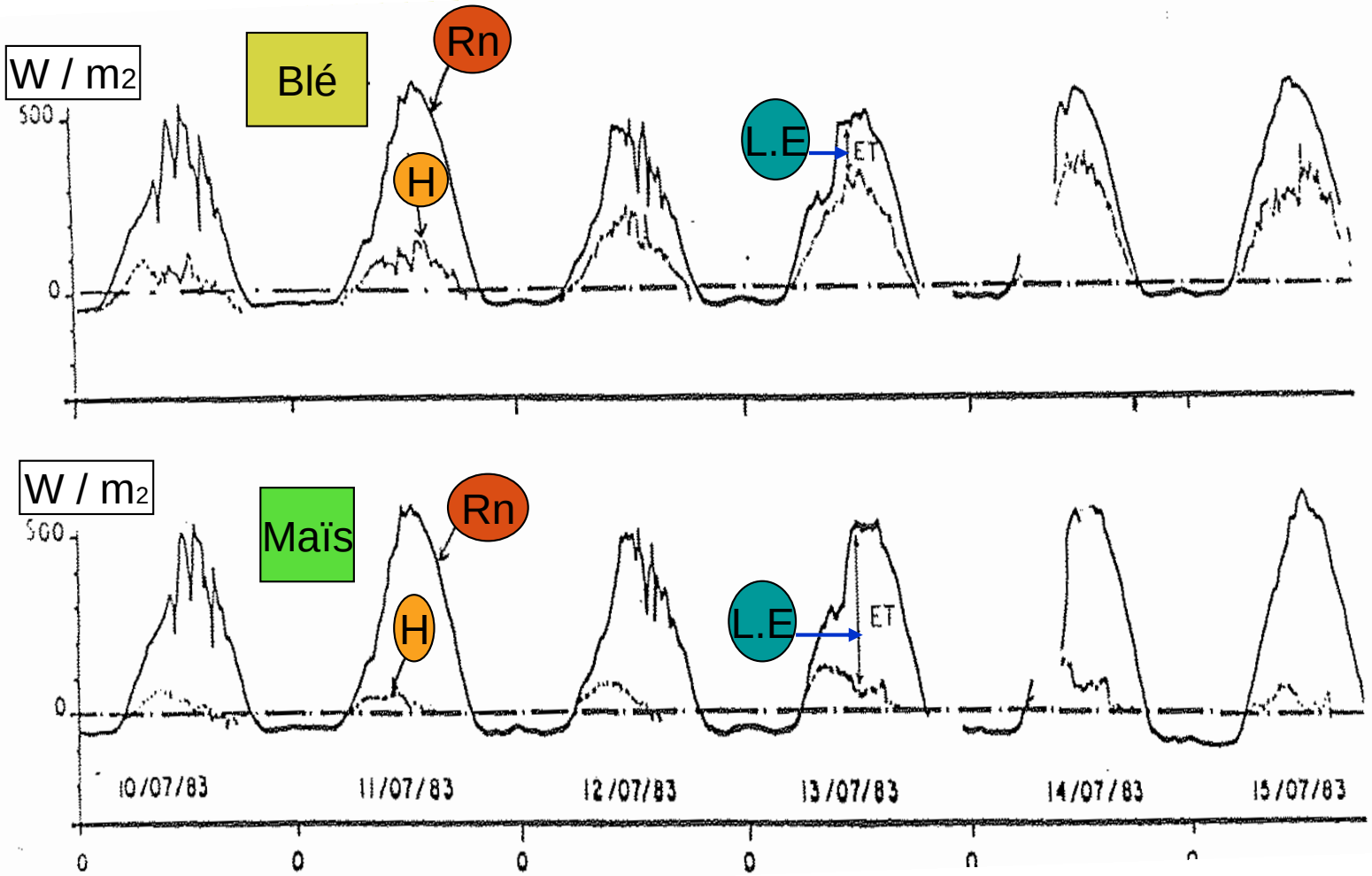
Grosso modo, pour la France, en valeur annuelle: *L. E ~ 2/3 Rn* ;

- *Rapport intéressant à mettre en face: E ~ 2/3 Pluie* .
- *sans cette consommation « eau-chaleur latente », le climat estival serait torride*

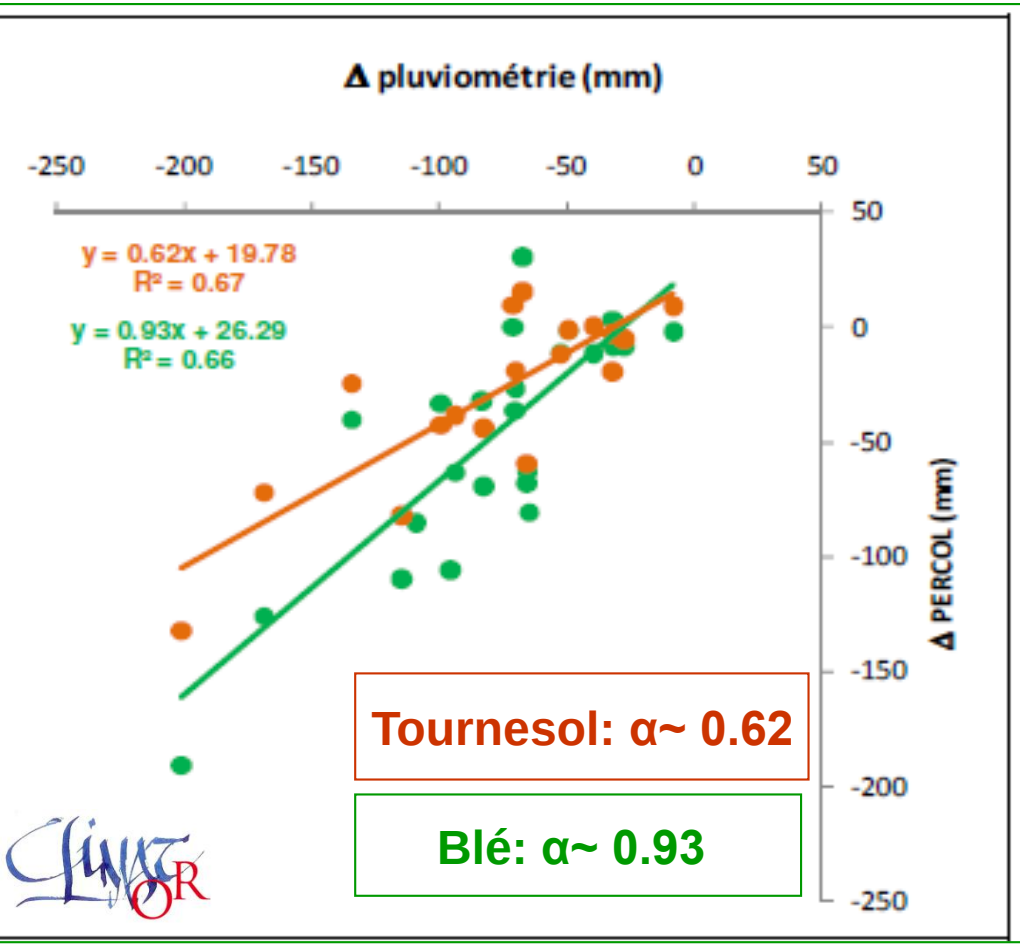
# Chartres - Juillet 1983

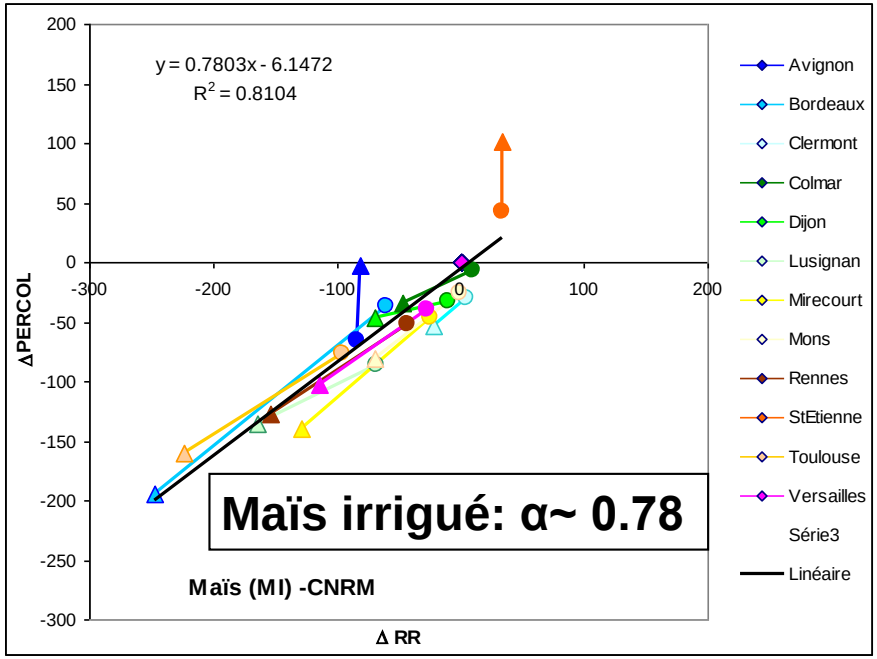
## évolutions comparées de l'évapotranspiration du blé et du maïs

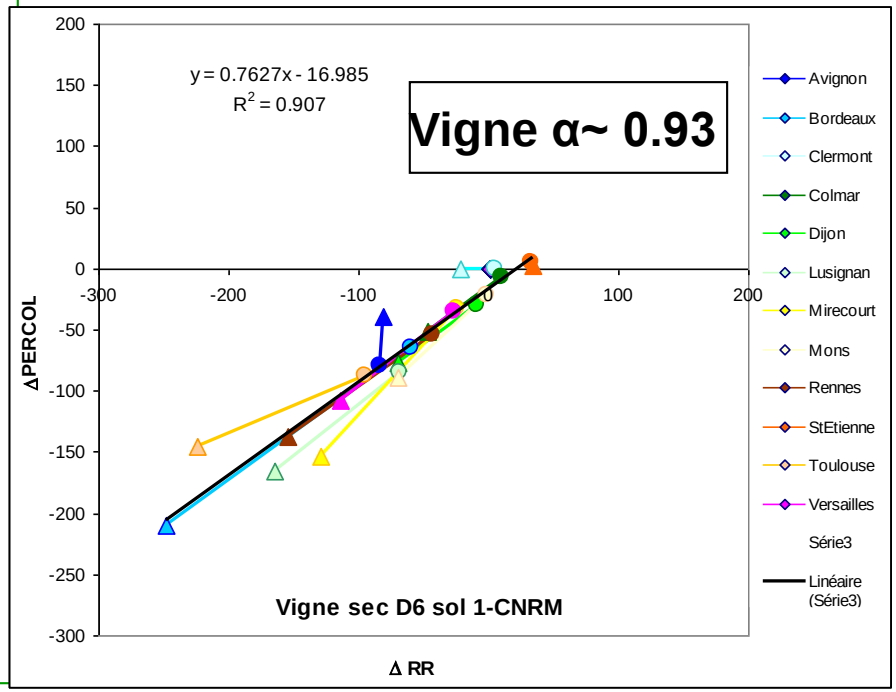
*Rn: Rayonnement net, H: Flux de chaleur sensible,*
*L. E : Flux de chaleur latente ←→ Evapotranspiration*



# ΔRecharge *vs* ΔPluie:
# proche de ¾ !!!!



# Tolérance:
# 1/ Naturelle ou 2/à améliorer??

1/ **Différences entre espèces**

(ex: sorgho vs maïs → on cultive le sorgho sur les sols plus pauvres et on ne lui procure que de l'irrigation de complémént)

2/ Attention: de quoi parle-t-on?:

**Survie ou maintien de la production??**

Beaucoup de « scoop » sur la survie,

Mais peu de choses sur la production car

(retour sur la 1ère diapo) Eau ←→ Carbone!!

# Conclusion *(avant aridoculture)*

- La localisation géographique conduit à de fortes inégalités en termes de disponibilité de l'eau ( même à l'échelle du territoire français)

- 1/ dans certaines régions l'agriculture pourra se développer sans problèmes hydriques particuliers ***(eau verte abondante)***

- 2/ Dans d'autres, on pourra encore demain s'appuyer sur une offre exogène ***(eau bleue abondante)***

- 3/ Dans une troisième catégorie, on sera amener à se poser plus fortement qu'aujourd'hui la question de l'adéquation de la demande à l'offre. ***(eau verte et eau bleue limitantes)***

→ ***systèmes de cultures adaptés***

C'est sur cette troisième situation que doit porter l'effort de la recherche agronomique en matière de relation « eau – agriculture »

# 1- Récolte de l'eau de pluie et du ruissellement

## A/ Récolte de l'eau In situ et dans des microbassins

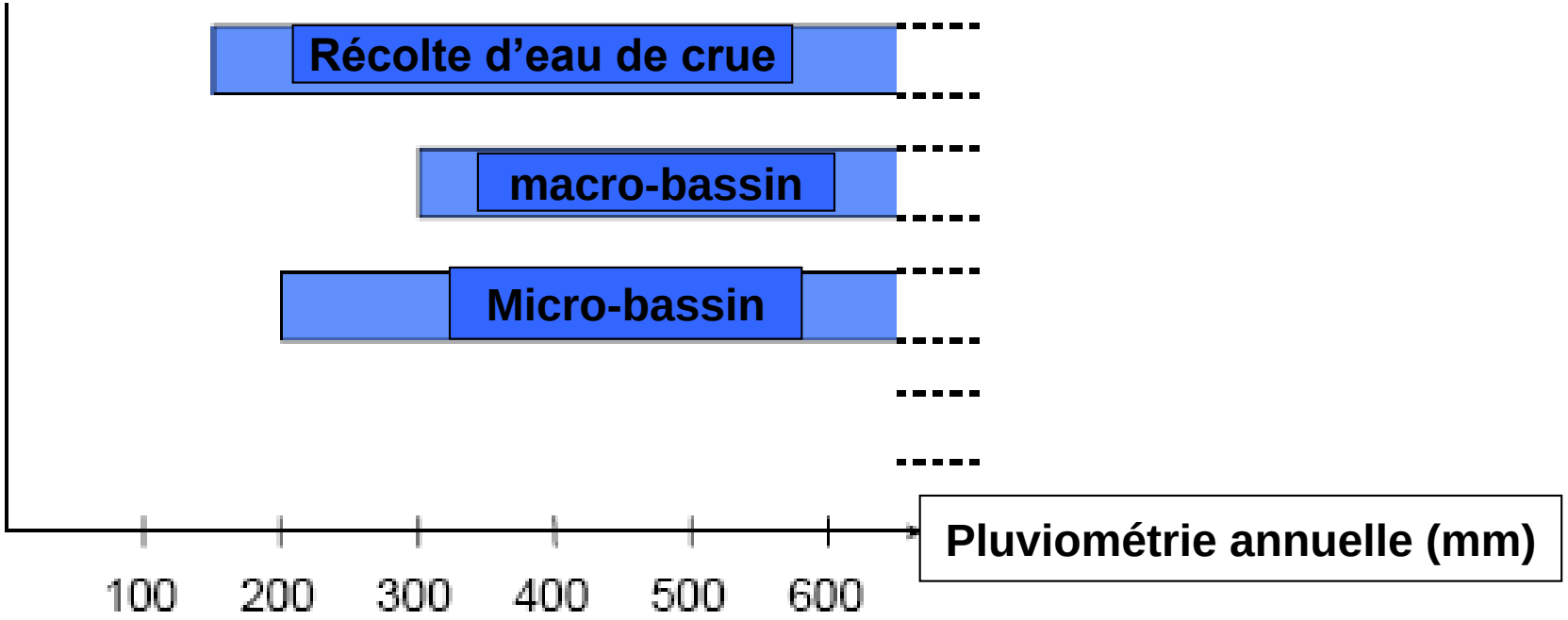
- **Les dimensions du bassin sont de l'ordre de 1 à 30 mètres**
- **L'eau de ruissellement est stockée dans le sol**
- **Le rapport entre la surface cultivée et la surface totale du bassin est compris entre 1/3 et 1/2**
- ***De nombreux noms à travers le globe: zaï, Tassa, contour ridges, Fanya Juu, Negarim, terrasses, système vallerani, Meskat, Khushkaba, …***

## B/ Récolte de l'eau dans des macrobassins

- **On récolte l'eau ruisselant des parties amont du bassin**
- **Les dimensions du bassin sont de l'ordre de 30 à 200 mètres**
- **L'eau de ruissellement est stockée dans le sol**
- **Le rapport entre la surface cultivée et la surface totale du bassin est compris entre- 1/10 et 1/3**
- **Le système nécessite un nivellement soigné du terrain cultivé**
- ***De nombreux noms à travers le globe:(Khaki, Tera, systèmes Tabia, Liman terraces, Hillside conduit,…)***

## Pluviomérie nécessaire pour la récolte de l'eau

( Gomes et al 2007, adapté de Prinz 1996)




## *Agriculture pluviale en aridoculture*

**. Amandiers, abricotiers, orge, haricots,choux, cassave, agrumes,**

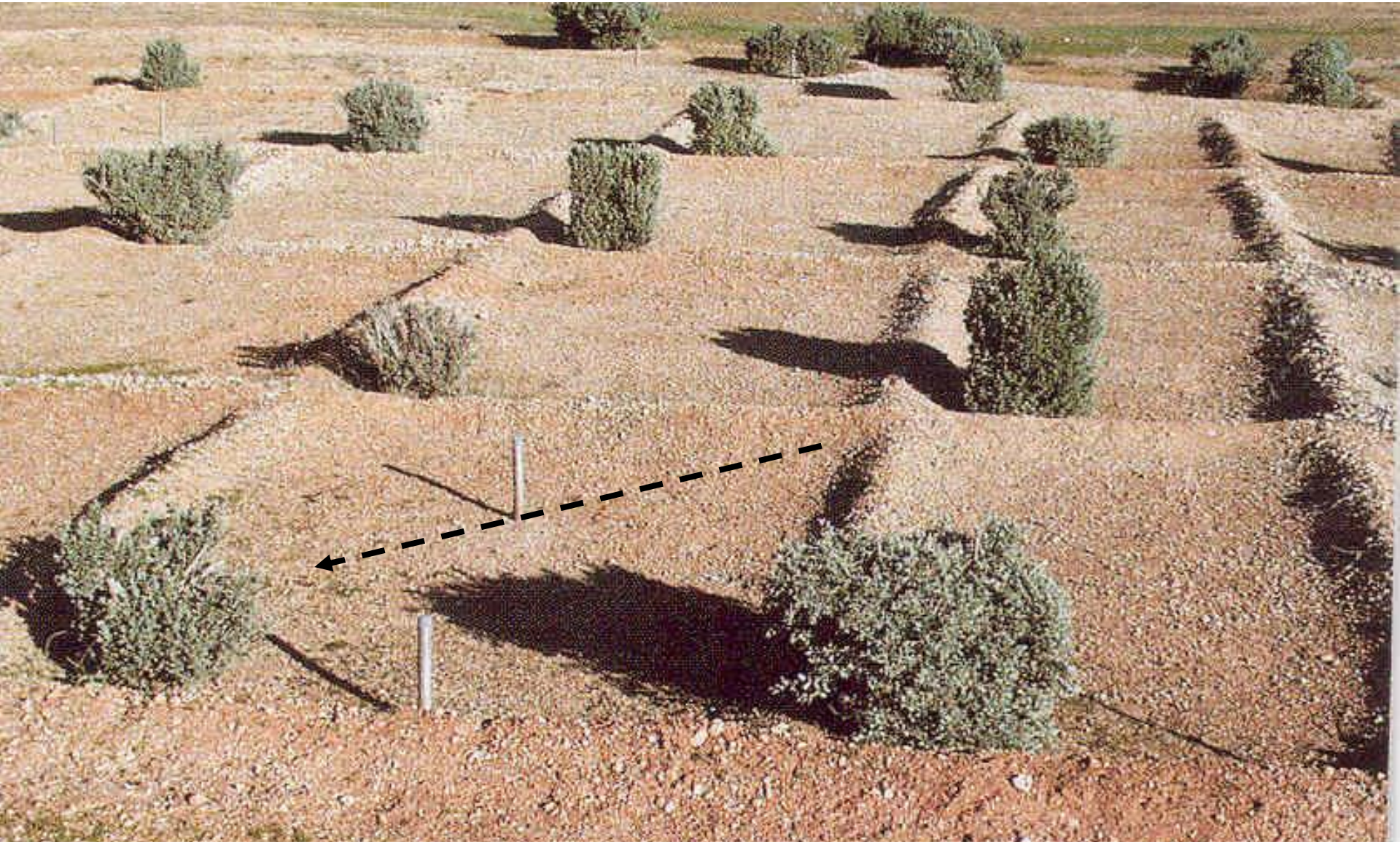
**• dates(palmier), figues*, « groundnuts »,* lentilles, laitue, maïs,**

**•melons, milet, olives, oignons, pêches, pois,**

**•poivre, sorgho, *« squashes »,* tomates, blé**

Latérite dégradée au Sahel.

Evanari et al.(1971),Oweis et al.( 2004)



Micro-bassins quadrilatères, « Negarim »,
Station ICARDA, Tel Hava, Syrie

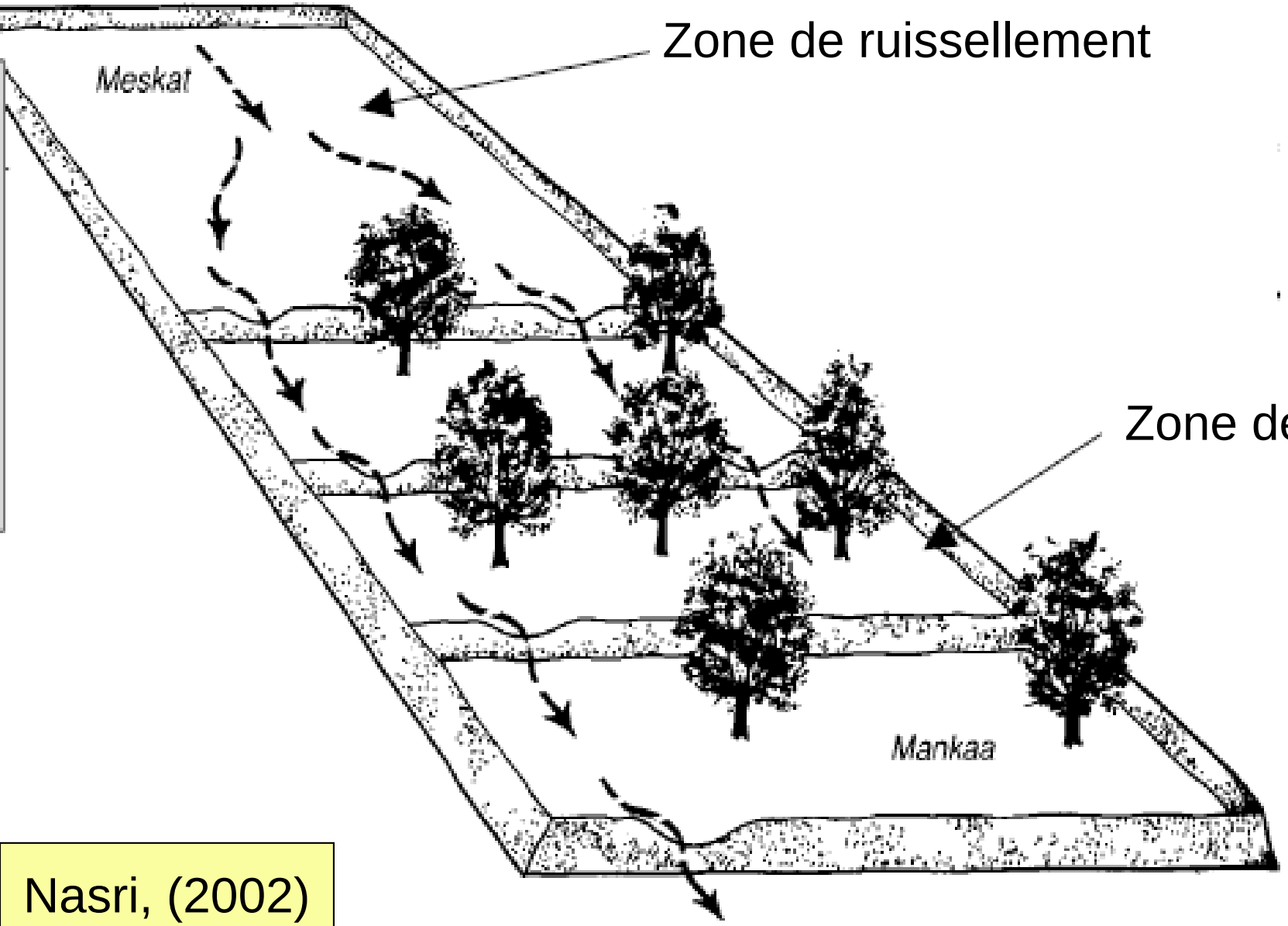
# 1- Récolte de l'eau de pluie et du ruissellement

## B/ Récolte de l'eau dans des macrobassins

***(Khaki, Tera, systèmes Tabia, Liman terraces, Hillside conduit,…)***

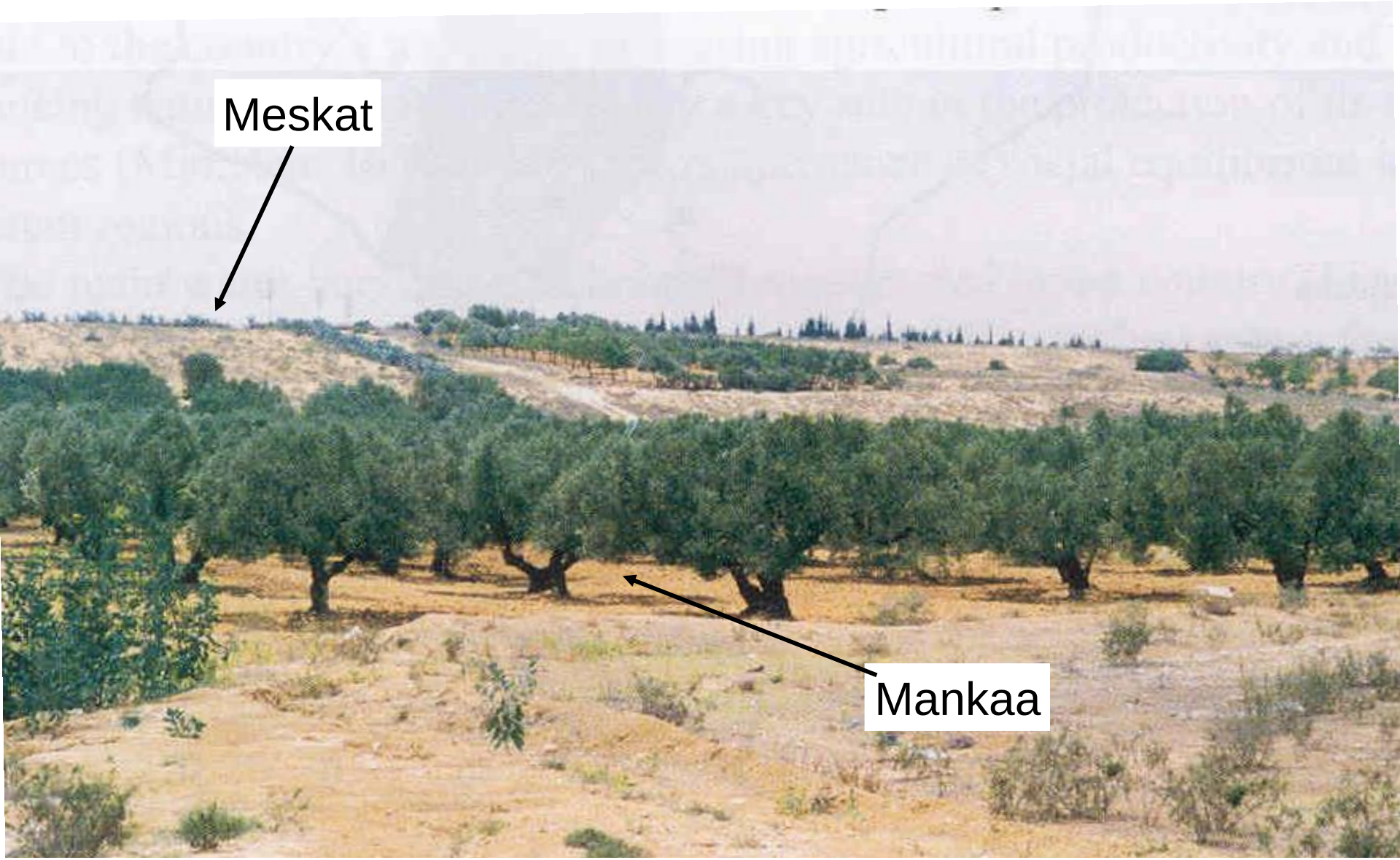
- **On récolte l'eau ruisselant des parties amont du bassin**
- **Les dimensions du bassin sont de l'ordre de 30 à 200 mètres**
- **L'eau de ruissellement est stockée dans le sol**
- **Le rapport entre la surface cultivée et la surface totale du bassin est compris entre- 1/10 et 1/3**
- **Le système nécessite un nivellement soigné du terrain cultivé**

# « *Meskat -Mankaa*»



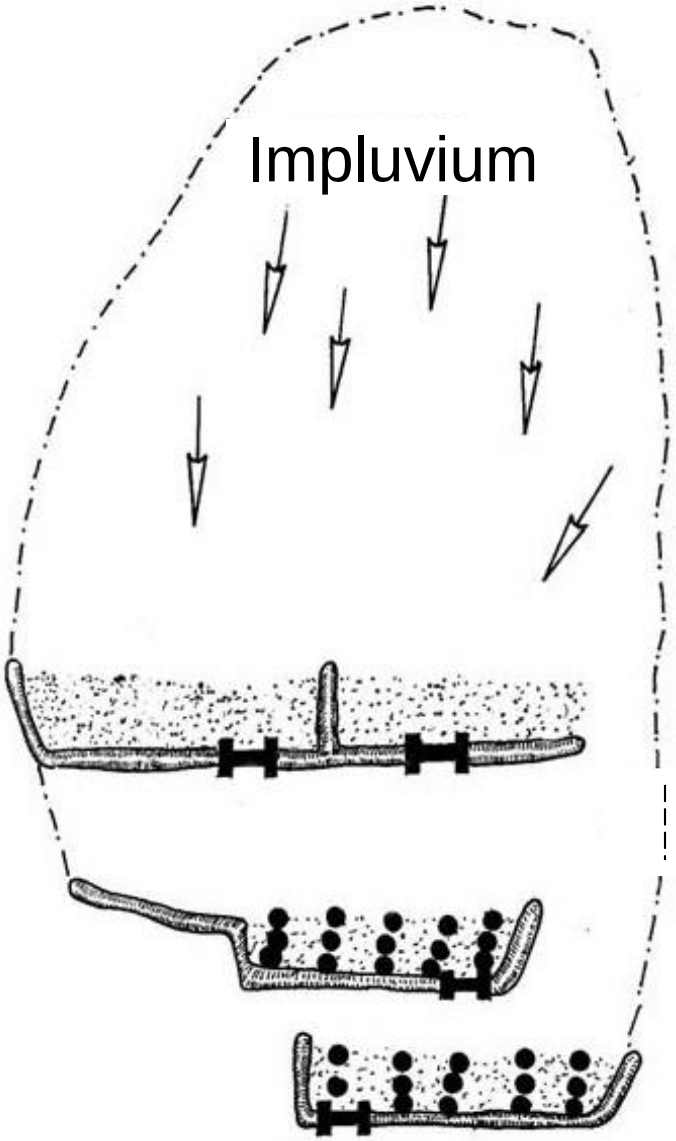

Nasri, (2002)

( Ben Mechlia N & Ouessar M. 2004)




Une Oliveraie organisée en « Meskat-Mankaa » en Tunisie centrale

# schéma d'un macrobassin




Haut de la pente

tabia

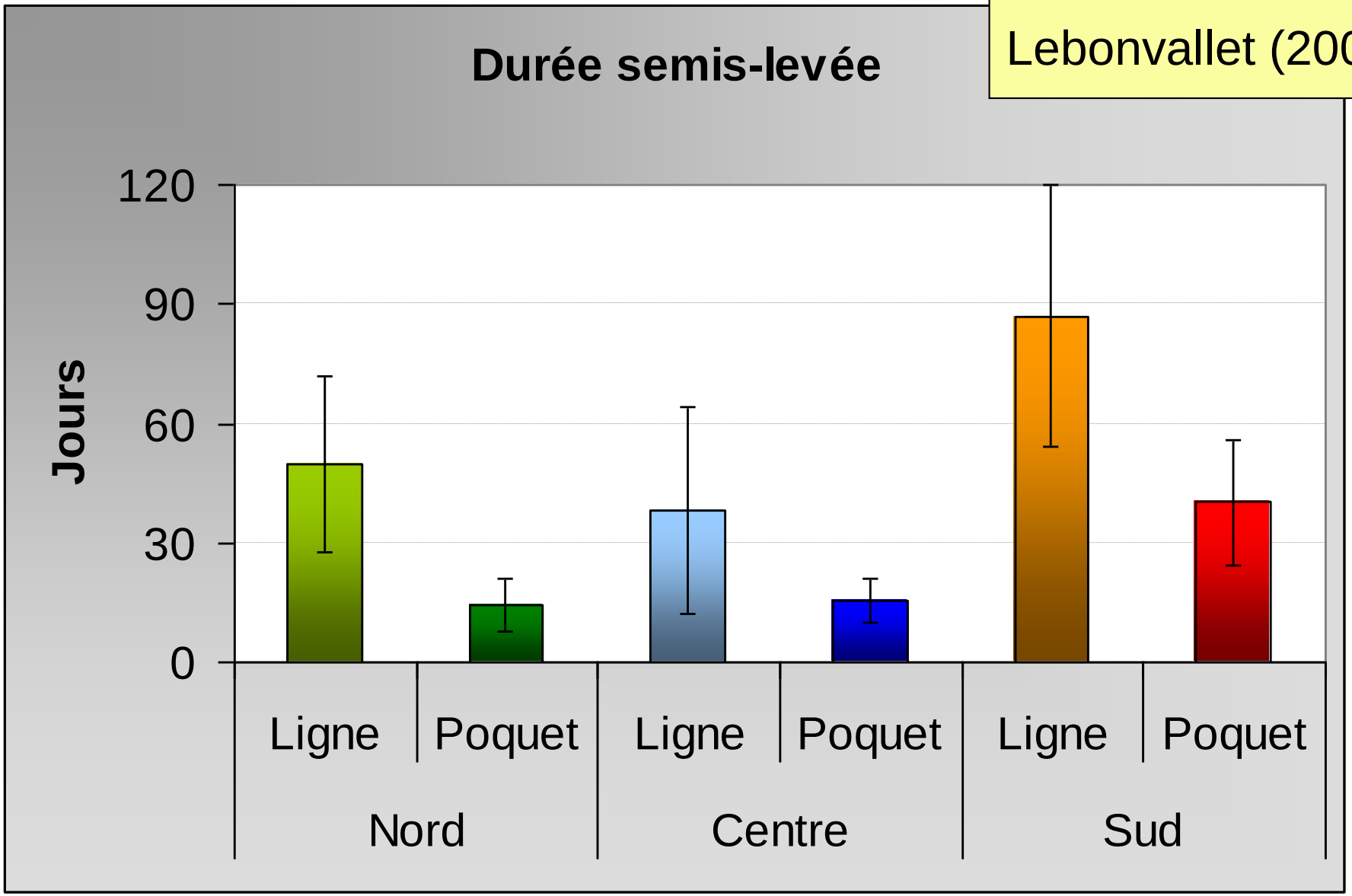
●●● arbres. . .

.déversoirs .

Impluvium / zone cultivée
5 → 20

Nasri et al. (2004)

Lebonvallet (2008)




Intervalle semis-levée chez le Quinoa en Bolivie
( résultats du modèle Stics)