

Irrigation en maraîchage bio diversifié

CRABE - Cours C –
perfectionnement

Christophe Nothomb
19 novembre 2024
Partie "théorique" 1



Plan de la journée

Introductions	10'
Le cycle de l'eau et l'eau dans le sol	20'
Besoins en eau des plantes	20'
Techniques d'irrigation	40'
Pause !	30'
Réseau d'irrigation <ul style="list-style-type: none">•Notions d'hydraulique•Sources, captation, stockage, traitement,•Distribution, application•Autres éléments	90' <ul style="list-style-type: none">•15'•30'•30'•15'
Fin de la première partie	

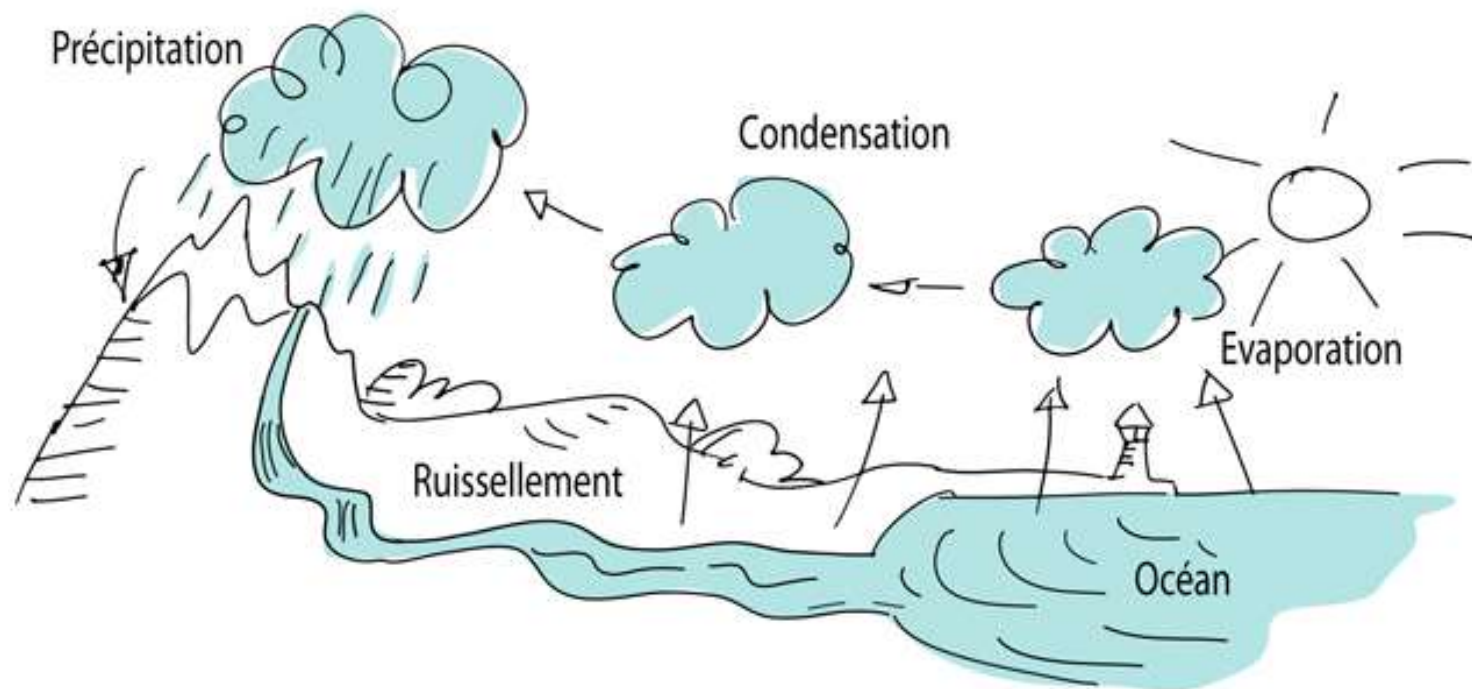


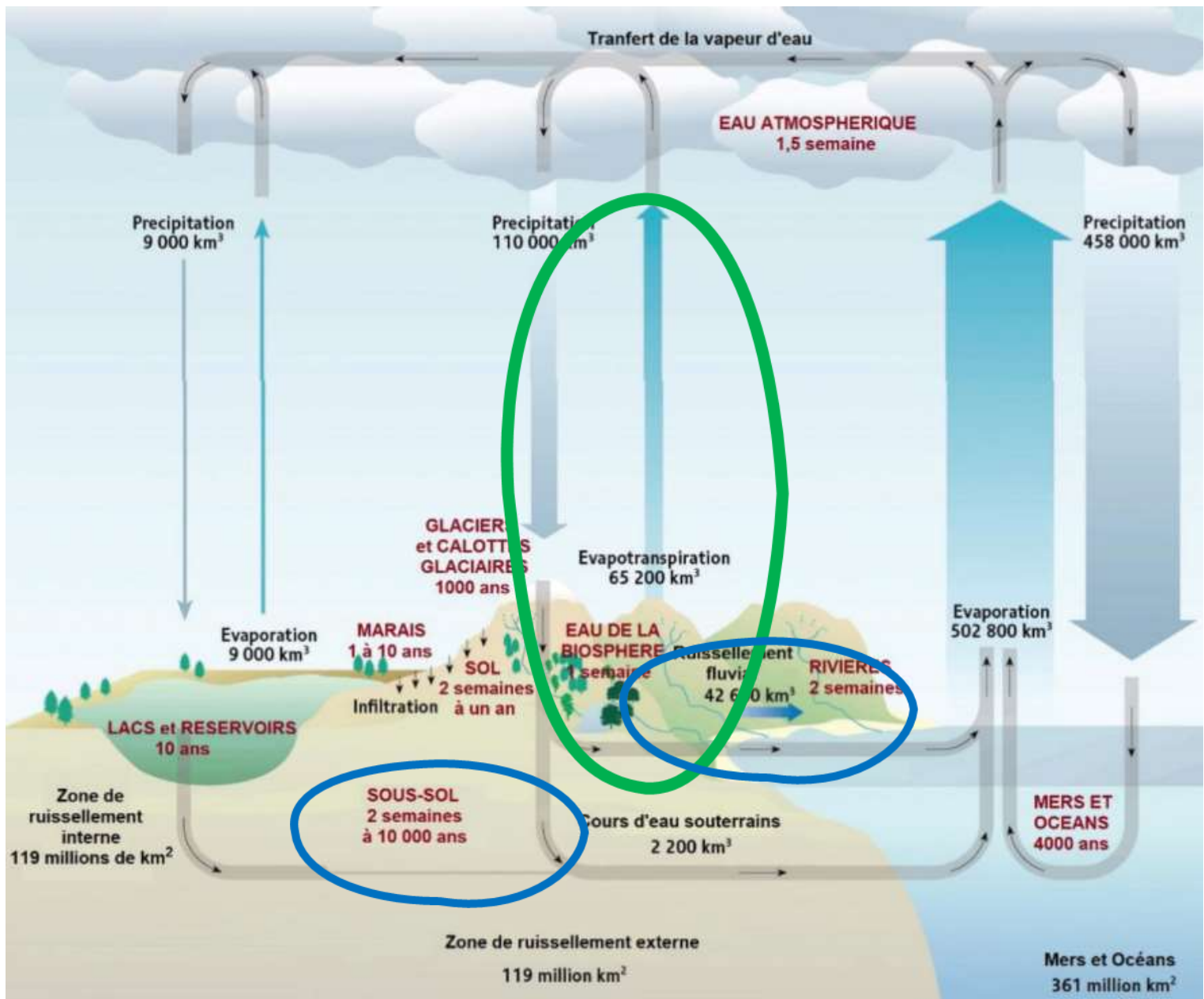
Introduction

- Christophe Nothomb, l'eau permacole
 - Conseil en gestion de l'eau et irrigation pour les producteurs
 - Réflexions sur la gestion de l'eau dans les paysages
 - Appui à la création de fermes collectives



Le cycle de l'eau





Le cycle de l'eau verte

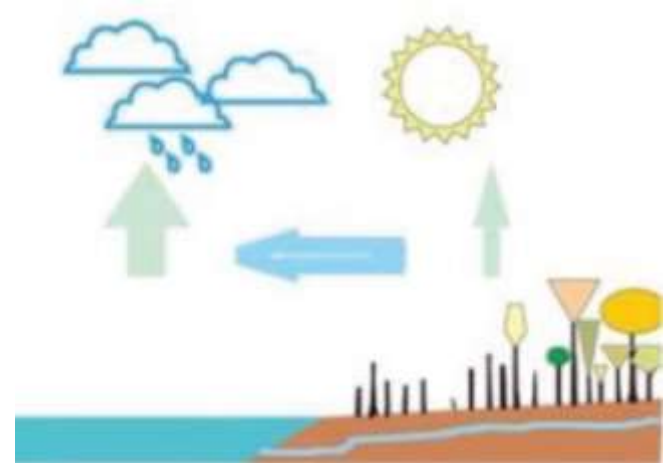
Cycle fonctionnel :

La même goutte d'eau est évapo-transpirée plusieurs (5 à 6 !) fois



Cycle dysfonctionnel :

L'évaporation nette sur les terres diminue, l'air humide s'écoule vers la mer et les terres deviennent plus arides



Source : <https://interculturelles.org/project/cultiver-l-eau/>

Le cycle de l'eau verte

Cycle dysfonctionnel :
=> Accélération du cycle

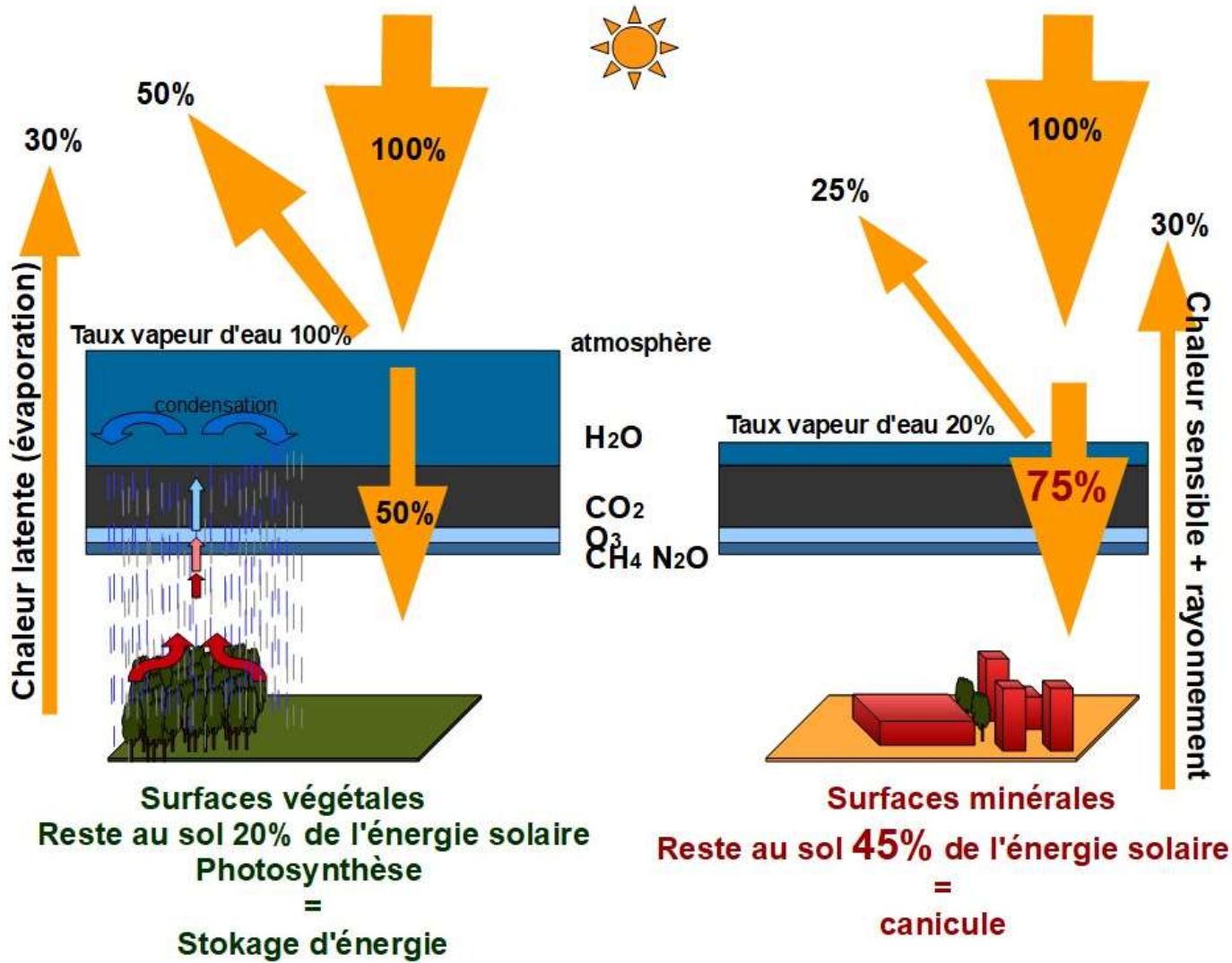
Causes :

- Moins d'infiltration
(haies, arbres, urbanisation, ...)
- Drainage
(des terres, des zones humides, canalisation des rivières, ...)
- Moins de MO dans les sols
(pratiques agricoles, érosion, ...)

Conséquences :

- Inondations
- Sécheresses
- Incendies



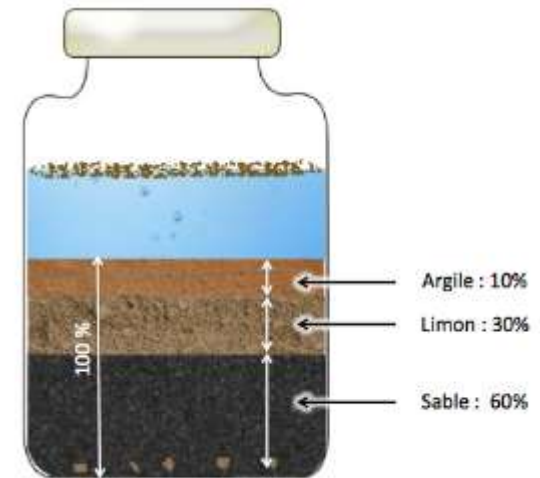
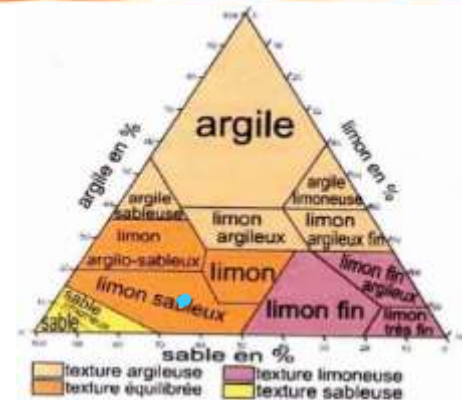


L'eau dans le sol



L'eau, le sol et les plantes

- Rétention de l'eau dans les sols :
- Fonction du type de sol
 - Texture
 - Structure



L'eau, le sol et les plantes

- Structure
 - granulaire et grumeleuse
 - anguleuse et subanguleuse
 - prismatique et en colonne
 - Lamellaire
- Travail mécanique du sol
 - Immédiat
 - Temporaire
- collaboration avec le vivant (faune + flore)
 - + lent
 - + pérenne



L'eau, le sol et les plantes

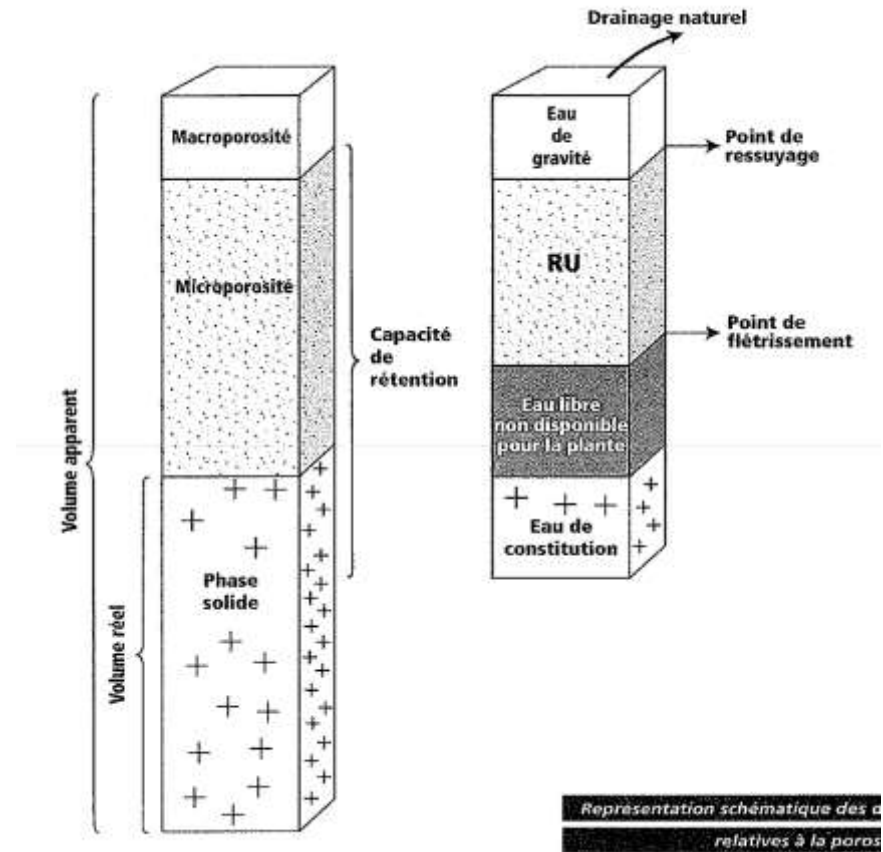
- collaboration avec le vivant (faune + flore)
 - + lent et + pérenne
 - Éviter le travail mécanique du sol
 - Max 10 premiers centimètres
 - Sous-solage, si reprise de terres très compactées
 - Éviter le retournement des horizons
 - Encourager et dynamiser le vivant
 - Agroforesterie, PTD, cultures pérennes, semis direct sous couvert...
 - vers de terre et racines qui modèlent et aèrent le sol.
 - Respecter le temps de ressuyage du sol
 - Laisser les pieds de cultures



L'eau, le sol et les plantes

- Rétention de l'eau dans les sols :
 - Capacité de rétention
 - Réserve utile (~45% de CR)
 - Réserve facilement utilisable (RFU = 40 à 65% de RU)
 - Réserve difficilement utilisable (RDU)

« l'eau est dans le vide du sol ! »



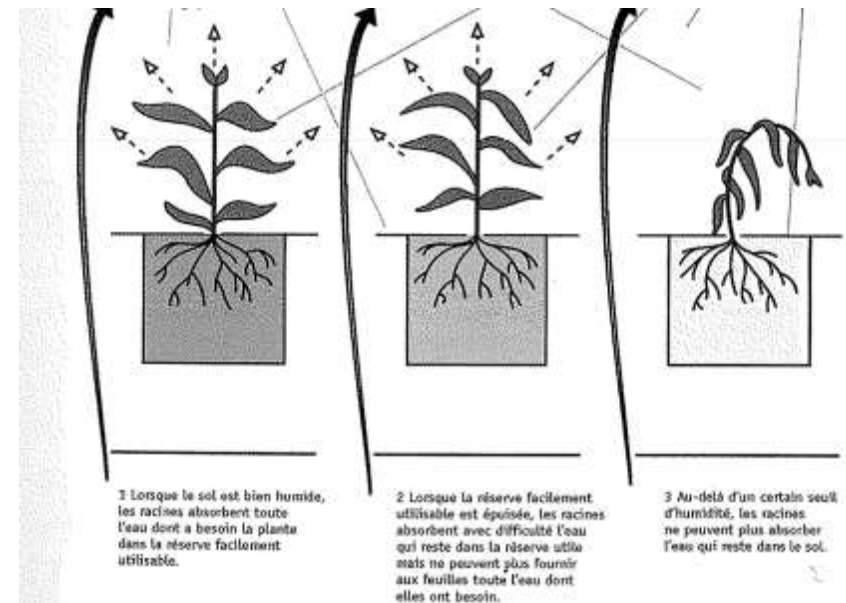
Représentation schématique des
relatives à la porosité

Source : P. Gautier



L'eau, le sol et les plantes

- Rétention de l'eau dans les sols :
 - Capacité de rétention
 - Réserve utile (~45% de CR)
 - Réserve facilement utilisable (RFU = 40 à 65% de RU)
 - Réserve difficilement utilisable (RDU)



« l'eau est dans le vide du sol ! »

L'eau, le sol et les plantes

- RFU disponible
- Influencée par
 - Le type de sol
 - Le % de MO
 - La profondeur d'enracinement

Texture du sol	RFU (mm d'eau / cm de sol) sans MO
Sable	0.4 mm/cm
Limon	0.8 mm/cm
Limon argileux	1 mm/cm

Culture	Profondeur moyenne d'enracinement (cm)	RFU - sol sableux (mm d'eau sur la profondeur) Sans MO	RFU en sol limoneux (mm d'eau sur la profondeur) Sans MO
Radis	15	6	12
Laitue	40	16	32
Oignon	40	16	32
Carotte	50	20	40
Chou	50	20	40
Pomme de terre	50	20	40
Haricot vert	55	22	44
Poivron	70	28	56
Tomate	100	40	80



L'eau, le sol et les plantes

- Augmenter la rétention
 - Maximiser les micro et macroporosités
 - Augmenter le taux de matière organique
 - Diminuer la transpiration et la stérilisation
 - Éviter la battance



L'eau, le sol et les plantes

- Augmenter le taux de matière organique

Réserve utile
(en % du poids
total de sol)

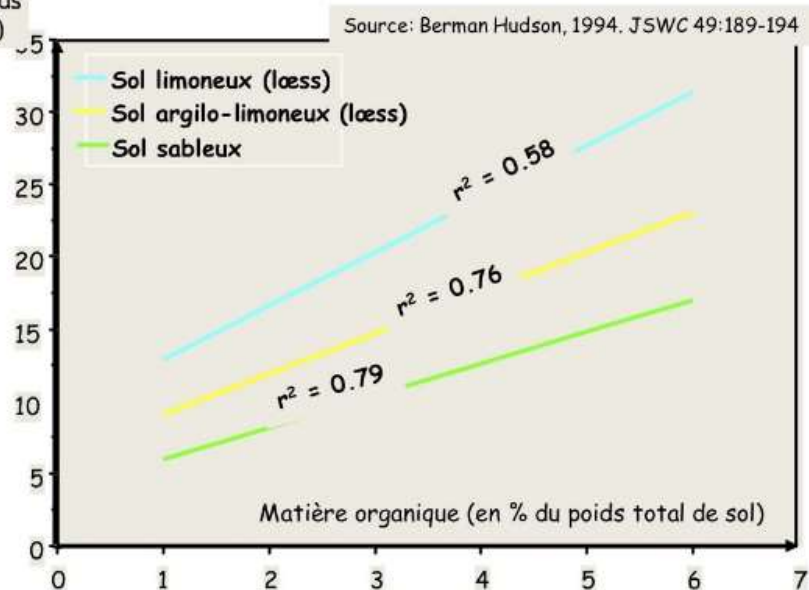


fig7 et 8	y = ux + v			Gain de AWHC pour de 1% de MO pour un départ à				
	v	u	u/v	1%	2%	3%	4%	2% => 7%
(a) sandy,	13,44	1,47	10,9%	9,9%	9,0%	8,2%	7,6%	45%
(b) silt loam,	18,58	0,56	3,0%	2,9%	2,8%	2,8%	2,7%	14%
(c) silty clay loam	14,504	0,57	3,9%	3,8%	3,6%	3,5%	3,4%	18%
(a) clay (>40%) smectitic	13,85	0,23	1,7%	1,6%	1,6%	1,6%	1,6%	8%
(b) clay (>40%) kaolinitic	7,17	1,03	14,4%	12,6%	11,2%	10,0%	9,1%	56%
(c) clay (>40%) mixed soil	11,06	0,68	6,1%	5,8%	5,5%	5,2%	4,9%	27%



L'eau, le sol et les plantes

Situations à éviter

- Teneur en eau $>$ RU: sol « gorgé d'eau », non ressuyé, mal aéré, hydromorphique: asphyxie racinaire
 - « ressuyage » = drainage de l'eau excédentaire par percolation
 - +/- rapide selon structure du sol
- Teneur en eau $<$ RDU: sol sec
 - Arrêt de l'évapotranspiration
 - Flétrissement permanent
 - Mort de la plante

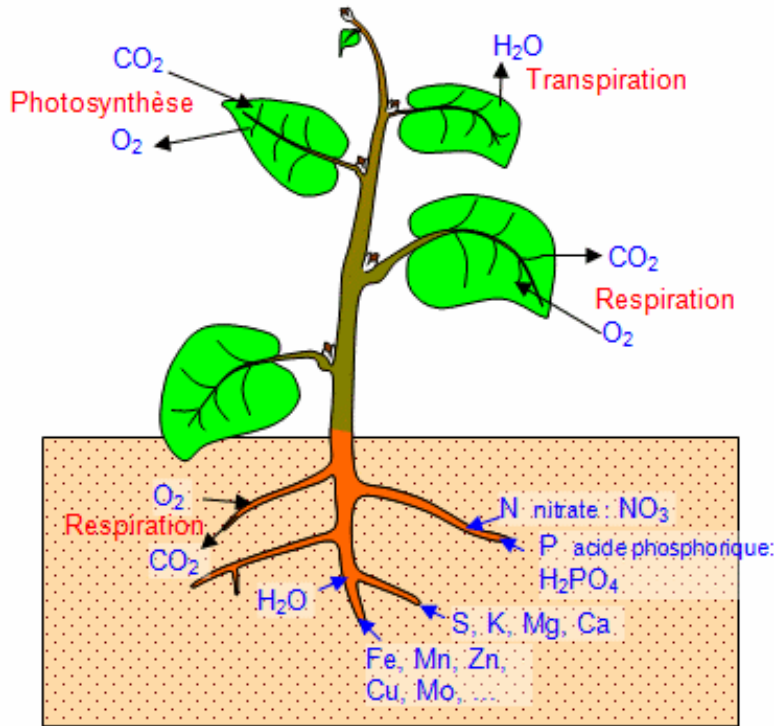


Besoins en eau des plantes



L'eau, le sol et les plantes

Mécanismes d'absorption de l'eau



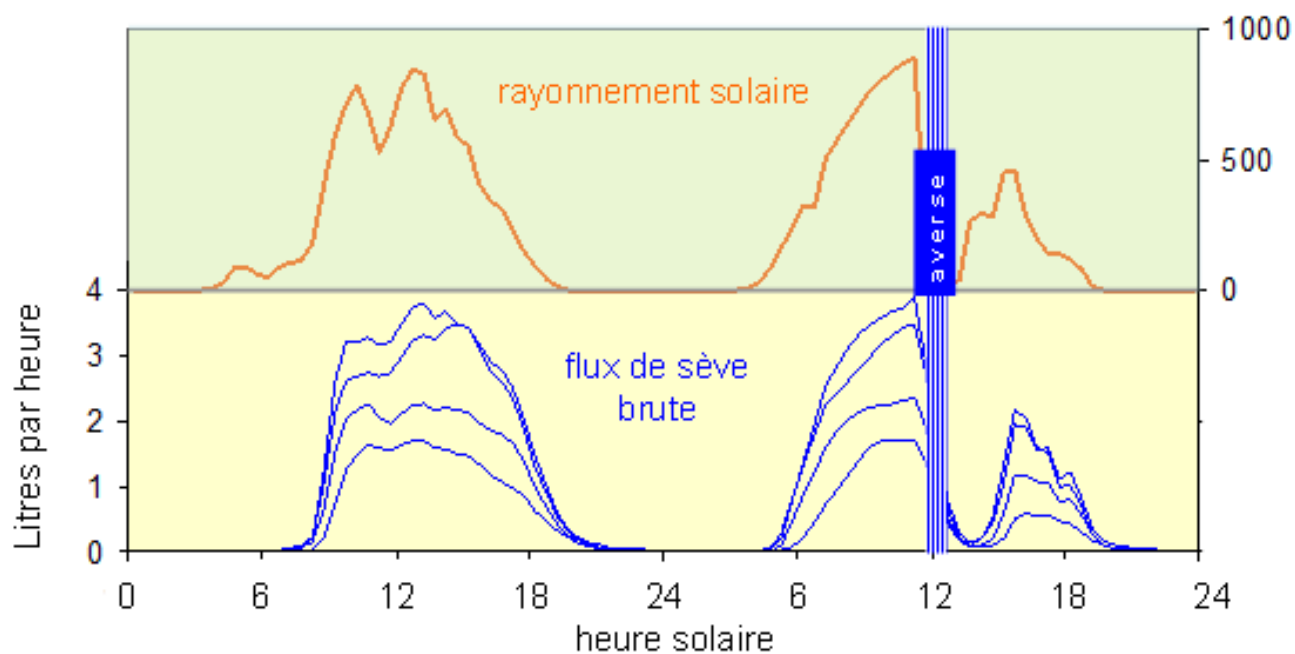
- Par osmose:
 - passage sans apport d'énergie
 - Depuis une solution peu concentrée (l'eau du sol) vers une solution plus concentrée (l'intérieur des cellules des racines)
 - > trop de fertilisant = eau du sol trop « concentrée » -> osmose ralentie, impossible, voire inversée -> flétrissement
- Par succion (+capillarité)
 - Transpiration de l'eau au niveau des feuilles et eau pour photosynthèse
 - Création d'une dépression dans les vaisseaux
 - Aspiration de la « sève minérale » depuis les racines
 - > En cas de stress hydrique extrême, cavitation dans les vaisseaux -> dégâts irréversibles



L'eau, le sol et les plantes

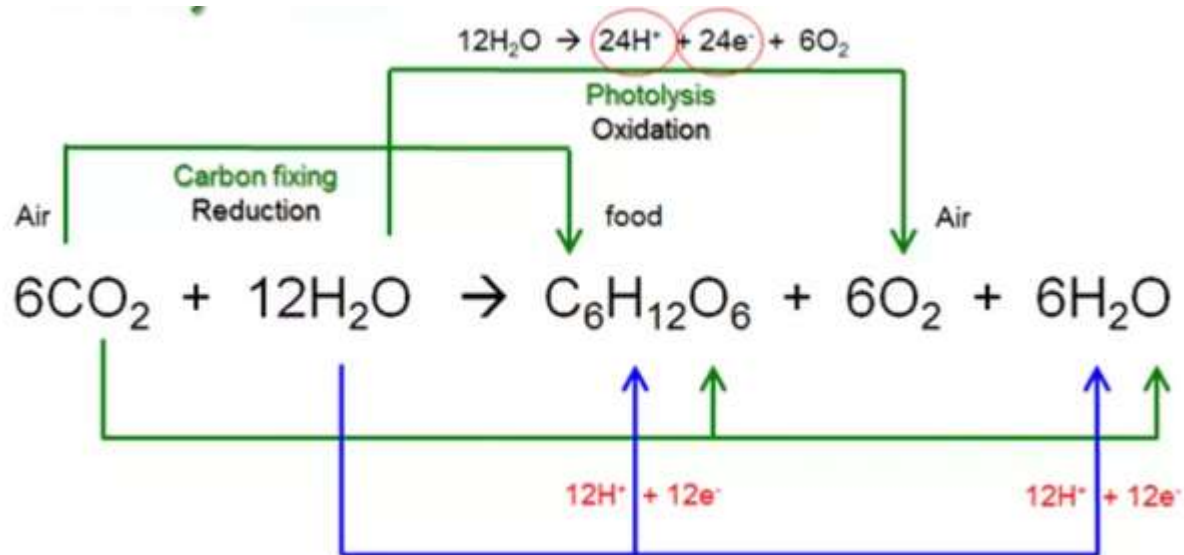
- Force de succion :

Flux de sève brute dans le tronc de
4 hêtres (région de Sarrebourg, Moselle)



L'eau, le sol et les plantes

Photosynthèse :



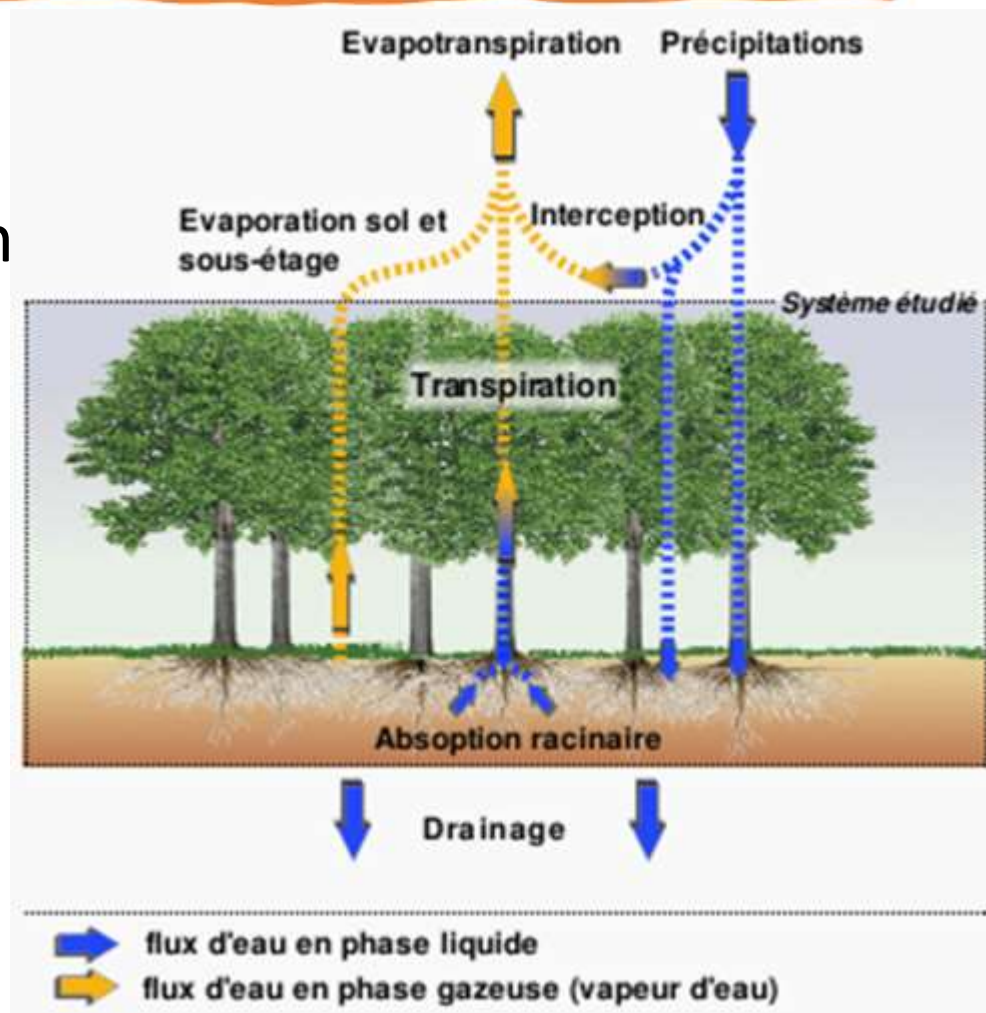
L'eau est le donneur d'électrons, dont la dissociation libère de l'oxygène tandis que de l'eau est reformée à partir d'un atome d'oxygène du dioxyde de carbone



L'eau, le sol et les plantes

Évapotranspiration

- Processus d'évaporation de l'eau à travers les stomates (ouvertures à la surface des feuilles)
- Influencée par
 - La T°
 - L'humidité
 - La vitesse du vent
 - La surface foliaire



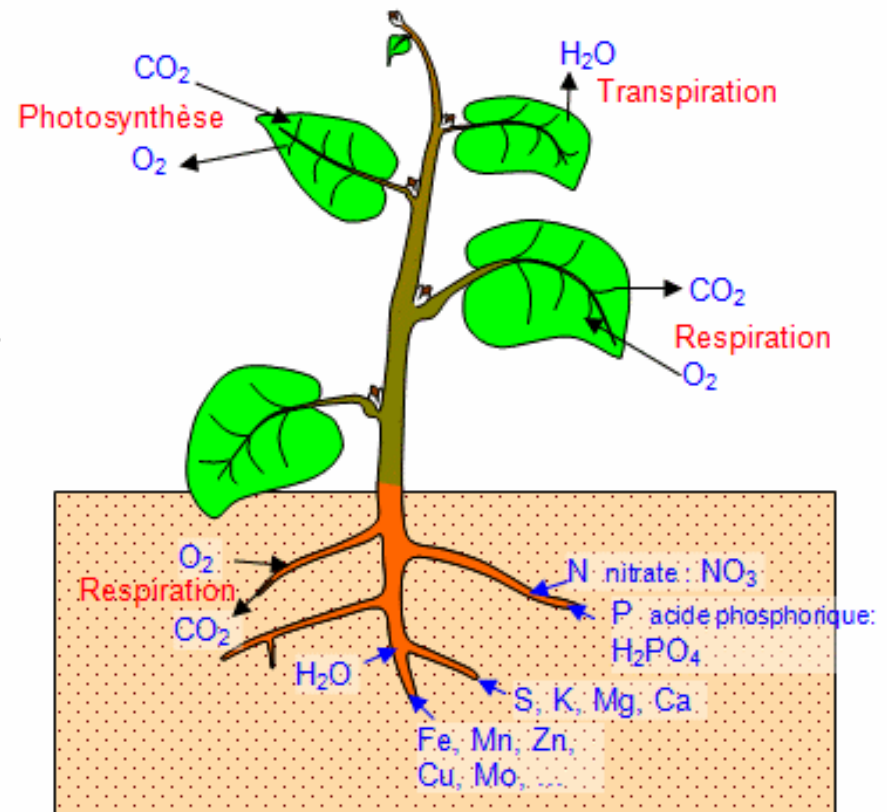
Modulation de l'évapotranspiration

Contrôle de la T°

- Effet de serre: accélère la transpiration (+ autres processus physiologiques), donc la croissance
 - Mais effet opposé: atmosphère confinée plus humide ralentit la transpiration
- Blanchissement des serres: atmosphère moins chaude, feuillage moins chaud, moins de transpiration
- Brumisation des plantes: refroidit la surface foliaire, diminue la transpiration

Contrôle de l'humidité atmosphérique

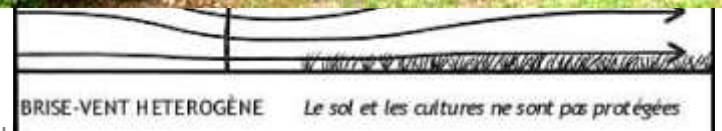
- Brumisation des cultures pour augmenter l'humidité (solution en cas d'urgence sur plantes déshydratées)
- Aération des serres pour diminuer l'humidité



L'eau, le sol et les plantes

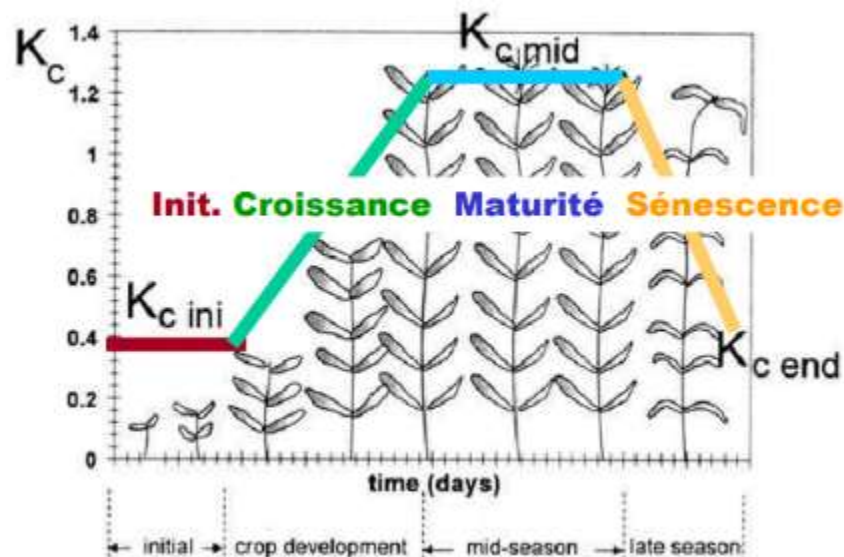
Contrôle de la vitesse du vent

- Ventilation des serres, augmente la transpiration
- Utilisation de haies pour ralentir le vent et diminue la transpiration (et l'évaporation)
- Autres avantages de la réintroduction d'haies et d'arbres :
 - ↗ fertilisation
 - ↗ MO
 - ↗ faune



L'eau, le sol et les plantes

- Besoins qui évoluent en fonction du stade de développement
- Besoins différents en fonction du type de plante



Besoins en eau de quelques cultures	mm/cycle de culture
Pommes de terre	300
Carotte	300
Pois de conserve	200
Oignon	200
Haricot	150
Epinard	100
Courgette sous abri	250
Tomate sous abri	800

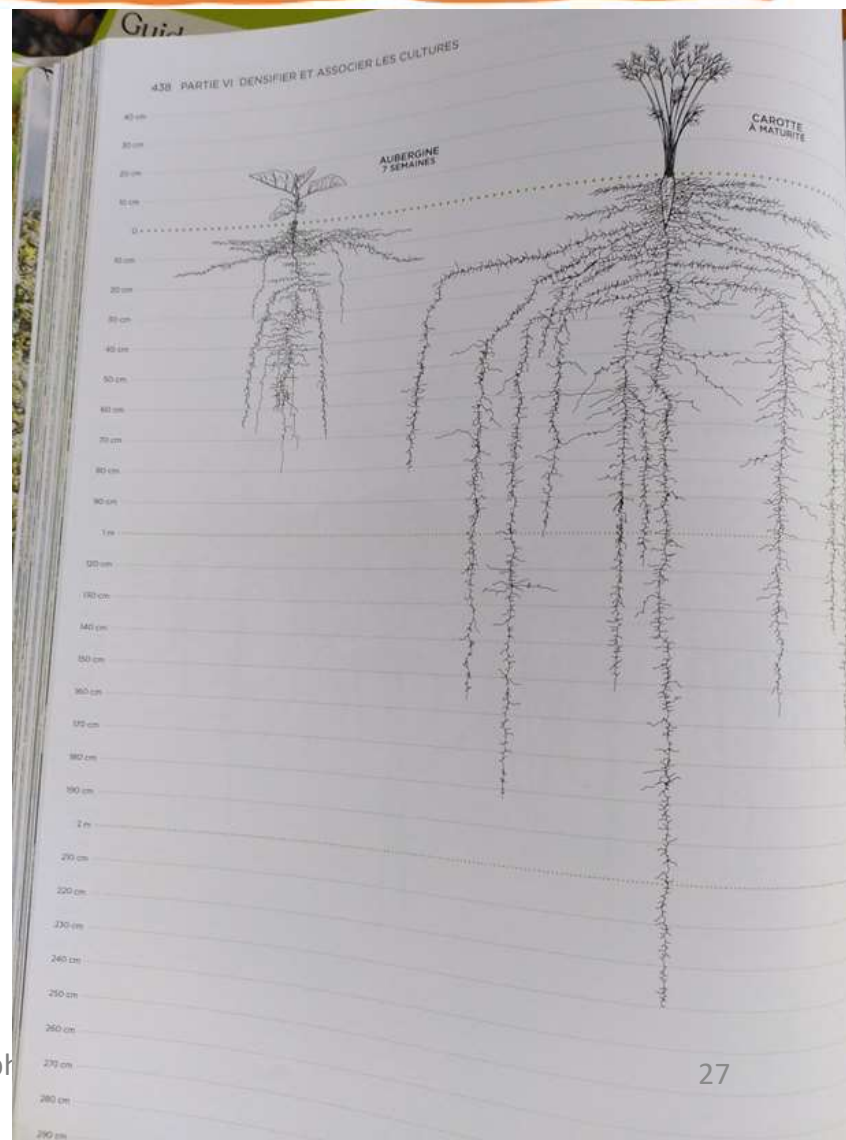
Culture	mm/semaine
Laitue	30
Tomate sous abri	30
Concombre sous abri	30
Chou-fleur	42
Pomme de terre	20
Céleri	50
Carotte	25



L'eau, le sol et les plantes

- Besoins différents en fonction du type de plante et de la profondeur des racines

Culture	Profondeur moyenne d'enracinement (cm)
Radis	15
Laitue	40
Oignon	40
Carotte	50
Chou	50
Pomme de terre	50
Haricot vert	55
Poivron	70
Tomate	100



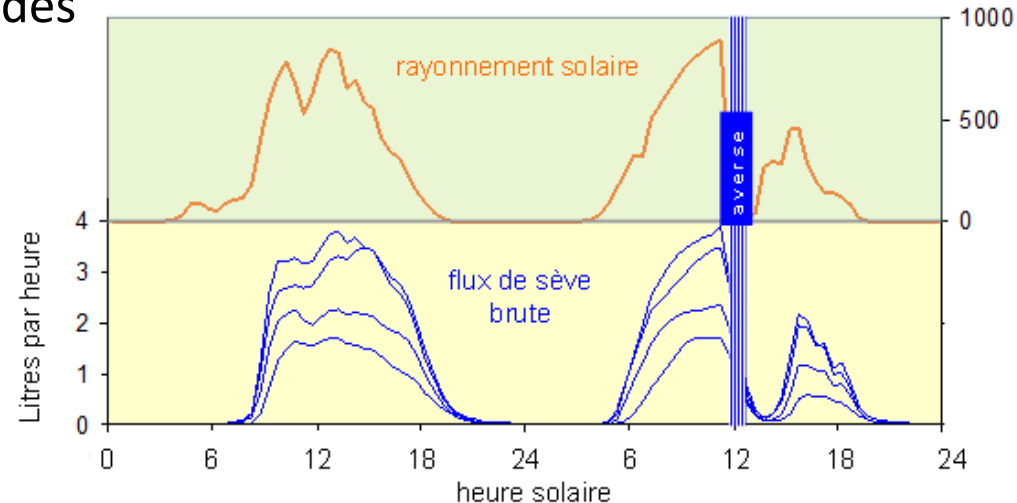
L'eau, le sol et les plantes

- Conséquences d'un manque d'eau ?

Stress

- Réflexe de la plante: fermeture des stomates
- Conséquences
 - Échauffement des feuilles
 - Diminution/arrêt de l'évapotranspiration
 - Absorption d'eau ralentie
 - Absorption de CO2 bloquée
- Premier effet: photosynthèse bloquée
- Manque d'eau prolongé: mort des tissus/de la plante

Flux de sève brute dans le tronc de 4 hêtres (région de Sarrebourg, Moselle)



L'eau, le sol et les plantes

Évaluation des besoins en eau des cultures

- Méthode climatologique (bilan hydrique)
 - Se base sur des données approximatives, estimées, pas toujours disponibles
 - Nécessite des relevés (température, hygrométrie, pluviométrie) réguliers
- Méthode de contrôle direct de l'humidité du sol
 - Permet un suivi « en direct » des besoins en irrigation



L'eau, le sol et les plantes

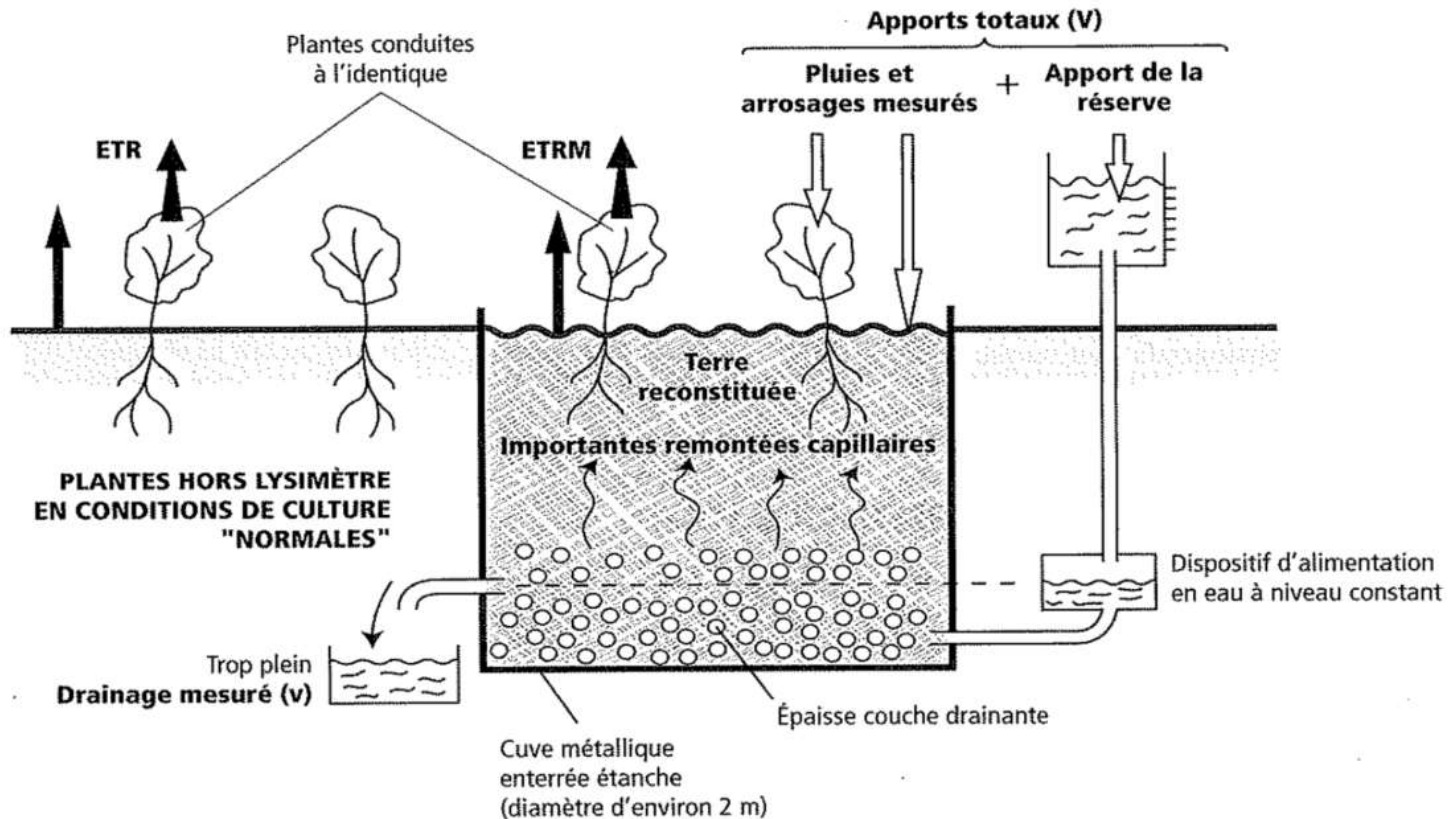
Méthode climatologique (bilan hydrique)

- Pour une surface donnée, dans des conditions climatiques et un terroir (sol) donné, on peut mesurer l'Evapotranspiration potentielle (ETP)
 - Par convention, on utilise un gazon dense (fétuque) tondu à 5 cm, et on mesure son évapotranspiration dans un **Lysimètre** ce qui donne l'**ETP**
- On mesure, dans les mêmes conditions (donc, au même endroit, en même temps), l'évapotranspiration d'une culture donnée, on obtient l'**ETR** (évapotranspiration réelle) ou l'**ETRM** (évapotranspiration maximale)
- Le ratio **ETR/ETP** donne le coefficient cultural **Kc**, qui est propre à la culture, mais indépendant des conditions météo/de terroir réutilisable dans d'autres conditions pour lesquelles une ETP a été mesurée



L'eau, le sol et les plantes

Méthode climatologique (bilan hydrique)



$$\text{CONSOMMATION MAXIMALE DE LA CULTURE (ETRM)} = V - v$$

L'eau, le sol et les plantes

Méthode climatologique (bilan hydrique)

- Avantages:
 - grande précision des estimations de besoins en eau
- Inconvénients:
 - Données ETP rares pour nos régions
 - Kc pas toujours disponibles pour les « petites » cultures
 - Une valeur de Kc donnée n'est utilisable que pour les mêmes conditions de culture (densité, paillage, ...)

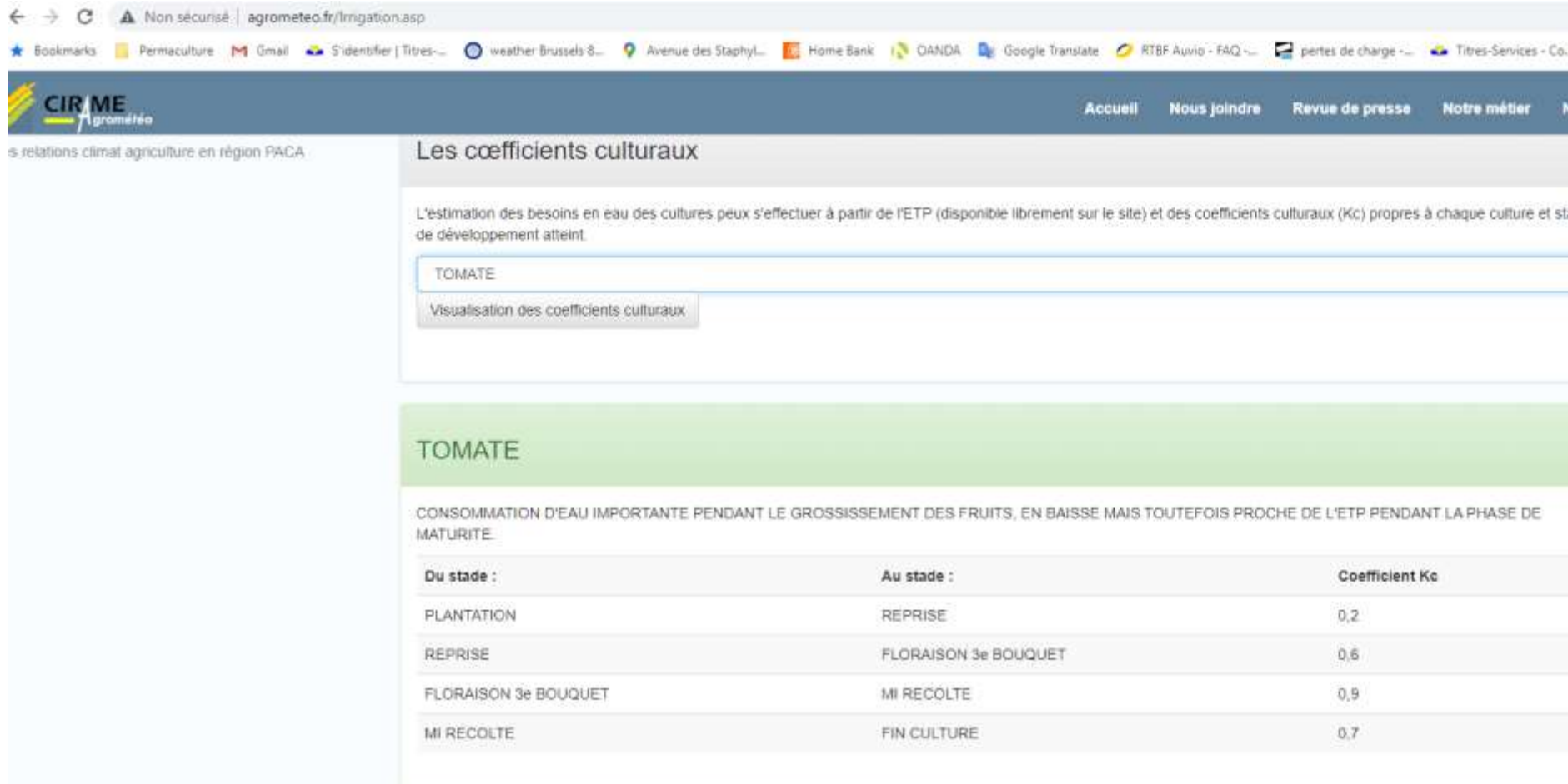
En bref : ça marche bien en France (réseaux agricoles plus organisés) et en grandes cultures

En Belgique, des données ETP sont disponibles gratuitement sur agromet.be (CRA-W), sur <https://www.sillonbelge.be/meteo>, payant (50€/an p.ex. sur meteoblue), ou via le CPL-Végémar



L'eau, le sol et les plantes

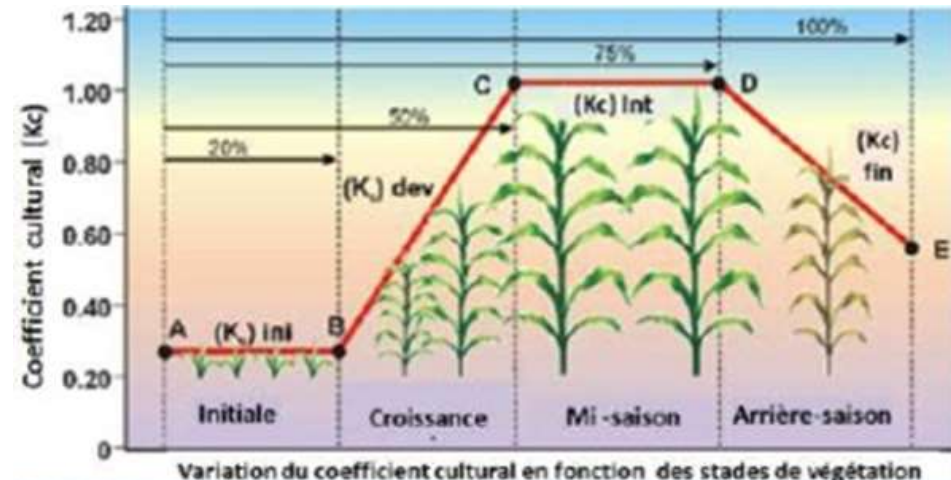
Méthode climatologique (bilan hydrique)



The screenshot shows the website 'agrometeo.fr/irrigation.asp'. The page title is 'Les coefficients culturaux'. Below the title, there is a text box containing 'TOMATE' and a button labeled 'Visualisation des coefficients culturaux'. The main content area is titled 'TOMATE' and contains a paragraph: 'CONSOMMATION D'EAU IMPORTANTE PENDANT LE GROSSISSEMENT DES FRUITS, EN BAISSSE MAIS TOUTEFOIS PROCHE DE L'ETP PENDANT LA PHASE DE MATURITE'. Below this is a table with three columns: 'Du stade', 'Au stade', and 'Coefficient Kc'. The table lists the following stages and their corresponding coefficients:

Du stade :	Au stade :	Coefficient Kc
PLANTATION	REPRISE	0,2
REPRISE	FLORAISON 3e BOUQUET	0,6
FLORAISON 3e BOUQUET	MI RECOLTE	0,9
MI RECOLTE	FIN CULTURE	0,7

Valeurs du coefficient cultural (K_c) selon les stades végétatifs



Durées des phases d'évolution du coefficient cultural pour différentes cultures (Jours)

Culture	Phase Initiale	Phase Croissance	Phase Mi-saison	Phase Arrière-saison	Durée totale du cycle	Date installation
Carottes	30	40	60	20	150	Fév/Mars
Laitue	20	30	15	10	75	Avril
Oignon sec	15	25	70	40	150	Avril
Oignon vert	25	30	10	5	70	Avril/Mai
Betterave table	15	25	20	10	70	Avril/Mai
Tomate	30	40	45	30	145	Mars/Mai
Pomme de terre	25	30	45/30	30	130/115	Nov/Janv.
Poivron	15/30	35	40	20	125	Avril/Juin
Haricot vert	20	30	30	10	90	Février/Mars
Haricot sec	15	25	35	20	95	Juin
Pois chiche	20	30	35	15	100	Mars/Avril
Arachide	35	45	35	25	140	Mai/Juin
Lentilles	25	35	70	40	170	Oct./nov.
Soja	20	30	60	25	140	Mars/Mai
Concombre	20	30	40	15	105	Juin/Août
Melon	25	35	40	20	120	Mai
Coton	30	50	60	55	195	Mars/Mai
Tournesol	25	35	45	25	130	Avril/Mai
Betterave à sucre	45/40	75/50	80/70	40/40	240/210	Oct./Déc.
Canne à sucre						
Vierge	75	105	330	210	720	
Fépeusse	35	105	210	70	420	
Blé	30	140	40	30	240	Nov./Dec.
Maïs grain	30	35	45	30	140	Mars/Avril
Sorgho grain	20	35	45	30	130	Mars/Avril
Agrumes	120	90	90	65	365	Juin

Cultures	Phase de végétation		
	Initiale	Mi-saison	Arri-saison
Arbres fruitiers			
Agrumes, Sarcclés			
70% couverture	0,70	0,65	0,70
50% couverture	0,65	0,60	0,65
20% couverture	0,50	0,45	0,55
Agrumes, non sarcclés			
70% couverture	0,75	0,70	0,75
50% couverture	0,80	0,80	0,80
20% couverture	0,85	0,85	0,85
Avocat, sarcélé	0,60	0,85	0,75
Vigne	0,30	0,65	0,45
Cultures maraichères			
Carottes	0,70	1,00	0,95
Laitue	0,70	1,05	0,95
Oignon sec	0,70	1,05	0,75
Oignon vert	0,70	1,00	1,00
Betterave de table	0,50	1,05	0,95
Tomate	0,60	1,15	0,90
Pomme de terre	0,50	1,15	0,75
Poivron	0,60	1,05	0,90
Cultures légumineuses			
Haricot vert	0,40	1,00	0,90
Haricot sec	0,40	1,15	0,35
Pois chiche	0,40	1,15	0,35
Arachide	0,40	1,05	0,60
Lentilles	0,40	1,15	0,30
Soja	0,40	1,15	0,50
Cultures cucurbitacées			
Concombre	0,40	1,00	0,75
Melon	0,40	1,00	0,75
Pastèque	0,40	1,00	0,75
Fraise	0,40	0,85	0,75
Cultures céréalières			
Maïs grain	0,30	1,20	0,30
Sorgho grain	0,30	1,00	0,55

L'eau, le sol et les plantes

Méthode climatologique (bilan hydrique) Valeurs de Kc

Le besoin en eau global (*) d'une culture = ETP x Kc

(*) Appelée évapotranspiration maximale (ETM) ou réelle (ETR)

Exemple de calcul : estimation du besoin en eau d'une culture de tomate sous tunnel en mai

ETP (journée ensoleillée) = 5,9 mm

ETP sous serre = 4,7 mm (80 % de l'ETP en plein champ)

Coefficient culture (Kc) de la tomate au stage floraison 3ème bouquet = 0,6

Calcul des besoins en eau de la culture = 4,7 x 0,6 = 2,8 mm/jour

Tiré de "Maîtriser son irrigation en maraîchage bio"
Association interprofessionnelle Languedoc-Roussillon

	Kc max (maturité)	Profondeur racinaire [cm]
Artichauts	1	90
Aubergine	1,05	90
Bette	1,05	60
Betterave	1,05	60
Chicorée	1,05	60
Concombre	1	90
Courgette	0,95	60
Crucifères	1,05	60
Cucurbitaceae	1	60
EV	1,15	60
Fenouil	1	30
Fèves	1,05	60
Fraisiers	0,85	30
Haricots	1,05	60
Laitue	1	30
Maïs doux	1,15	60
Melon	1,05	90
Navets	1,1	60
Oignons	1,05	30
Panais	1,05	90
Pastèque	1,1	90
Persil	1	60
Poireaux	0,7	30
Pois frais	1,15	90
Poivron	1,05	60
Pourpier	1	60
Radis	0,9	30
Tétragone	1	30
Tomate	1,15	60
Topinambour	1,15	30



L'eau, le sol et les plantes

- Évaluation de l'humidité d'un sol :
- Tensiomètre
 - Lecture en temps réel
 - Mesure en kPa (=cbar)
- Arrosages « à la demande » sans attendre que la plante montre des signes de stress
- Ou utilisation d'une tarière gouge



	Lecture du tensiomètre (kPa)	
Sol presque saturé	0	Sable
	10	Argile
Capacité au champ	11	Sable
	20	Limon
	30	Argile
Irrigation	30 à 40	Sable
	50	Limon
	60	Argile
Sol sec	70	Stress hydrique RFU = 0



L'eau, le sol et les plantes

- Évaluation de l'humidité d'un sol : Tarière gouge



L'eau, le sol et les plantes



L'eau, le sol et les plantes

- Diminuer les besoins en eau
 - Barrières couvrantes
 - Stabilisation de la T°
 - Utilisation de variétés plus rustiques



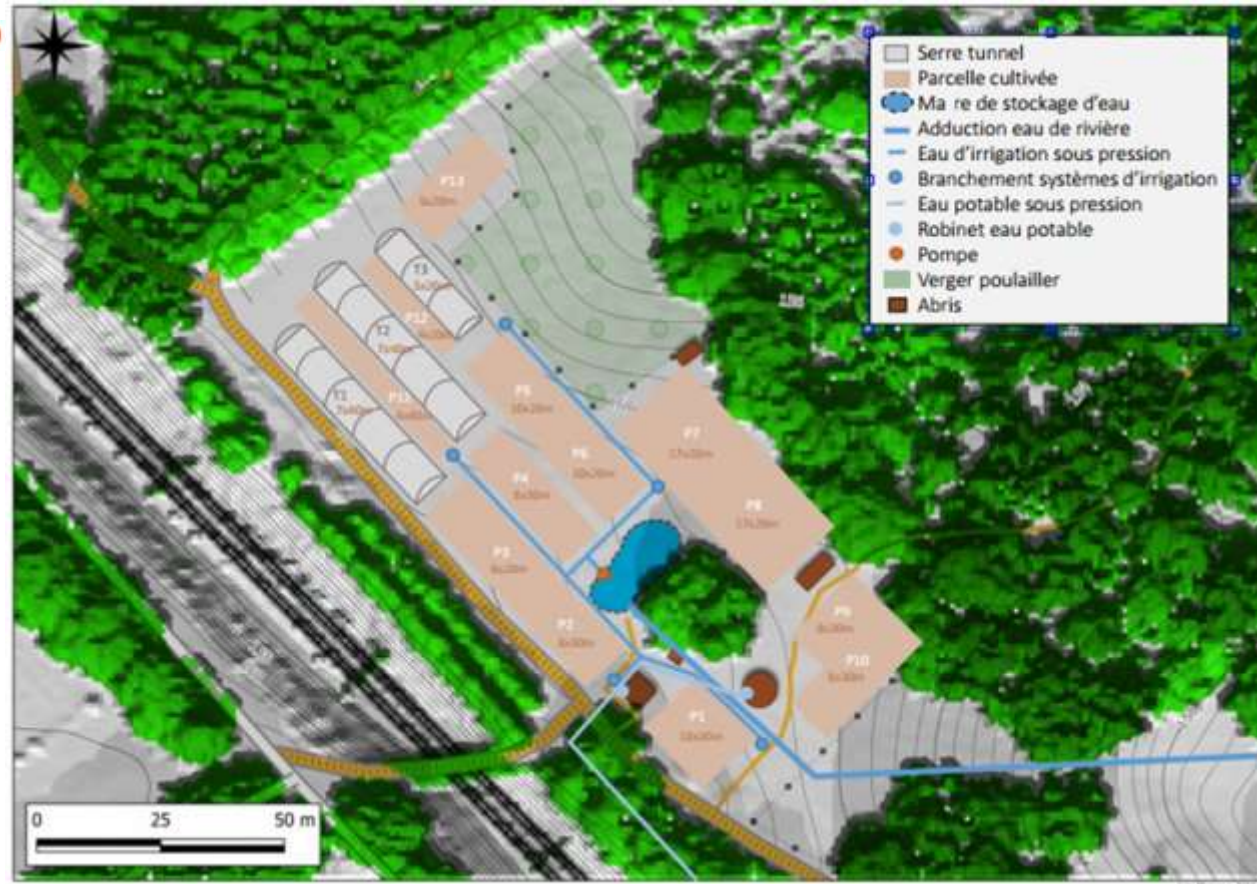
Techniques d'irrigation



Techniques d'irrigation

Eau domestique
⇒ Plomberie

Irrigation
=> Plomberie +
Goutte-à-goutte
Micro poreux
Aspersion



Application

Goutte-à-goutte

- Gaines (~1 an ou plus...)
- Tuyaux semi-rigides (5 à 10 ans)

Qualité de l'eau !

Micro poreux

- Gaine souple
- Semi-rigide (5 à 10 ans)



Application

Goutte-à-goutte

- Gaines (~1 bar)
- Tuyaux semi-rigides (~1 à 2 bar)

Micro poreux

(0,2 à 0,8 bar)



Application

Goutte-à-goutte (Gaines et tuyaux semi-rigides)

- Distance et débit des goutteurs variables
- Goutteurs auto-régulants ou dépendants de la pression (pente >4%)
- Installation en surface ou sous le paillage, parfois enterré

Goutteurs en dérivation

- Emplacement précis des goutteurs
- Capillaires ou émetteurs à piquer directement sur un tuyau PE



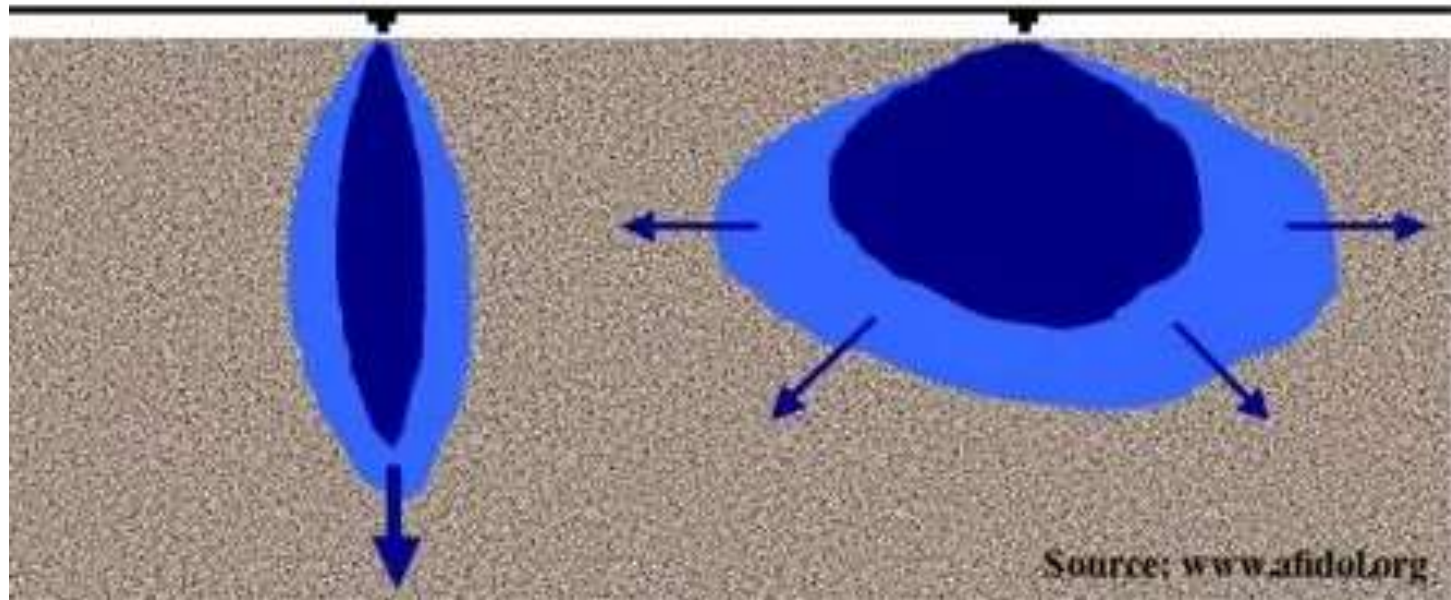
Irrigation localisée

Bulbe humide sous les goutteurs

Sol sableux :
diffusion de l'eau en profondeur

Sol argileux :
diffusion latérale de l'eau

⇒ doses moins élevées à chaque arrosage
et arrosages plus fréquents



Goutte-à-goutte

- Avantages

- Ne mouille pas le feuillage
- Économie d'eau (30-40% par rapport à aspersion)
- Ne favorise pas le développement d'adventices entre les rangs
- Possibilité de fertirriguer
- N'interrompt pas le travail (récolte, ...)
- Insensible au vent
- Arrosages lents, à basse pression : économie d'énergie, respect de la structure du sol

- Inconvénients

- Colmatage fréquent
- Installation des lignes fastidieuse
- Matériel encombrant
- Convient mal aux sols très drainants (sableux)
- Ne force pas un développement étendu du système racinaire
- Déchets (gaine agricole, vieilles lignes PE)



Application

Asperseurs à secteur

Micro-aspersion

Asperseurs inversés avec stabilisateur

Petits enrouleurs

Points d'attention :

- Jets fixe ou brise-jets
- Portée et taille des gouttes
- Sensibilité au vent
- Couverture théorique/réelle



Application

Rampes pendulaires

Modèles modulaires
assemblées en rampes
(longueurs rigides et
raccord en T pour
asperseurs)

Brumisateurs

Angles :

- Secteurs
- 90°, 180°, 360°



Aspersions

Prise en compte des aspects de

- Couverture,
- pluviométrie,
- temps d'arrosage
- Nombre de manipulations
- Capacité de pompage

- ...



Aspersions

- Avantages
 - Grande couverture avec peu d'émetteurs
 - Matériel robuste, peu sujet au colmatage
 - Rafraîchissement du feuillage, de toute la surface du sol, voire de l'atmosphère en serre (brumisation)
 - Convient à tout type de sol
 - Favorise un développement étendu des racines
- Inconvénients
 - Favorise les maladies foliaires
 - Risques de brûlure du feuillage par temps ensoleillé
 - Perte d'eau (évaporation, arrosage du sol entre les cultures)
 - Favorise les adventices autant que les cultures
 - Fertirrigation peu applicable (gaspillage d'engrais)
 - Nécessite un débit et une pression élevés
 - Sensible au vent
 - Risque de battance en cas d'arrosage important



Irrigation

Grandes cultures

- Grosse plomberie
- Aspersions par enrouleur ou par rampes



Application

CARACTÉRISTIQUES COMPARÉES	SYSTÈME D'IRRIGATION				
	PORITEX®	GOUTTE-À-GOUTTE	MICRO-ASPERSION	ASPERSION	RUISSELLEMENT
Application de l'eau d'arrosage	Suintement linéaire régulier	Ponctuel	Pluie localisée	Pluie	Ruissellement
Pression (atm)	0,2 - 1	1- 3	2	3 - 5	-
Difficulté d'installation	Très faible	Faible	Moyenne	Moyenne	Moyenne
Filtration	Simple	Compliquée	Normale	Réduite	Aucune
Vent	Indifférent	Peu d'influence	Sensible	Sensible	Aucune influence
Évaporation	Faible	Moyenne	Forte	Forte	Très forte
Fertirrigation	Oui	Oui	Possible	Déconseillée	Impossible
Percolation	Non	Faible	Faible	Moyenne	Forte
Maintenance	Réduite	Importante	Moyenne	Moyenne	Très faible



Application

	Avantages	Inconvénients
<p>Gaine poreuse 0,5€/mètre (Poritex), durée de vie > 10 ans 2023 : 1 €/m</p>	<ul style="list-style-type: none"> • En cas de colmatage, nettoyage possible • Arrosage tout au long de la ligne 	<p>Débit largement fonction de la pression →</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sensibilité à la pente • Longueur des lignes limitée
<p>Goutteurs en ligne Gaine agricole: 0,06€/mètre, durée de vie 1 saison 2023 : 0,15€/m Pr tuyaux goutteurs: 2023 : 2 à 3€/m pour 5 à 10 saisons</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Simplicité d'utilisation, prêt à l'emploi • Possibilité d'émetteurs auto régulants, insensibles aux (petites) variations de pression 	<ul style="list-style-type: none"> • En cas de colmatage de certains émetteurs, impossibilité de les remplacer ou de les nettoyer • Fragilité (gaine agricole) • Espacement des émetteurs fixe

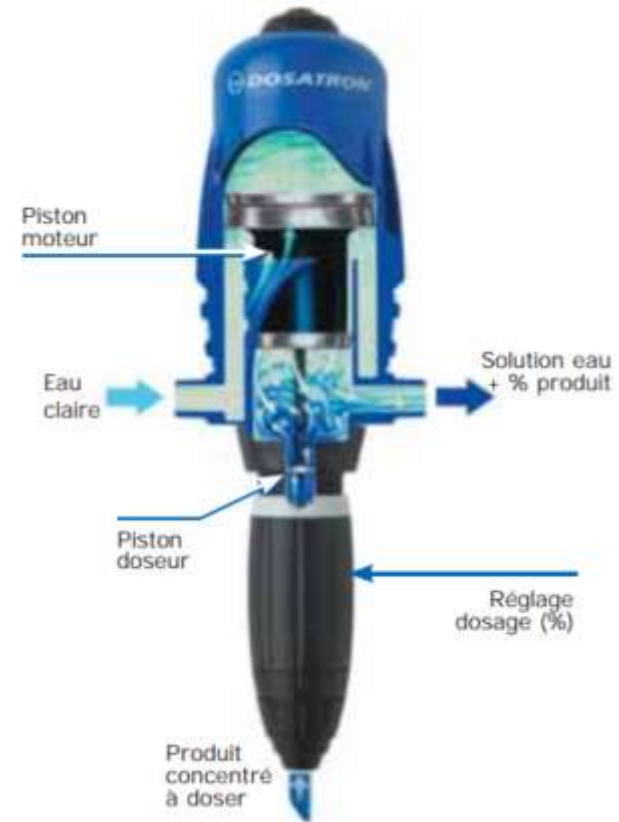


Fertirrigation

- Injection d'un fertilisant dans l'eau
 - Via l'arrosage localisé
 - Via l'aspersion (engrais foliaire)
- Type d'injecteurs :
 - Pompe doseuse
 - Injecteur venturi



Pompe doseuse



Venturi



Venturi Fertiliser Injector

Size: 3/4" (25mm)

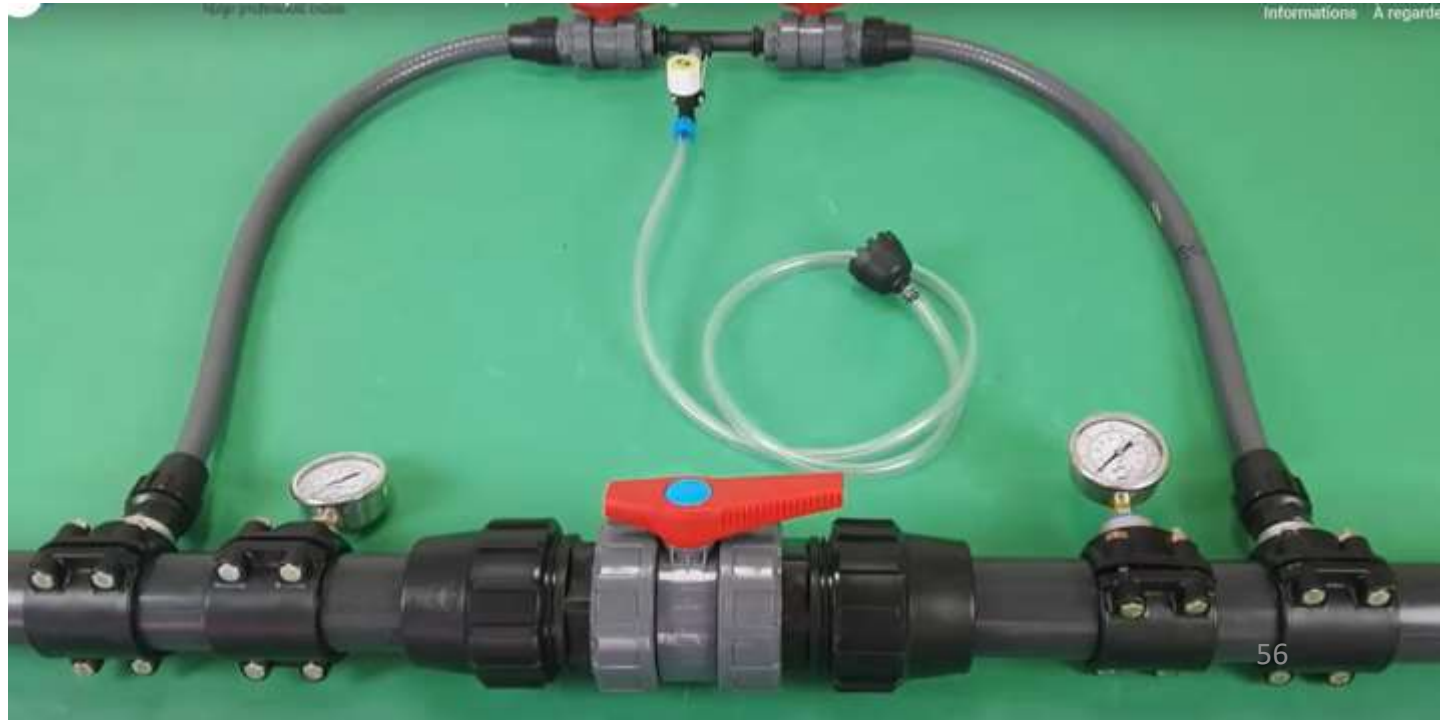
Flow range: 0.65~2.42m³/h

Suction capacity: 9~92L/h

Working pressure: 0.7~9.5bar



- 1 piece 3/4" venturi injector
- 1 piece 4/7mm hose valve
- 2m 6x7mm silicone hose
- 1 piece filter



l'eau
permacole

Fertirrigation en bio ?

- Matériel prévu pour engrais minéraux solubles
 - Engrais organique soluble => micro-organismes => risque de colmatage important (GàG)
- ⇒ Rinçage à l'eau claire après



Engrais solubles bio

- **Hydrolysat de protéines** (animales ou végétales)
 - Apporte uniquement de l'azote (jusque 15%)
 - idéal en foliaire (micro aspersion, brumisation)
- **Vinasse** (de betteraves, de canne à sucre, ...)
 - sous produit de l'industrie sucrière, après fermentation des mélasses (bioéthanol)
 - Apport d'azote (2-4%) et de potassium (4-7%)+traces de phosphore
- « **Liqueur de maïs** » (Corn steep liquor)
 - Sous produit de l'industrie de l'amidon de maïs
 - Apporte 3% N, 1.5%P, 3% K
 - Peu courant en Europe, peut contenir des produits d'origine chimique (acides, sulfites)
- **Émulsion de poisson**
 - Produit par hydrolyse des rebuts de l'industrie de la pêche (viscères, peau, poisson non commercialisable)
 - (très) malodorant
 - Apporte un NPK de 5-2-2
- **Extrait d'algues**
 - 3-5% K, nombreux oligo éléments et facteurs de croissance
- Divers **extraits solubles** de compost, lombricompost, purins de plantes, ...
 - Peu concentrés en éléments fertilisants
 - Surtout sources d'oligo éléments, facteurs de croissance, etc...
- **Humates** de potassium
 - Extraits solubles de dépôts fossiles d'acides humiques
 - Apport de 1-2% de K
- Formulations « artificielles » **d'oligo-éléments**
 - Origine souvent artificielle (chélates)



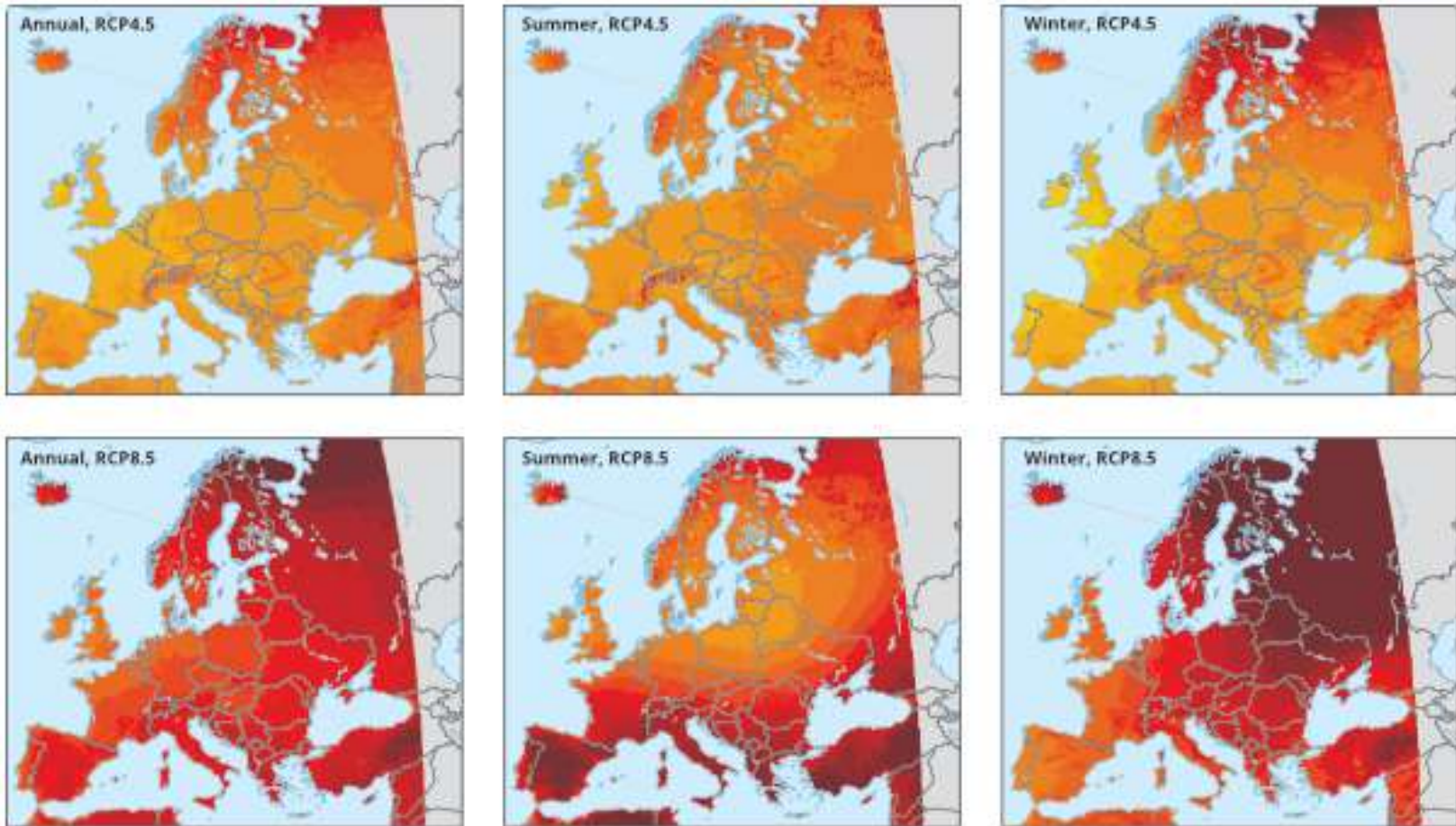
Gestion de l'eau sur la parcelle

- Maximiser la captation des eaux pluviales sur site
- Répartir les eaux des vallées vers les crêtes
- Ralentir, infiltrer et stocker dans le sol
- Décider où implanter les infrastructures
- Éviter/limiter le ruissellement et l'érosion
- Irriguer les cultures
- Redistribuer l'eau des orages



Bill Mollison : *"If you only do one thing : collect rainwater"*

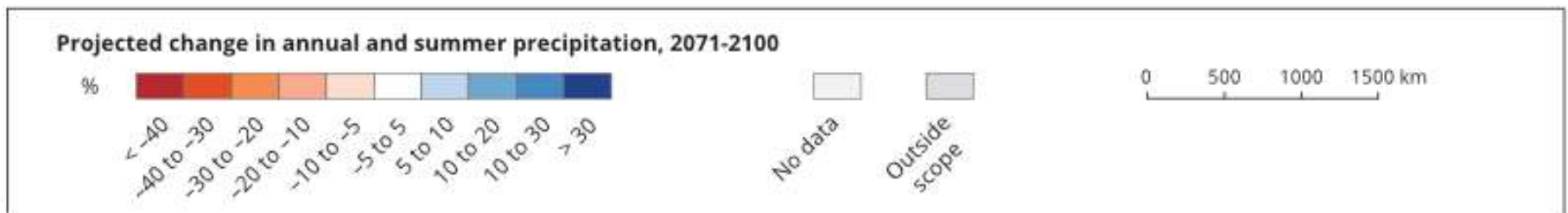
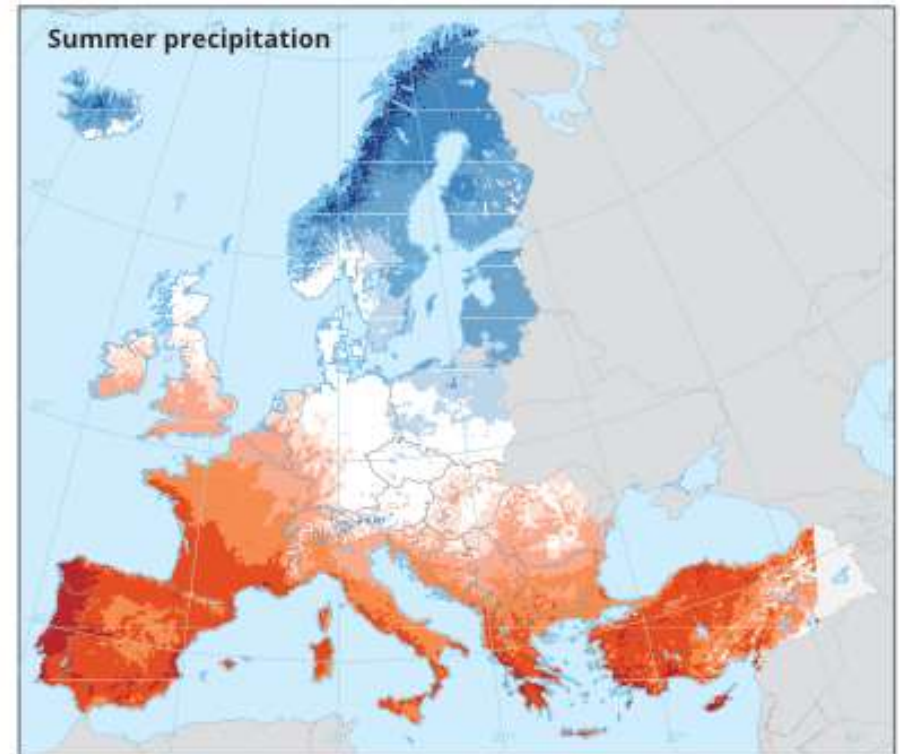
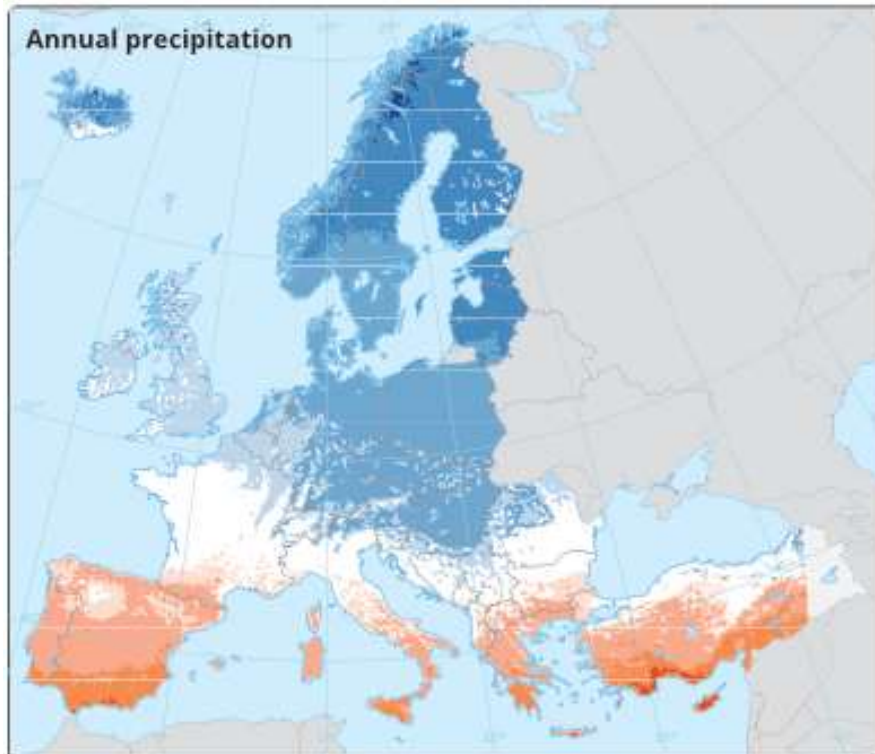
Australie vs Europe ?



Projected change in annual, summer and winter temperature for the forcing scenarios RCP4.5 and RCP8.5



Australie vs Europe ?



Relevé topographique

- A – frame
- Niveau à eau (bunyip)



Relevé topo

- Niveau laser

ou relevé par drone



Relevé ou cartes topographiques

- A – frame ou niveau à eau
- Niveau laser
- Relevé par drone
- Cartes IGN
- Cartes sur le Géoportail wallon
- Cartes dans un système d'information géographique – p.ex. QGIS
- Courbes de niveau tous les 5 m :
<https://www.champs-libres.coop/blog/post/2019-11-21-beautiful-contour-belgium/>



8 principes pour la collecte d'eau de pluie – Brad Lancaster

- 1 Commencer par une observation longue et complète
- 2 Commencer par le point le plus haut du chemin de ruissellement et descendre progressivement
- 3 Commencer petit et simplement
- 4 Ralentir, collecter et répartir l'eau de ruissellement
- 5 Toujours penser à la circulation du trop plein des ouvrages, et l'utiliser comme une ressource
- 6 Créer l'effet éponge grâce aux matières organiques
- 7 Faire plus que collecter l'eau de pluie



Gestion de l'eau et design de réseau d'irrigation

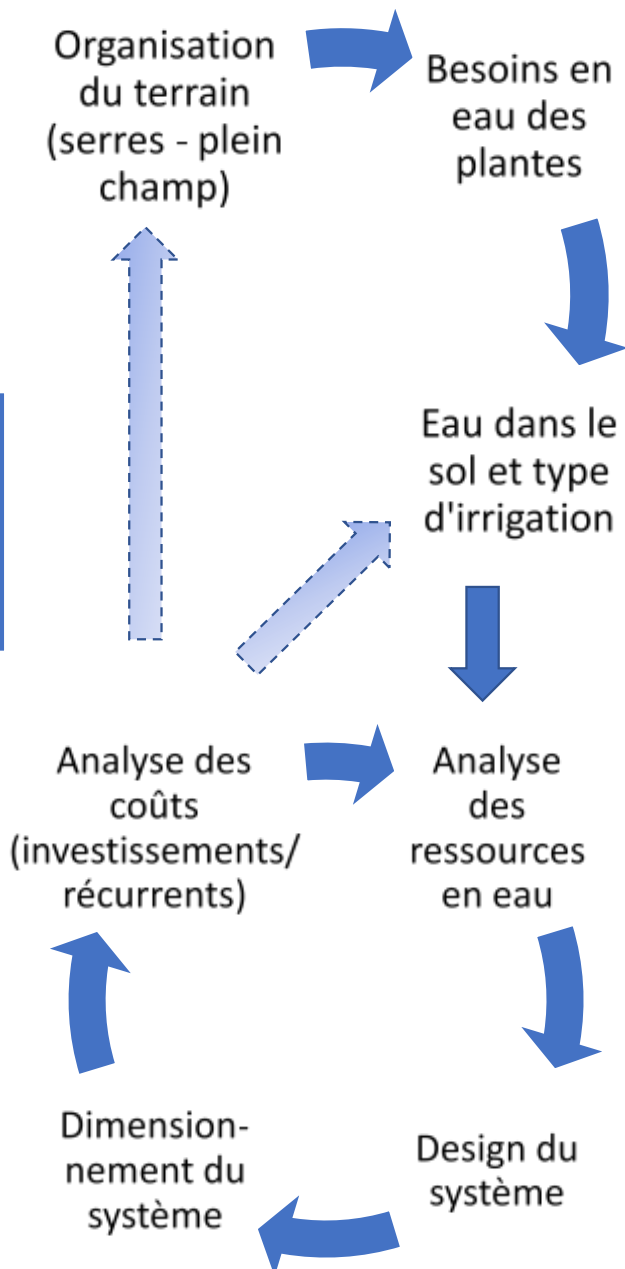


L'eau dans les agro-écosystèmes

Évaluation et design d'un système d'approvisionnement en eau

Processus itératif

- Basé sur
- l'observation
 - l'analyse des besoins
 - et des ressources



Organisation du terrain

- 8 jardins avec entre 5 à 8 blocs de 10m x 20m (total = 45 blocs, soit 9000 m²)
- 2 serres tunnels de 40m x 8m (soit 480 m²)
- 1 serre pépinière de 20m x 6m (soit 120 m²)



Identification des besoins

Personnes : min 20l/j/p

Belgique : ~100 l/j/p

Animaux :

Espèces	Litre/jour
Bovin laitier	20 à 115
Bovin de boucherie	20 à 60
Porcs	5 à 20
Ovins	5 à 15
Poulets	0,05 à 0,75

Cultures :

Besoin en mm par semaine	
Serre	30
Extérieur sécheresse	20
Extérieur normal	6



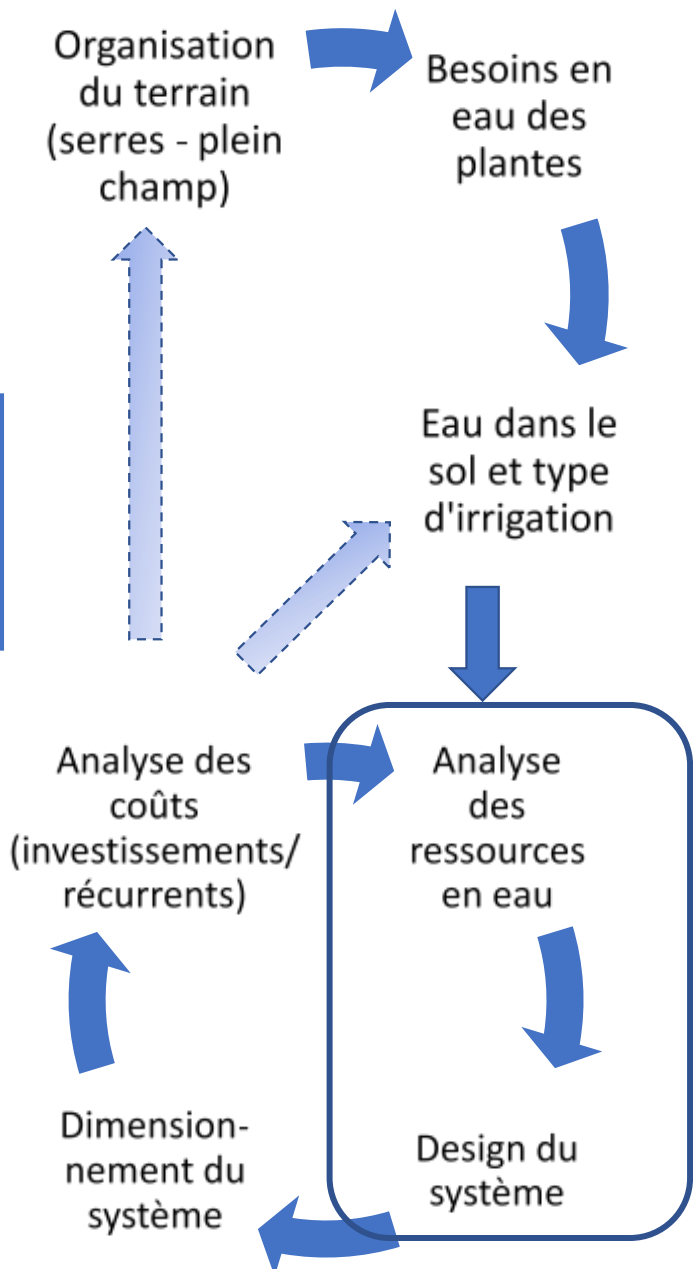
L'eau dans les agro-écosystèmes

Évaluation et design d'un système d'approvisionnement en eau

Processus itératif

Basé sur

- l'observation
- l'analyse des besoins
- et des ressources



Eléments de design

Hydraulique

Ressource en eau

Stockage

Traitement

Distribution



Hydraulique

Débit

- l/s, l/h, m³/h

Vitesse

- m/s

Pression

- 1 bar = 10m = 1,02 kg/cm² = 14,5 psi = 1 atm = 100 kPascals

Pertes de charges

- mm/m, cm/m, m/m



Pression

Influence sur:

- Matériau des conduites
- Choix des éléments d'irrigation
 - Type de gaines, de goutteurs, d'asperseurs
 - Utilisation de réducteurs/régulateurs de pression
- Visualisation des pertes de charges



Pertes de charge

Mesure de la friction dans les conduites et éléments du circuit hydraulique

- => Induit une diminution de pression

Fonction de:

- Diamètre
- Longueur
- Débit/vitesse
- Matériau
- Éléments singuliers (coudes, vannes, raccords, ...)



Pertes de charge

Calcul selon équation de Darcy-Weisbac ou Colebrook-White

- À remettre dans un tableur
- Compliqué mais utile si beaucoup de calculs à faire

Utilisation de calculateurs

- Online : https://polytek.fr/perte_charge/
- App : perte de charge
 - (p.Haas – installée devient « dp tuyau »)
 - BestJFK

Attention

- Diamètre intérieur !
- En fonction des tailles et des matériaux c'est parfois le diamètre extérieur et l'épaisseur qui est donnée
- Si différents émetteurs sur la ligne les PC diminuent au fur et à mesure ((p.ex. ligne d'asperseurs suspendus)

Pertes de charges singulières

- Souvent négligées au moment du design
- Parfois entre 10 et 15%



Aspersión

Total : 45 blocs

Si 45 asperseurs

@0,85m³/h à 2 bar => 38 m³/h

- Pas possible en 1 fois (pompe trop grosse)

Max par ligne = 8 asperseurs

@0,85 m³/hr = 6,8 m³/hr



Pertes de charge

Calcul pour aspersion sur site :

- 45 asperseurs @0,85 m³/hr à 2 bar, 0,95 m³/hr à 2,5 bar = entre 38 et 42 m³/h
- Pas possible en 1 fois (pompe trop grosse)
- Max par ligne = 8 asperseurs @0,85 m³/hr = 6,8 m³/hr
- Longueur de ligne totale : L1 = 200, L2 = 200m, L3 = 150m, L4= 150m

Utilisation de https://polytek.fr/perde_charge/calculateurs

- Si 44mm int (50mm ext) : 40 mm/m (0,04m/m) de perte de charge, v= 1,2m/s OK
 - PC totale : L2 = 200m x 0,04 m/m = 8 m seulement = 0,8 bar OK
- Si 35mm int (40mm ext): 121 mm/m de PC, v=2,0 m/s **Limite mais OK!**
 - PC totale : 200 x 0,121 = 24,2m = 2,4 bar **Trop élevé parce que la pompe monte max à 4 bar**
- Si on combine le 50mm ext sur 100m et 40mm ext sur 100m, alors :
- PC totale : 100m x 0,04 m/m + 100m x 0,121 = 8+12= 20m de PC soit 2 bar = **Limite mais OK!**
 - **D'autant plus que la PC va diminuer après chaque asperseur donc on aura plus que 2 bar en fin de ligne.**



Eléments de design

Hydraulique

Ressource en eau

Stockage

Traitement

Distribution



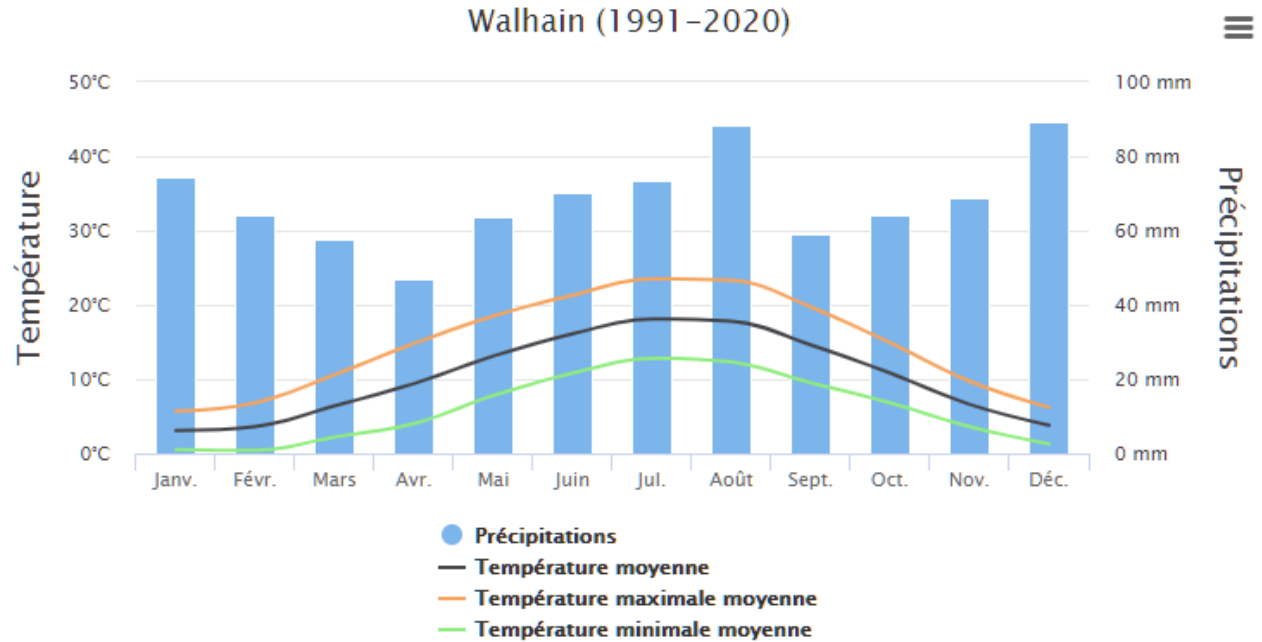
Sources d'eau et captation

- Pluie
- Eau de surface
- Source
- Forage
- Eau de ville
(2,5€+2,5€)/m³



Sources d'eau et captation

- Pluie



- www.meteo.be/fr/climat/atlas-climatique/climat-dans-votre-commune



Sources d'eau et captation

- Pluie

	année	janv.	févr.	mars	avr.	mai	juin	juil.	août	sept.	oct.	nov.	déc.
Température moyenne (°C)	10.3	3.1	3.6	6.4	9.4	13.1	16.1	18.1	17.8	14.6	10.8	6.6	3.8
Température maximale moyenne (°C)	14.6	5.7	8.8	10.6	14.8	18.5	21.3	23.5	23.3	19.7	14.9	9.7	6.2
Température minimale moyenne (°C)	6.0	0.5	0.4	2.2	4.0	7.8	10.8	12.8	12.3	9.5	6.8	3.6	1.3
Degrés-jours 15/15 (°C) ⁽¹⁾	2011.2	368.2	323.3	267.0	169.7	78.1	23.3	4.6	5.5	39.2	133.7	250.9	347.8
Jours de printemps ⁽²⁾	98.5	0	0	0.6	4.8	11.3	17.6	24.1	24.6	12.4	3.0	0.1	0
Jours d'été ⁽³⁾	33.2	0	0	0	0.7	2.8	6.2	11.4	9.0	2.9	0.2	0	0
Jours de chaleur ⁽⁴⁾	6.5	0	0	0	0	0.1	1.1	2.5	2.5	0.3	0	0	0
Jours d'hiver ⁽⁵⁾	7.6	3.0	2.0	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0.4	2.1
Jours de gel ⁽⁶⁾	56.4	12.7	11.9	8.9	4.0	0.2	0	0	0	0	1.6	5.3	11.7
Jours de gel sévère ⁽⁷⁾	1.9	0.8	0.8	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0.3
Quantité de précipitations (mm)	820.1	74.2	64.0	57.6	46.8	63.7	70.3	73.6	88.2	59.3	64.2	68.8	89.2
Jours de précipitations, 1 mm/jour ⁽⁸⁾	131.5	12.6	11.9	11.0	9.1	9.8	10.3	9.9	10.7	9.5	10.4	11.8	14.5
Jours de précipitations, 10 mm/jour ⁽⁹⁾	21.9	1.9	1.6	1.2	0.8	1.9	1.9	2.3	2.8	1.6	1.8	1.7	2.4

- www.meteo.be/fr/climat/atlas-climatique/climat-dans-votre-commune



Sources d'eau et captation

Coefficient de ruissellement suivant les surfaces

- Pluie

Surface	Coef. Ruis.	Surface	Coef. Ruis.
Toit	0.90 - 1.00	Chemin inclinée, collecteur (précipitation <300mm)	0.05 - 0.20
Pavé, bitume, plastique	0.75 - 0.90	Sol cultivé	0.02 - 0.10
Terrain rocailleux, dénudé	0.45 - 0.50	Prairie	0.00-0.08
Chemin inclinée, collecteur (précipitation >300mm)	0.25 - 0.40	Forêt	0.00 - 0.01

Calcul pour connaître la quantité de ruissellement par rapport au différente surface en Litres = 100 x précipitation (mm) x aire (ha) x coefficient de ruissellement)



Sources d'eau et captation

- Forage/puits :
 - Prix 2021 : forage à 50m en 180mm (terrain meuble, pompe 4")
 - 5800€ pour le forage (80€/m suppl.)
 - 3500€ pour instal. pompage (5 m3/h)
 - Petit permis si <3000 m3/an et 10m3/j
 - Si supérieur => bureau d'étude géologique
 - Coût additionnel : bureau d'étude 6000€
 - Prix 2022 : forage à 35m en 250mm (terrain meuble, pompe 6")
 - 11500€ pour le forage (120€/m suppl.)
 - 19000€ pour pompage (35 m3/h avec variateur)

! Coût d'investissement + coûts récurrents

- Contribution légale
- Coûts énergétiques (entre 0,1 et 0,2€/m3)
- Coûts récurrents (entretien, ...)

NON POTABILISABLE

L'eau prélevée est soumise au paiement d'une **contribution** annuelle, à l'exception des quantités prélevées < 3000 m³, dont le montant dépend du **volume prélevé** :

- sur la tranche de 0 à 20.000 m³ d'eau : 0,0327 €/m³
- sur la tranche de 20.001 à 100.000 m³ : 0,0654 €/m³
- sur la tranche supérieure à 100.000 m³ : 0,0982 €/m³

N.B : Les prélèvements < 3.000 m³



Stockage

- Mares
- Citernes souples
- Citernes hors-sol
 - IBC
 - Circ. Tôle+bâche
- Citernes enterrées
 - Béton
 - Maçonneries
 - Plastiques



Stockage

- Mares



Stockage

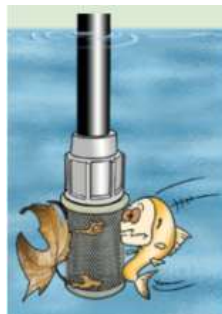
- Citernes hors-sol
 - Souple
 - Circ. Tôle+bâche



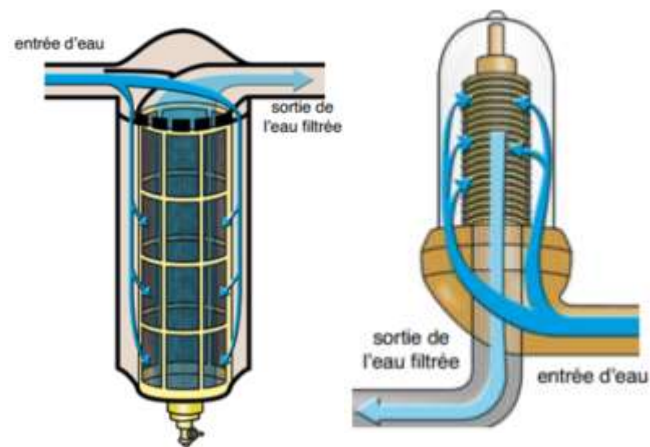
Traitement

Fonction de la source

- Particules en suspension
- Éléments (Fer, Manganèse)
- Température
- Algues



	TAILLE DES ORIFICES	FINESSE DE FILTRATION
Gaine	< 0,8 mm	80 à 100 μ
Goutte à goutte	< 0,8 mm	100 à 150 μ
Mini-diffuseurs	0,8 à 1,2 mm	150 à 200 μ
Micro-asperseurs	1 à 1,8 mm	200 à 400 μ
Mini-asperseurs	1,8 à 3 mm	400 à 800 μ



Fonction de l'usage

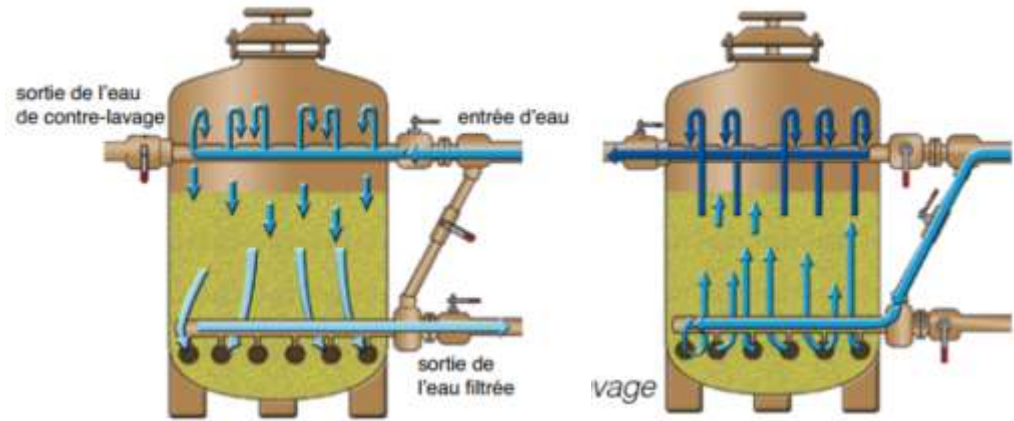
- Aspersion
- GàG
- Lavage



Traitement

Fonction de la source
Fonction de l'usage

Filtre à sable



En fonctionnement

En contre-lavage

Filtres à cartouche

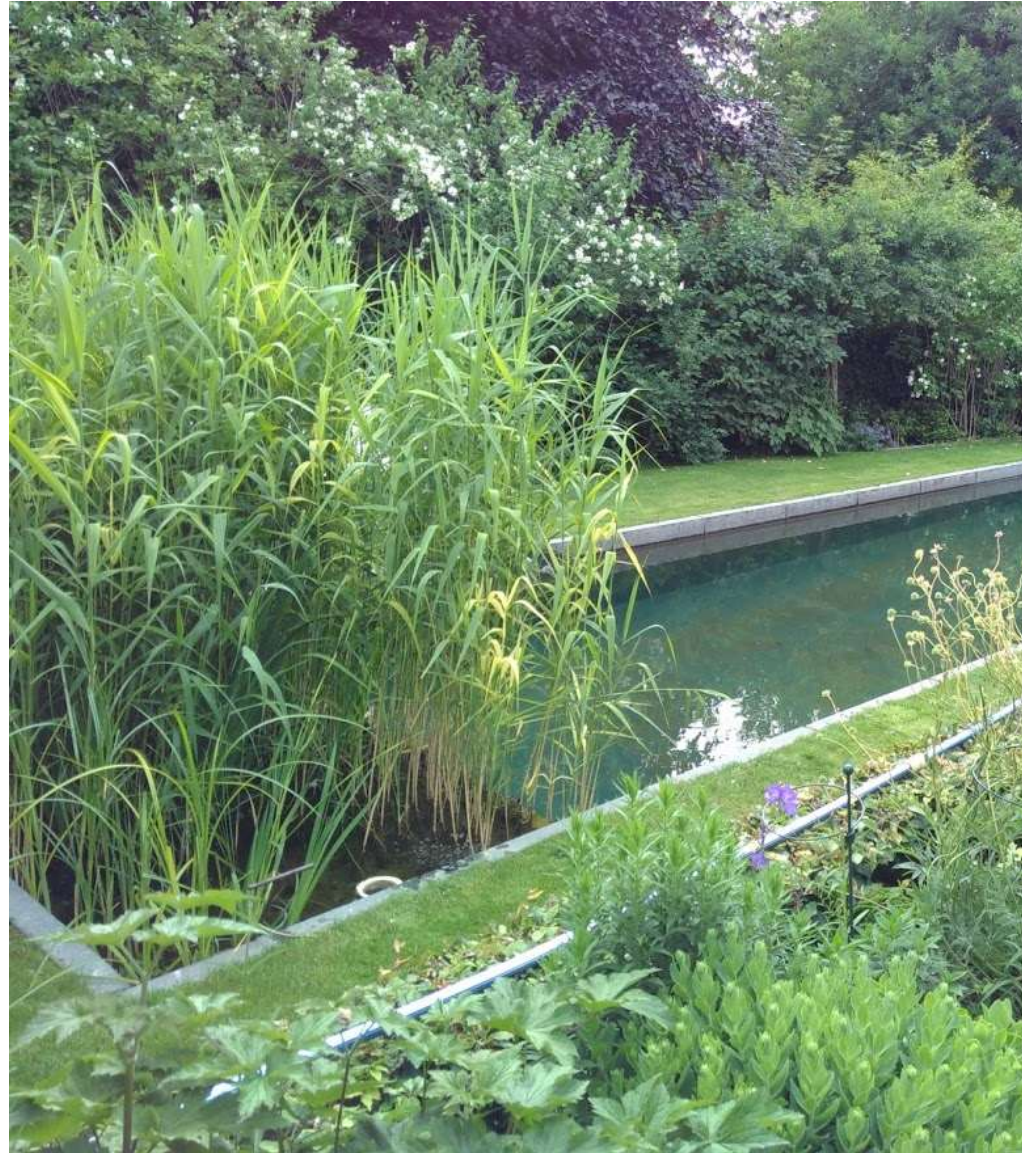


Voir:

<http://www.ardepi.fr/publications/toutes-les-publications/la-publication-en-detail/actualites/filtration-en-irrigation-localisee/>

Traitement

Fonction de la source
Fonction de l'usage



Distribution

Pompage
Transport



Cours C – Ir

Distribution

Pompage
Transport



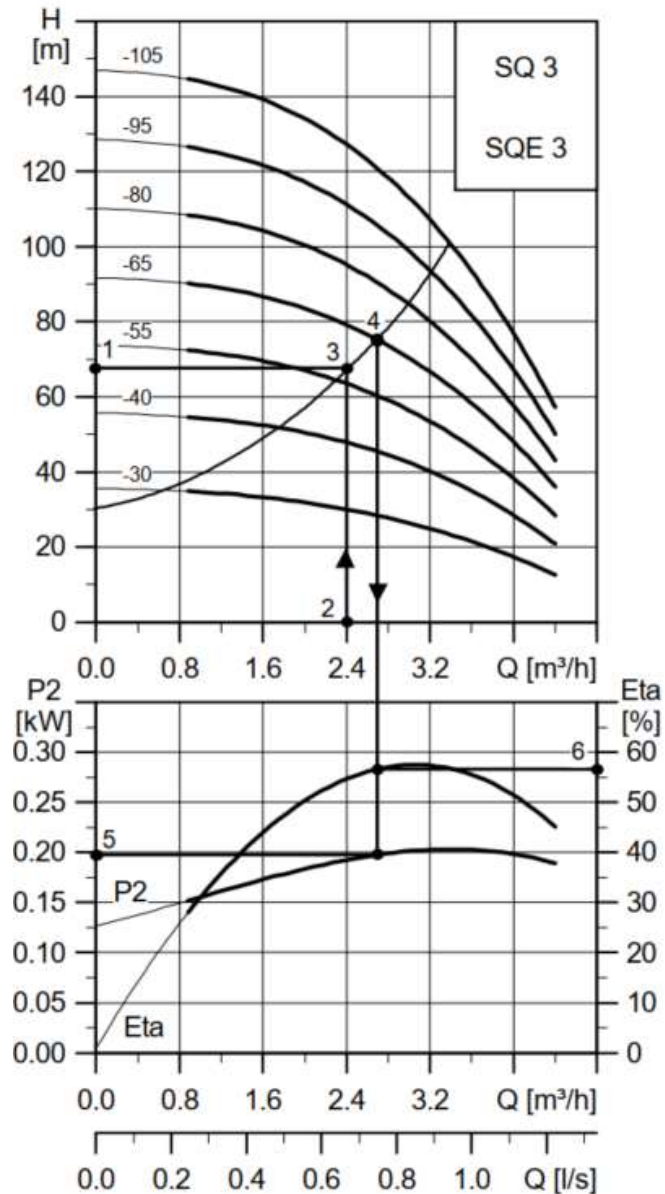
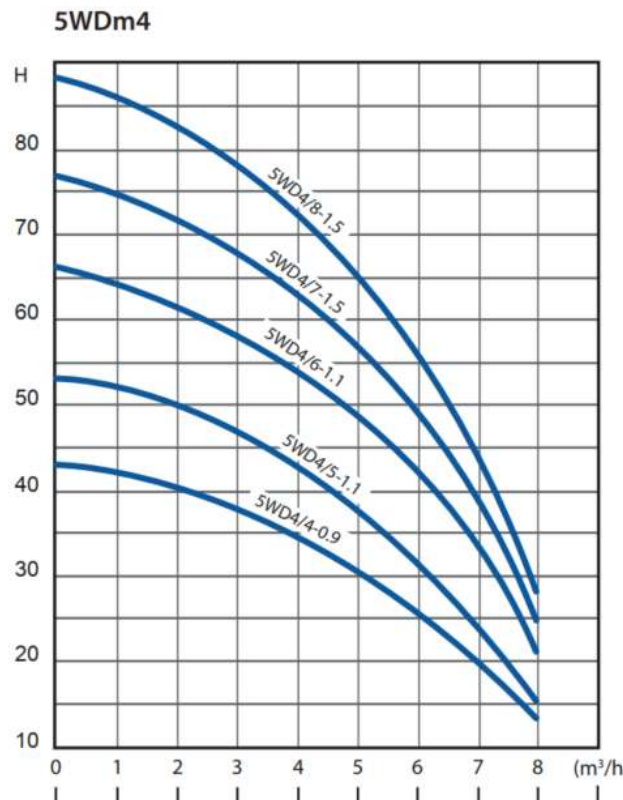
Distribution

Pompage
Transport

Attention:

Caractéristiques
données, soit :

- HMT max et débit max
- HMT et débit nominal



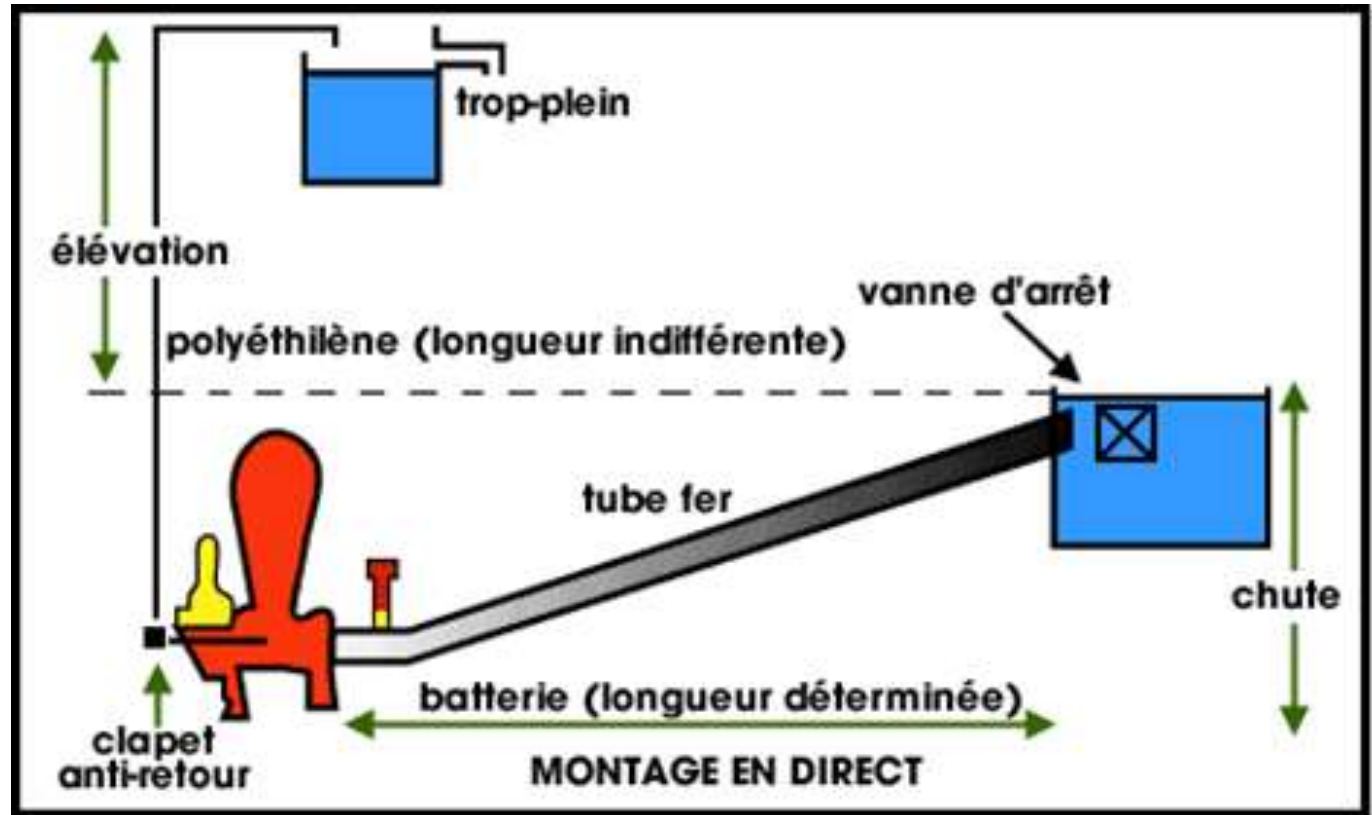
Distribution

Pompage
Transport



Distribution

Pompage
Transport



Distribution

Pompage
Transport

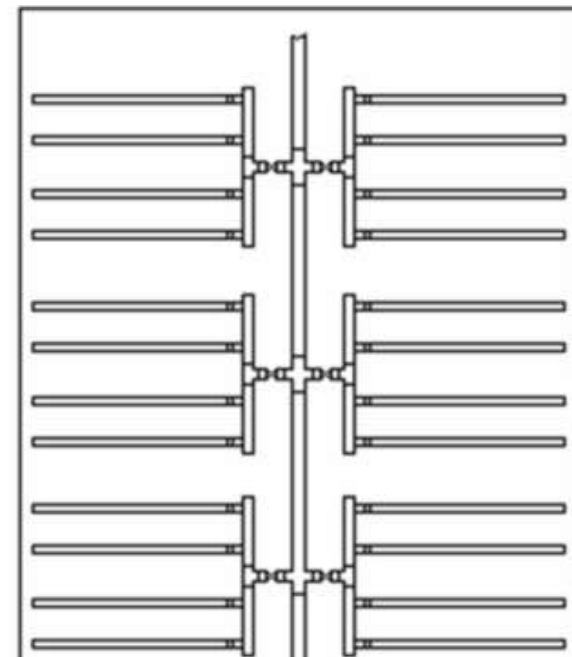


Type	Wanddikte mm / Epaisseur mm	Bar	Ref.	€
PE 40 – 16 x 1,5mm	1.5	5	A6.06.170	60,00
PE 40 – 20 x 2,0mm	2	6	A6.06.172	85,00
PE 40 – 25 x 1,9mm	1.9	4	A6.06.173	100,00
PE 40 – 25 x 2,7mm	2.7	6	A6.06.174	115,00
PE 40 – 32 x 3,0mm	3	5	A6.06.175	160,00
PE 40 – 40 x 3,6mm	3.6	4	A6.06.176	250,00
PE 40 – 50 x 4,5mm	4.5	5	A6.06.177	390,00
PE 40 – 63 x 5,7mm	5.7	5	A6.06.178	365,00



Design des lignes de distribution

- Goutte-à-goutte ou gaine poreuse
 - 1 ou 2 lignes par rang de culture, fonction des distances de plantation, de l'écartement des lignes et du type de sol
 - "Nourrice" amovible ou non par bloc
 - En PE ou en tuyau pompier
 - Réducteur de pression (fonction du type de gaine et d'émetteurs)
 - Commande manuelle/automatique
- Influence du nombre de lignes et de la longueur des lignes sur la pression

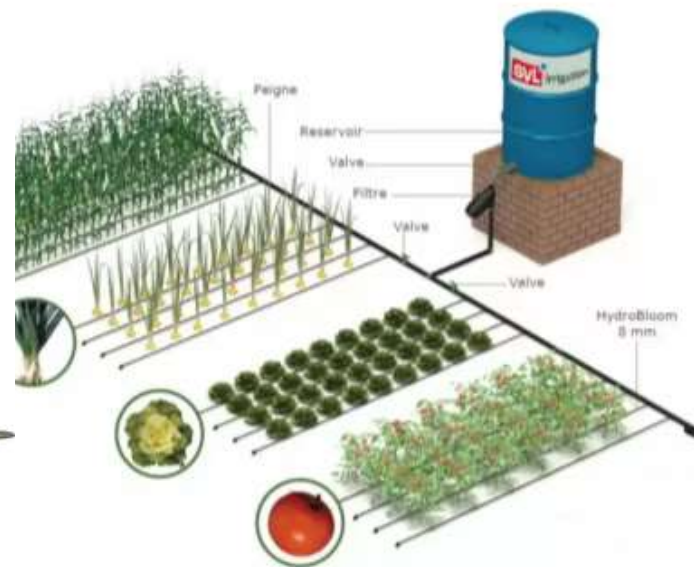
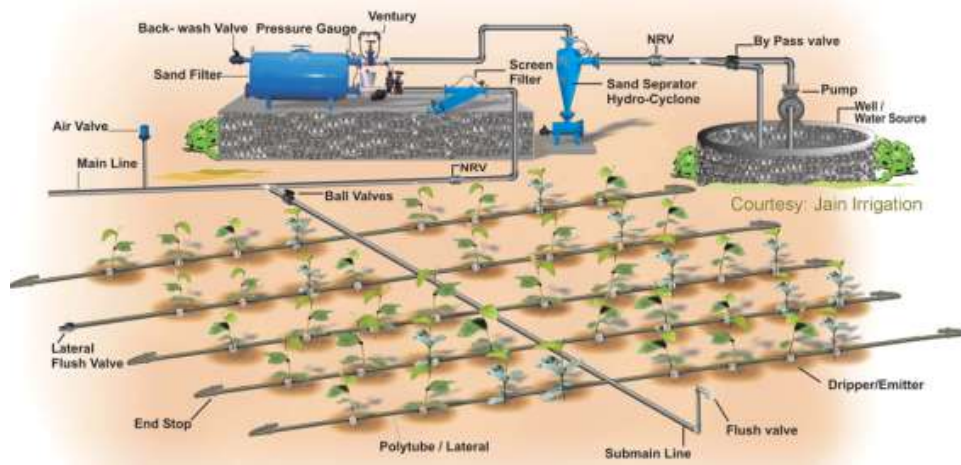


L → Longueur des lignes PORITEX® (m)	10	20	40	60	80	90	100	
Pression d'entrée (atm)	0,2 a 1	0,2 a 0,9	0,2 a 0,8	0,2 a 0,6	0,2 a 0,5	0,2 a 0,4	0,2 a 0,3	
Débit (l/h/m)	1 a 7	1 a 6	1 a 4	1 a 3	1 a 2	1 a 1,8	1 a 1,4	
Nombre maximum de lignes								
Diamètre de la tête d'alimentation	90 mm	300	200	100	66	50	45	40
	75 mm	350	175	86	60	45	40	35
	63 mm	300	150	75	50	36	34	30
	50 mm	250	125	60	40	30	28	25
	40 mm	150	75	35	25	20	17	15
	32 mm	75	35	20	12	9	8	7
	25 mm	50	25	12	8	6	6	6



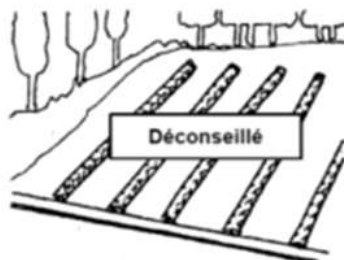
Design des lignes de distribution

- Basse ou "haute" pression :

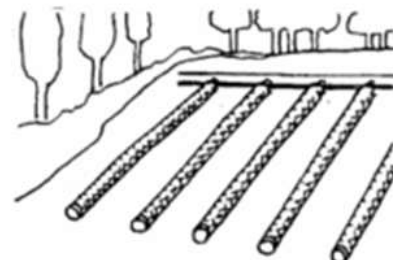


- Attention à la pente

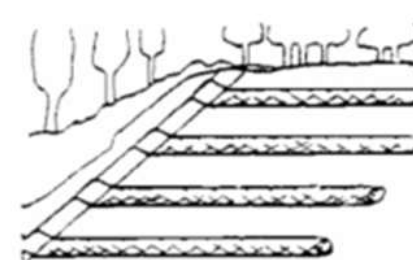
**En remontant la pente
(maximum 2%)**



**En suivant la pente
(maximum 2-3%)**

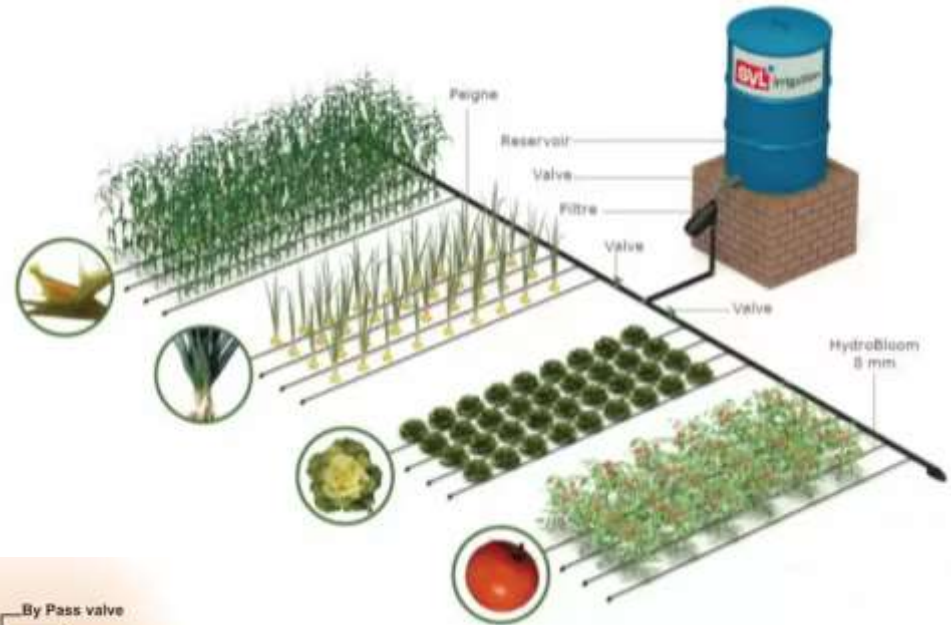


**En suivant les courbes de niveau
(pente supérieure à 3%)**

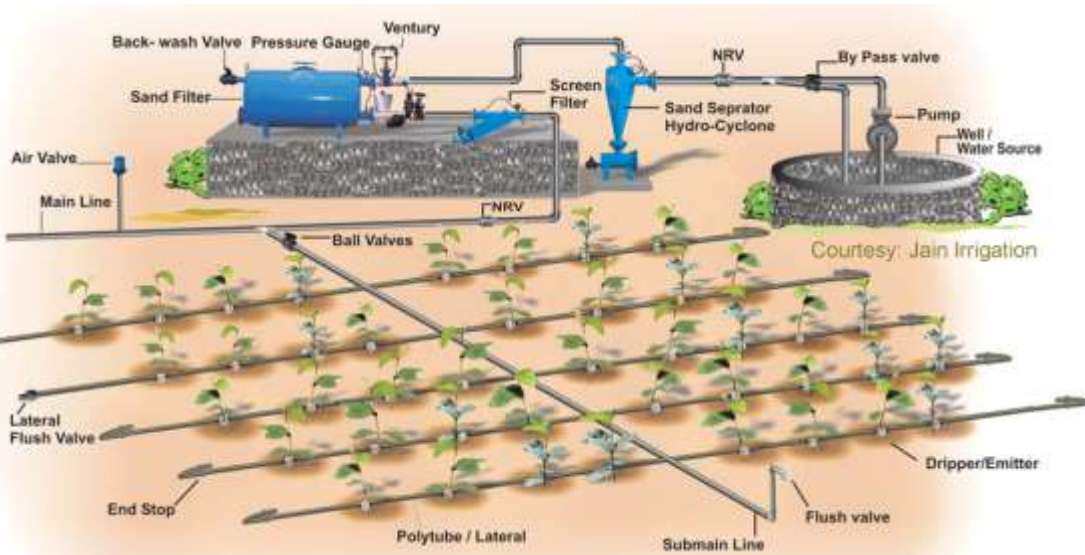


Design des lignes de distribution

- Basse pression :

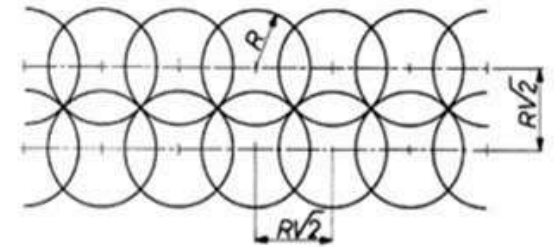


- Haute pression

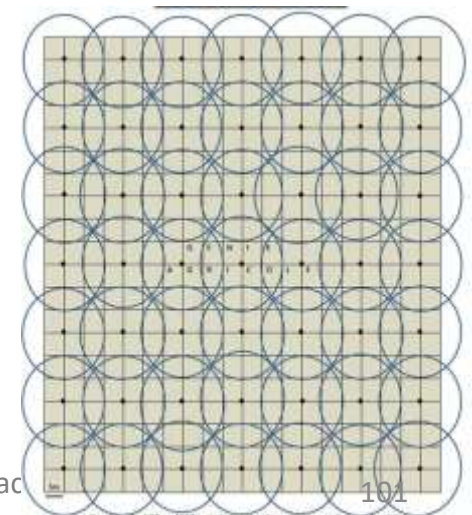
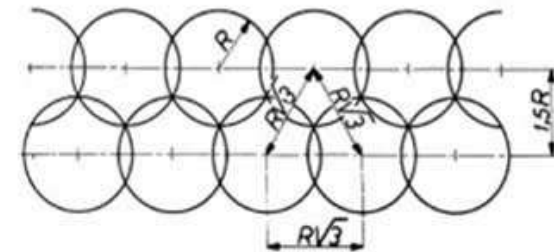


Design des lignes d'aspersion

- Implantation en
 - carré
 - Triangle
- Recouvrement
- Vent
- Capacité de pompage et du réseau
- Arrosage par sous-secteurs
 - Couverture totale
 - Rampes ou asperseurs mobiles
- Rapport € investissement vs temps de travail



⊙ Implantation en carré



Parcelle de 100 m / 100m irriguée par des asperseurs de portée 10 m, chaque cercle représente la portée d'un asperseur désigné par le point au centre.



Design des lignes d'aspersion

- Implantation en
 - carré
 - Triangle
- Recouvrement
- Vent
- Capacité de pompage et du réseau
- Arrosage par sous-secteurs
 - Couverture totale
 - Rampes ou asperseurs mobiles
- Rapport € investissement vs temps de travail

Influence sur l'uniformité de l'arrosage et sur la pluviométrie

Mamkad 16 Tableau des performances - buses angle haut
Pluviométrie (mm/hr) et uniformité (CU) suivants différents écartements

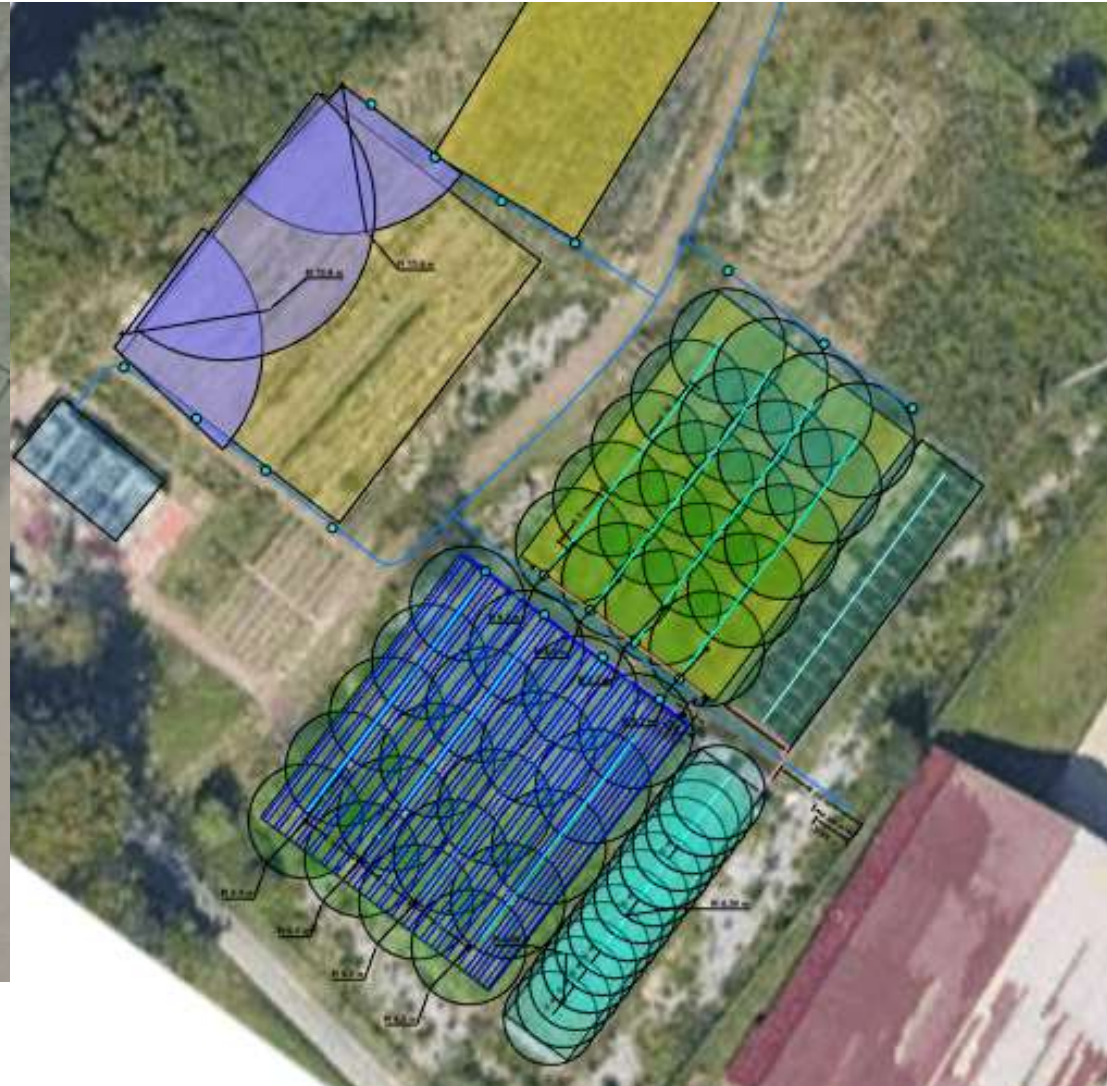
Couleur de la buse	P (bar)	Q (l/h)	D (m)	Écartement (m)					
				6x6	6x7	7x7	7x8	8x8	8x9
Bleue	2.0	135	14	3.8	3.2	2.8	2.4	2.1	
	2.5	151	14	4.1	3.5	3.0	2.7	2.3	
	3.0	165	14	4.6	3.9	3.4	2.9	2.6	
	3.5	178	13	5.0	4.3	3.7	3.2	2.8	
	4.0	192	13	5.3	4.5	3.9	3.4	3.0	
F.R.	2.5-5.0	135	13	3.6	3.1	2.7	2.3	2.0	
Jaune	2.0	180	15	4.8	4.1	3.5	3.1	2.7	
	2.5	201	14	5.6	4.8	4.1	3.6	3.1	
	3.0	220	14	6.1	5.2	4.5	3.9	3.4	
	3.5	238	14	6.7	5.7	4.9	4.3	3.7	
	4.0	255	14	7.0	6.0	5.1	4.5	3.9	
F.R.	2.5-5.0	180	14	5.0	4.3	3.7	3.2	2.8	
Violette	2.0	225	15	6.2	5.3	4.6	4.0	3.5	3.1
	2.5	252	15	7.0	6.0	5.1	4.5	3.9	3.5
	3.0	275	15	7.6	6.5	5.6	4.9	4.3	3.8
	3.5	297	15	8.3	7.1	6.1	5.3	4.6	4.1
	4.0	320	15	8.9	7.6	6.5	5.7	5.0	4.4
F.R.	2.5-5.0	225	15	6.1	5.3	4.5	3.9	3.4	3.1
Noire	2.0	270	16	7.4	6.4	5.4	4.8	4.2	3.7
	2.5	302	16	8.4	7.2	6.2	5.4	4.7	4.2
	3.0	330	16	9.2	7.9	6.7	5.9	5.2	4.6
	3.5	356	16	9.9	8.5	7.3	6.4	5.6	5.0
	4.0	383	16	10.6	9.1	7.8	6.8	6.0	5.3
F.R.	2.5-5.0	270	16	7.4	6.3	5.4	4.7	4.1	3.7

Testé à 60 cm de hauteur

* Tableau des performances réalisé en conditions de laboratoire
* En conditions ventées, utiliser des écartements plus rapprochés



Design des lignes d'aspersion



Design des lignes d'aspersion

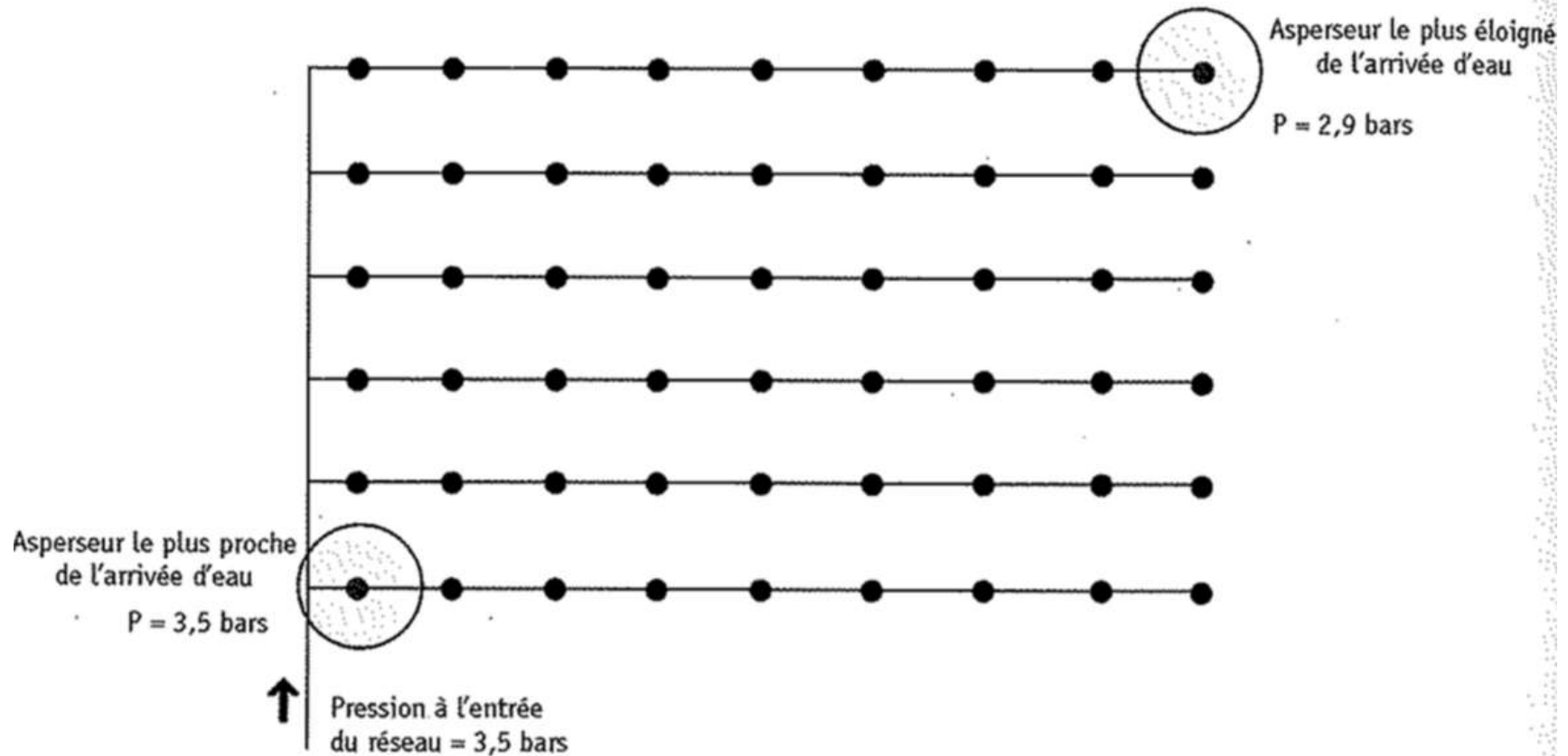


Figure 2.6– Position des asperseurs le plus défavorisé et le plus favorisé d'un réseau en couverture totale



Autres éléments

Réducteurs/régulateurs de pressions

Manomètres

Compteurs et débitmètres

Vannes

- Manuelles
 - À glissière
 - À boule
 - Raccords à pression – filetés - collés
- Électriques



Raccords rapides

- -GEKA, Camlock, Perrot, Storz, Guillemin, "Gardena", ...

Chaque élément introduit une perte de charge !

Purgeurs et prévention du gel !!!



Autres éléments

Régulateurs de pression

- Protection des circuits et éléments de distribution qui ne supportent pas la pression de la pompe
- Régulation de la pression lorsque celle-ci varie
 - p.ex. groupe hydrophore : variation entre la pression de déclenchement et la pression max
- Démarrage ou ouverture/fermeture de parties des conduites
- Induit des pertes de charge



Autres éléments

Purgeurs

- Manuel : vanne simple
- Automatique : soupape (en fin de ligne) qui se ferme lorsque la pression augmente rapidement (mise sous pression) et s'ouvre lorsque la pression diminue (fin de l'arrosage)
- Soupape de décharge d'air (au remplissage et pour la purge) en tête de réseau (point haut)



Autres éléments

Automatisation

- Programmation
 - Volume => vannes volumétriques
 - Durée => vannes de temporisation
 - Départ et durée => programmateur + électrovannes





Merci ! Yapluka !



Quelques références :

- Geoportail de la Wallonie : <https://geoportail.wallonie.be/walonmap>
- www.meteo.be/fr/climat/atlas-climatique/climat-dans-votre-commune
- Itinéraire bio n°51- 2020 (https://www.biowallonie.com/types_documentations/itineraires-bio/)
- József ORSZÁGH www.eautarcie.org
- Publication de l'INRAE sur l'eau et l'agriculture : <https://www.calameo.com/read/006800896c31a6839526c>
- Triple Performance : accès libre à des ressources sur l'agro-écologie, dont l'eau : https://wiki.tripleperformance.fr/wiki/Triple_Performance
- Le guide des sols sur les pages des projets Innoviris spincoop et ultratree
 - <https://www.cocreate.brussels/projet/spincoop/resultats-de-recherche/>
 - <https://www.cocreate.brussels/projet/ultratree/resultat-de-la-recherche/>(et le projet sur lequel j'ai travaillé : <https://www.cocreate.brussels/projet/cosyfood/>)
- Rapport sur les cycles hydrologiques : <https://interculturelles.org/wp-content/uploads/2022/07/Comprendre-les-cycles-hydrologiques-et-cultiver-l-eau-WEB.pdf>
- www.ardepi.fr, <https://www.sud-et-bio.com/fruits-legumes/amont/docs-et-referencesfel>
- Fournisseurs : aubia.be, bosta.be, <https://www.saelens-bvba.com/>, pumptech.be, <https://www.detrypompes.be/>, <https://www.plastiqueetangdestexheomal.be/> + voir site Biowallonie



Quelques références (2):

- Water for Every Farm P.A. Yeomans 1956
- Water for Any Farm Mark Shepard 2020
- Regenerative Agriculture Richard Perkins 2020
- The Reagrarians Handbook – 3. Water – Darren Doherty - 2020
- Désert ou paradis ? : Mise en place de la permaculture de Sepp Holzer, 2014
- Site de Marlène Vissac avec plein de ressources : <https://www.hydronomie.fr/>
- Coeff.cultural: <https://www.brl.fr/fr/memento-irrigation-agricole>
- Hervé Covès sur les 7 cycles de l'eau : <https://www.youtube.com/watch?v=ZhtQ89NzOjs>
- Brad Lancaster Rainwater Harvesting for drylands and beyond, 2014
- Epuration individuelle, Christian Heyden, <http://lagunage.be> et Eau de Vie <https://www.eaudevie.be/>



Système de valorisation intégrale de l'eau de pluie

