



**École d'hiver du 2 au 6 mars 2015,
INAT, Tunis, Tunisie**

**« Techniques d'observation et méthodes d'analyse pour la gestion de l'eau
dans les bassins versants agricoles méditerranéens »**

**Caractérisation des fonctionnalités agro-environnementales
des agrosystèmes pluviaux**

Insaf MEKKI (INRGREF)



Plan de la présentation

1- Définitions des fonctionnalités agro-environnementales des agrosystèmes pluviaux

2- Les outils mobilisés pour la conception d'indicateurs

3- Choix d'indicateurs selon les échelles spatiotemporelles

1- Définitions des fonctionnalités agro- environnementales des agrosystèmes pluviaux

Activité agricole fondée sur l'utilisation des ressources naturelles

Multi-fonctionnalité de l'activité agricole

Production agricole,

Production d'eau,

Préservation des sols et des eaux,

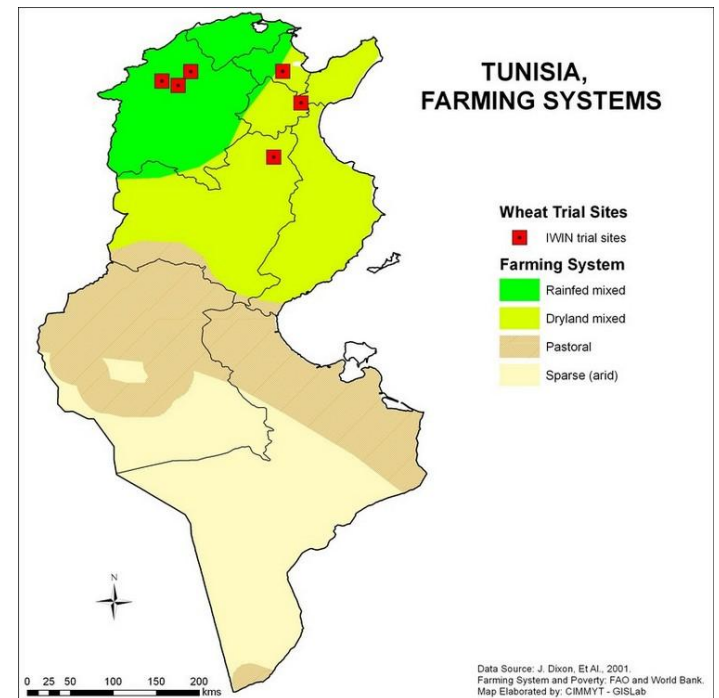
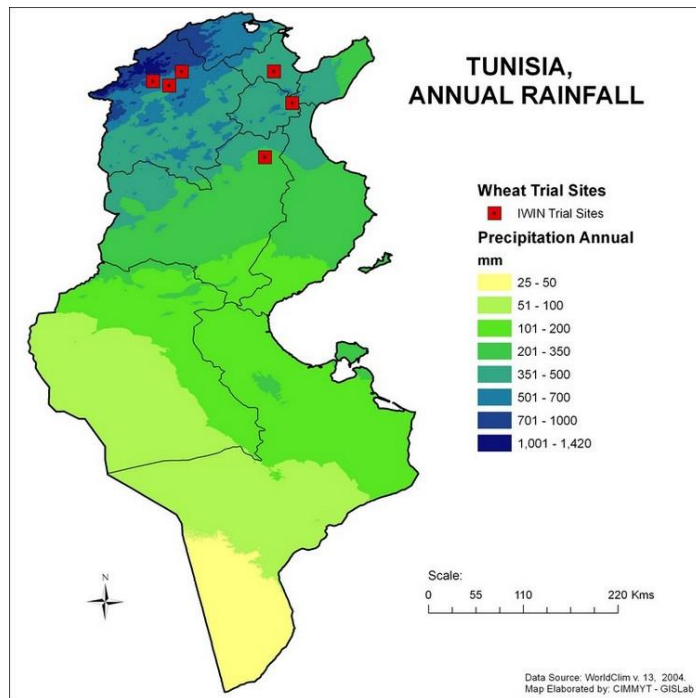
Les effets peuvent être positifs ou négatifs

Besoin d'articuler les espaces fonctionnels de l'agriculture et les espaces à enjeux environnementaux

Production agricole

La production des denrées alimentaires reste la mission première de l'agriculture,

L'agriculture pluviale n'est possible que dans les régions où la répartition des pluies permet au sol de garder suffisamment d'humidité pendant les périodes critiques de la croissance des plantes cultivées.

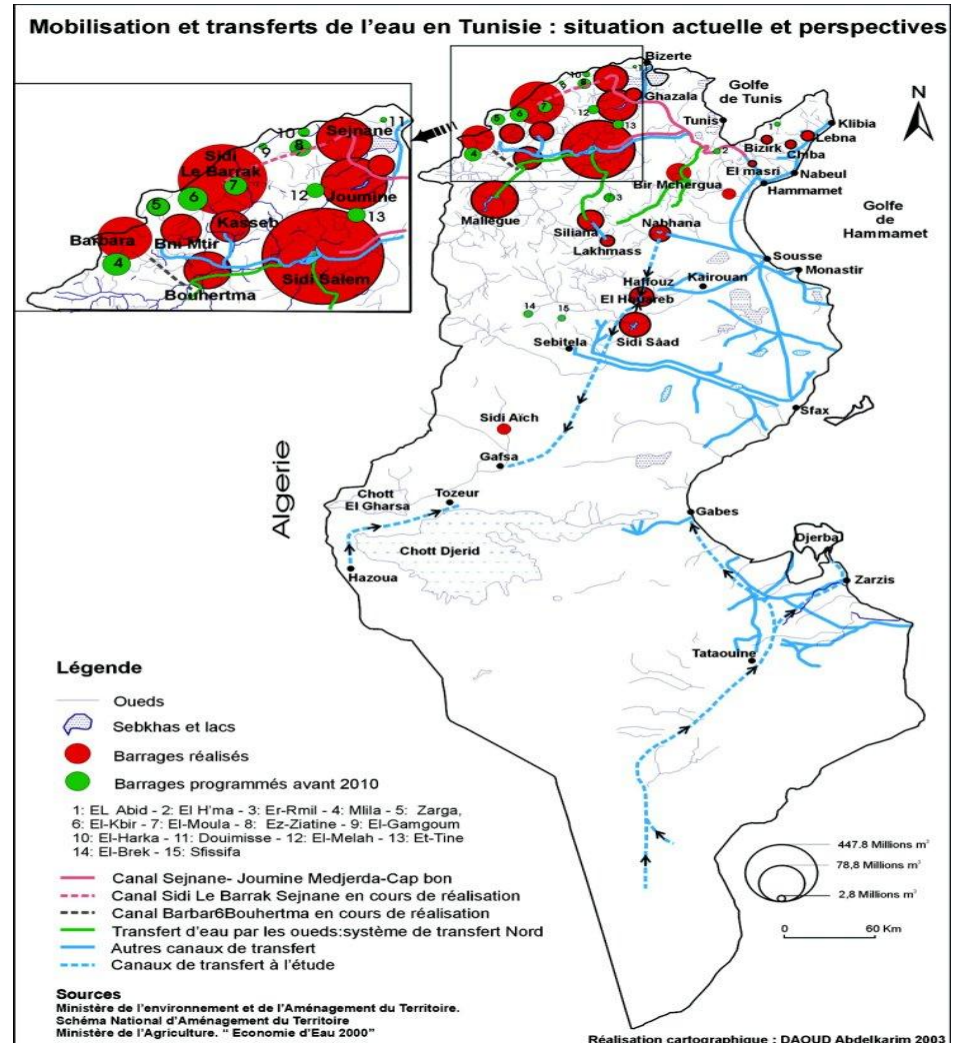


Production d'eau, potentiel de mobilisation des ressources en eaux

Capter les eaux de ruissellement en les stockant dans le sol ou dans des lacs ou barrages de retenue pour pouvoir les utiliser pendant les périodes sèches.

Pour optimiser la gestion des eaux collectées:

- ✓ Possibilité d'interconnexion entre les barrages (situés dans un même bassin versant),
- ✓ Possibilité du transfert d'un bassin versant à un autre.



Préservation des sols et des eaux

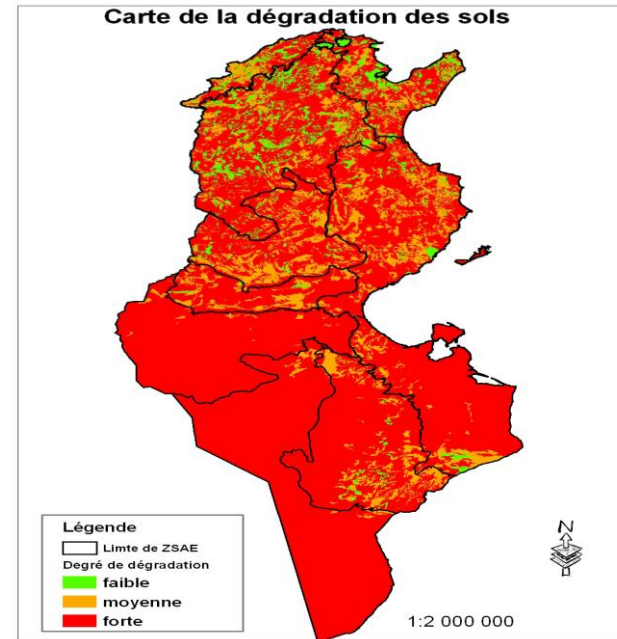
Diverses formes de récupération de l'eau peuvent contribuer à la retenir *in situ*.

Reconstitution des stocks d'eaux souterraines et à la réduction de l'érosion du sol.

Capter les eaux de ruissellement pour pouvoir limiter l'érosion hydrique.

Agriculture de conservation pour mieux préserver l'humidité du sol.

Des systèmes économes en intrants et en produit phytosanitaires pour mieux préserver les ressources en eaux et en sols.



Les sols sur les zones collinaires sont affectés par une érosion hydrique moyenne à forte. Les sols des zones littorales marquées également par une forte urbanisation et le développement du tourisme se sont fortement dégradés, ayant pour conséquence un important mouvement d'abandon des terres.

2- Les outils mobilisés pour la conception d'indicateurs

- **Définition d'un indicateur**
- **Modèles**
- **Enquêtes**
- **Système d'Information Géographique**

Définition d'un indicateur

Un indicateur est une information chiffrée qui fournit une échelle sur laquelle une performance peut être mesurée, conformément à un critère d'appréciation.

Un indicateur peut être :

taux

ratio

pourcentage

moyenne

classement

nombre

index composite (une combinaison de plusieurs indicateurs)

qualitatif (classe)

Les modèles

Les modèles simulent les processus biophysiques en jeu (quantitatifs)

Mécanistes

- Pour investigation fondamentale

- Généralement utilisés à une échelle expérimentale

- Exigence en base de données de qualité

Simple et robustes

- Lien avec la planification et l'évaluation

- Usage à différentes échelles spatiales

- Utilisation facile

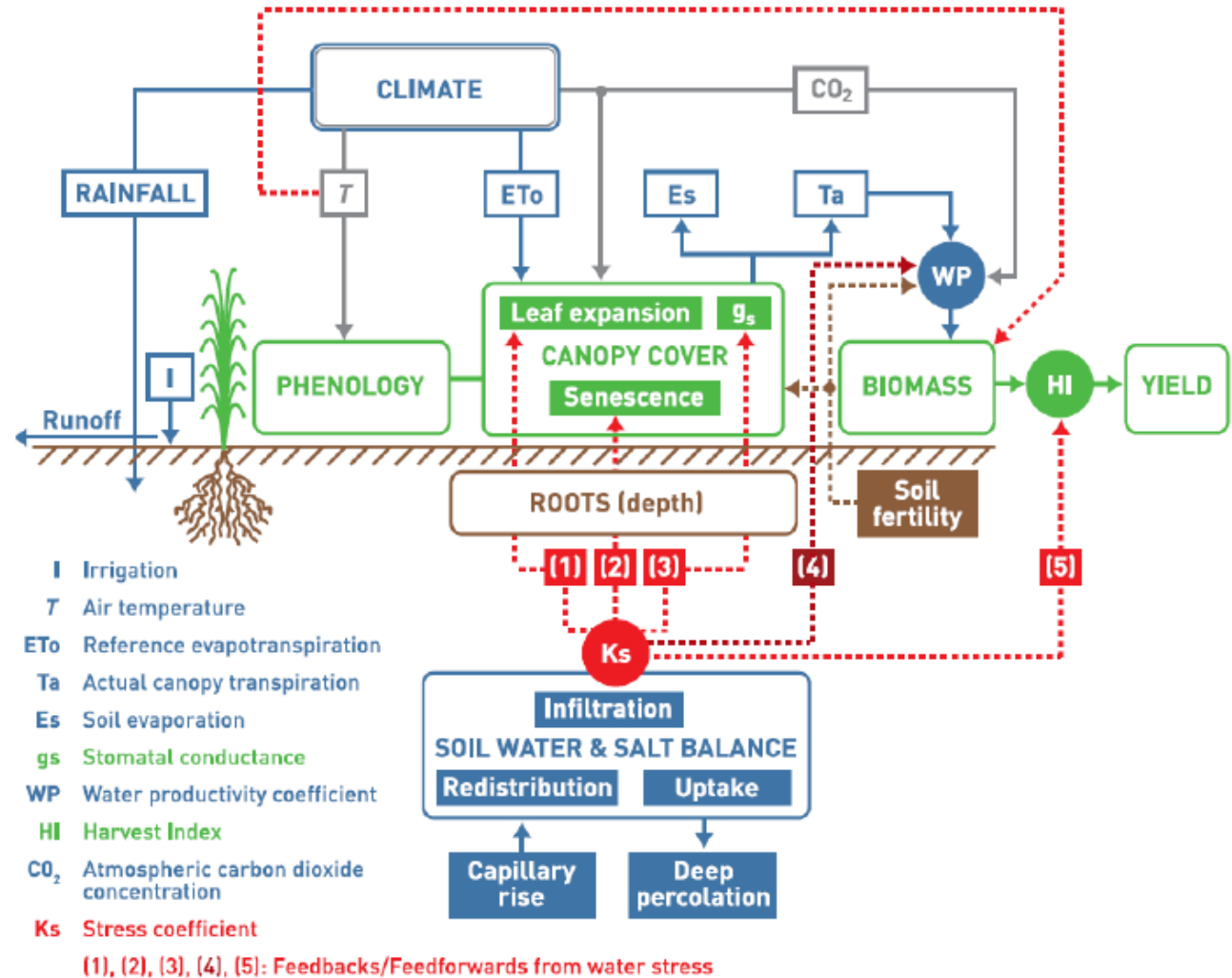
- Disponibilité de données

Modèles de cultures

Module qui simule la croissance de la végétation (LAI, taux de couverture), productivité de l'eau

Module sol qui simule l'état hydrique et la consommation en eau des cultures (évapotranspiration)

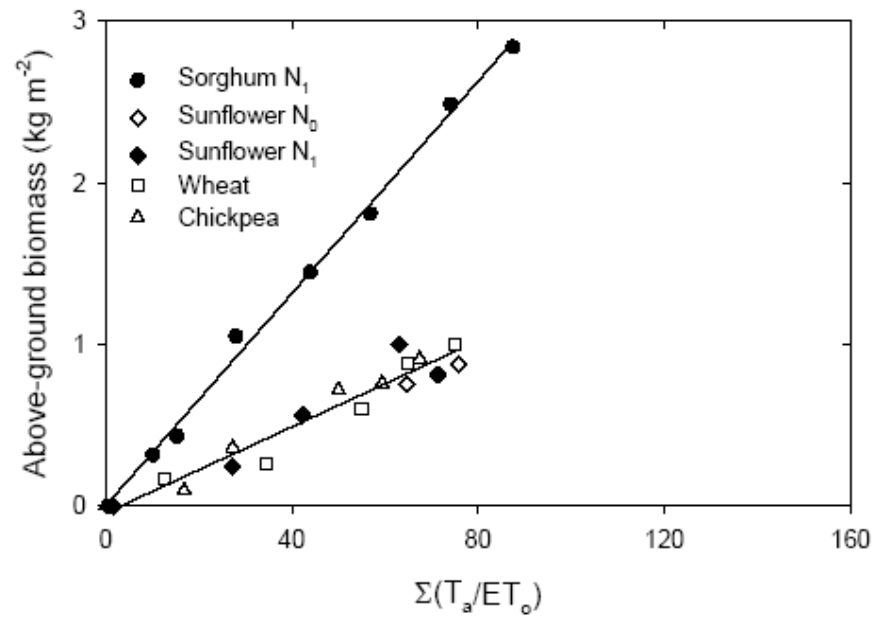
AcquaCrop (FAO)



(Studeto et al., 2008)

Modèles de cultures

AcquaCrop (FAO)



(Studeto et al., 2008)

Modèles hydrologique: bilan hydrique

L'équation du bilan hydrique qui peut s'exprimer pour une période, une occupation de sol et une couche données :

Avec :

P : précipitations [mm] ;

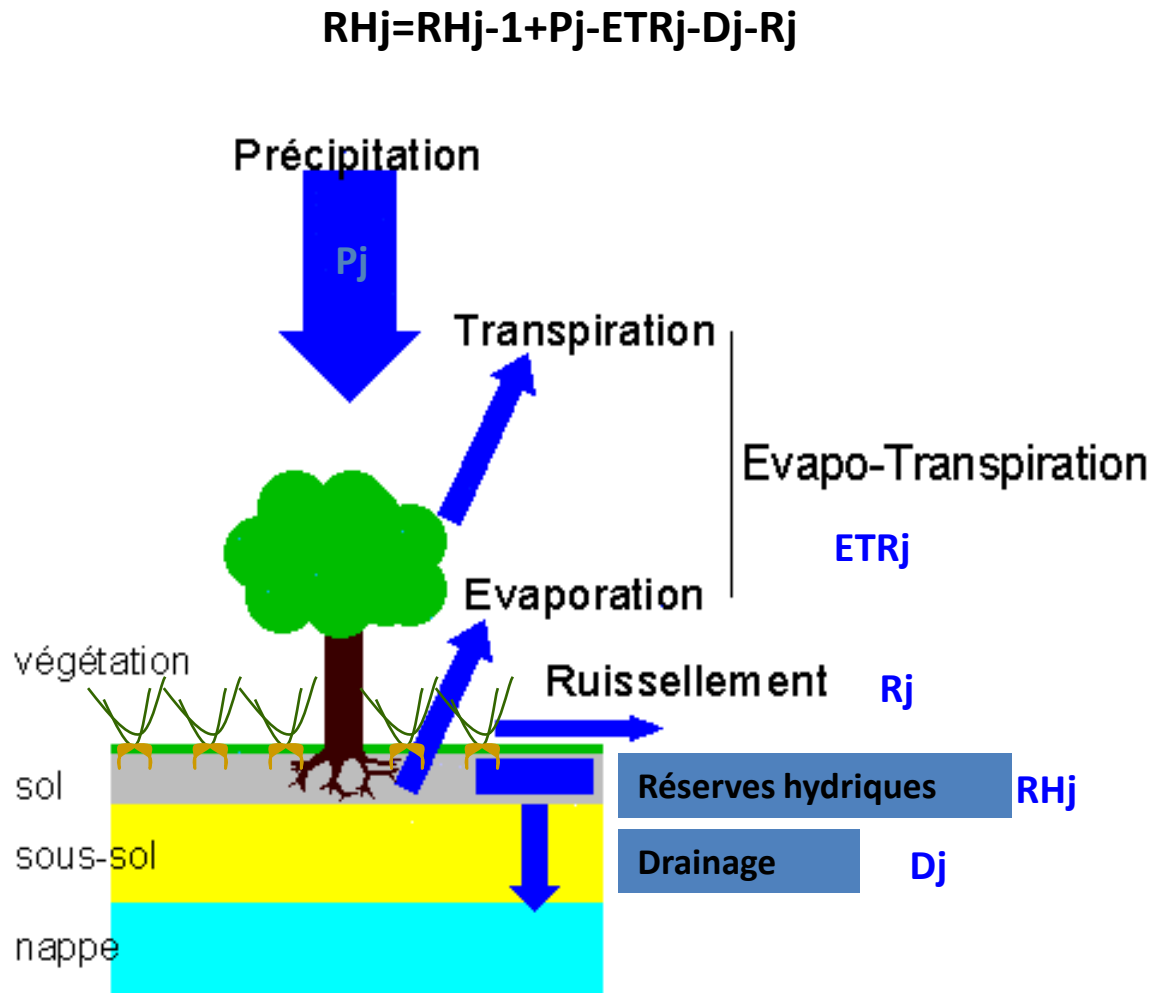
RH_j et RH_{j-1} : ressources disponible au moment de l'évaluation et à la fin de la période précédente (humidité du sol) [mm] ;

P : précipitations [mm] ;

ETR : évapotranspiration (y compris évaporation) ;

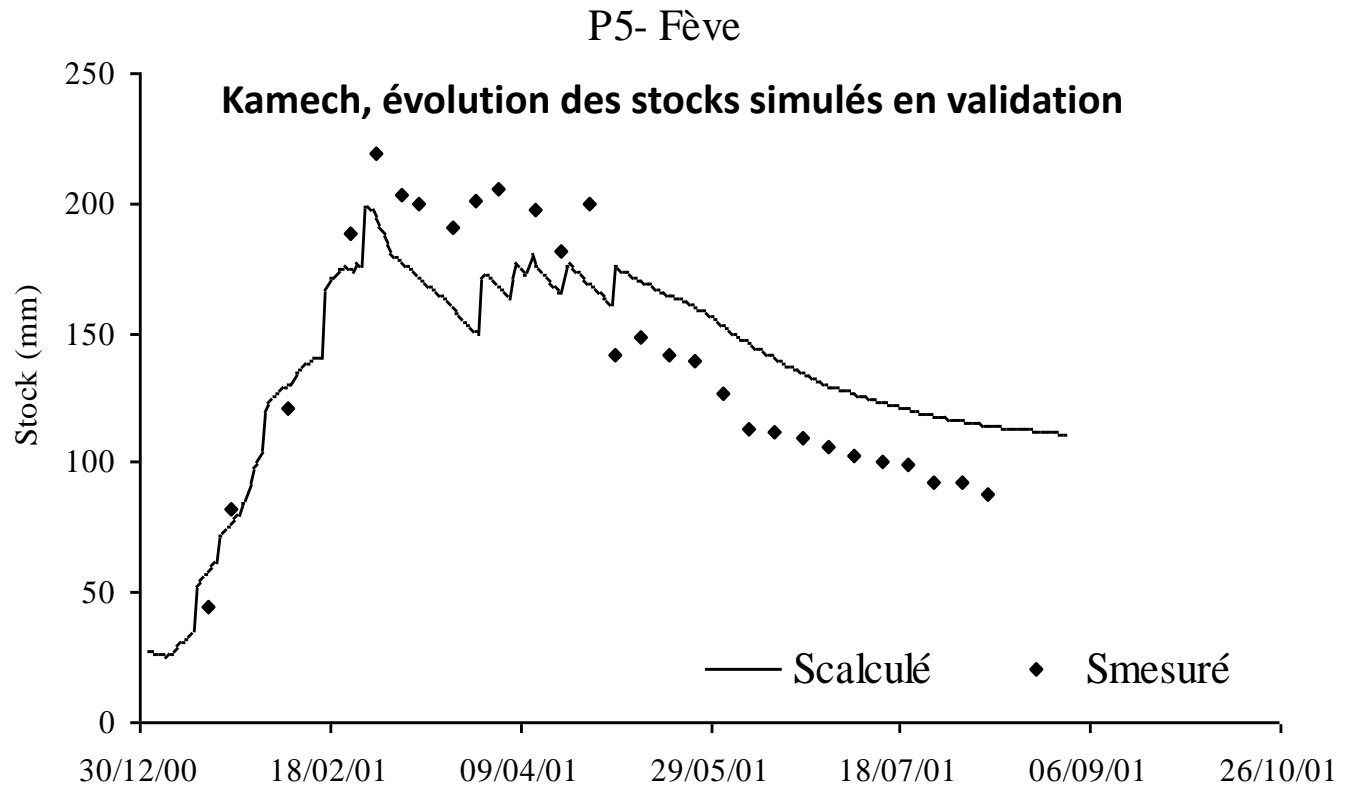
D : drainage sous la zone racinaire [mm];

R : ruissellement de surface [mm].



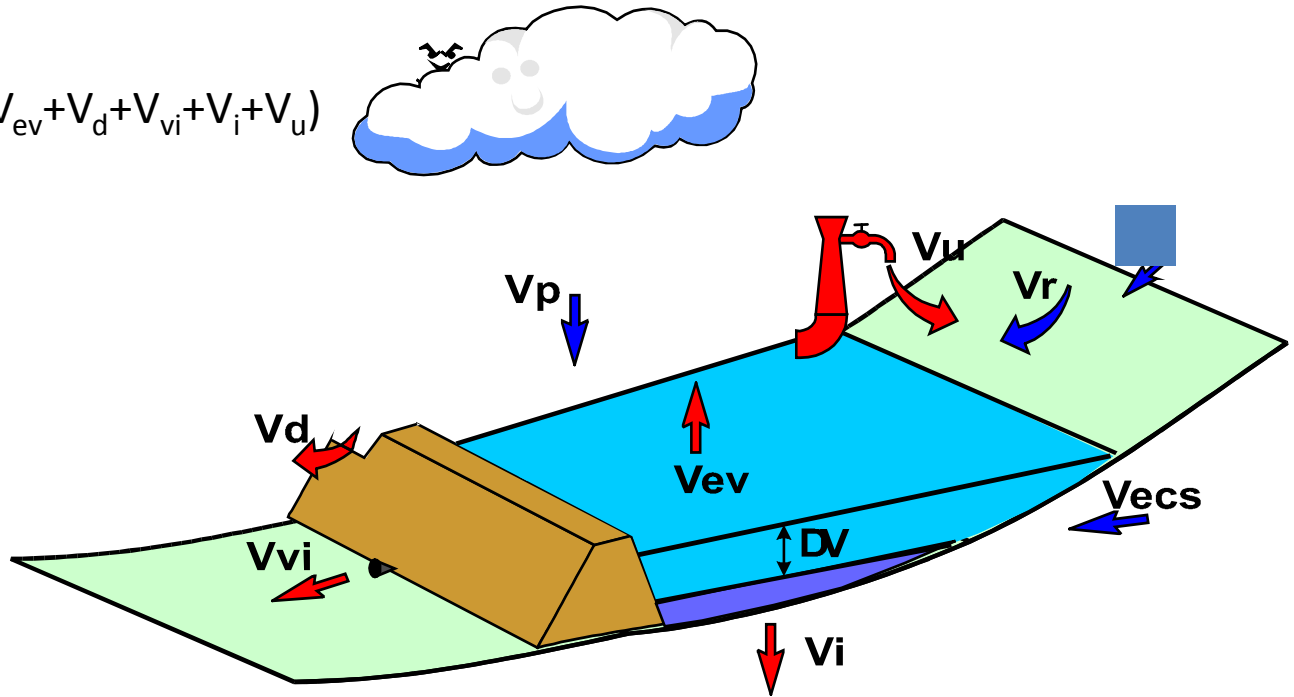
Modèles hydrologique: bilan hydrique

Stock hydrique dans le sol



Modèles hydrologiques: bilan hydrologique d'une retenue

$$Dv = (V_r + V_{esc} + V_p) - (V_{ev} + V_d + V_{vi} + V_i + V_u)$$



Avec:

DV = Variation du stock de la retenue

Vp = Apports des précipitations tombant
directement sur la retenue

Vr = Apports superficiels
(ruissellement, écoulement de base, ...)

Vecs = Apports souterrains

Vi = Volume infiltré

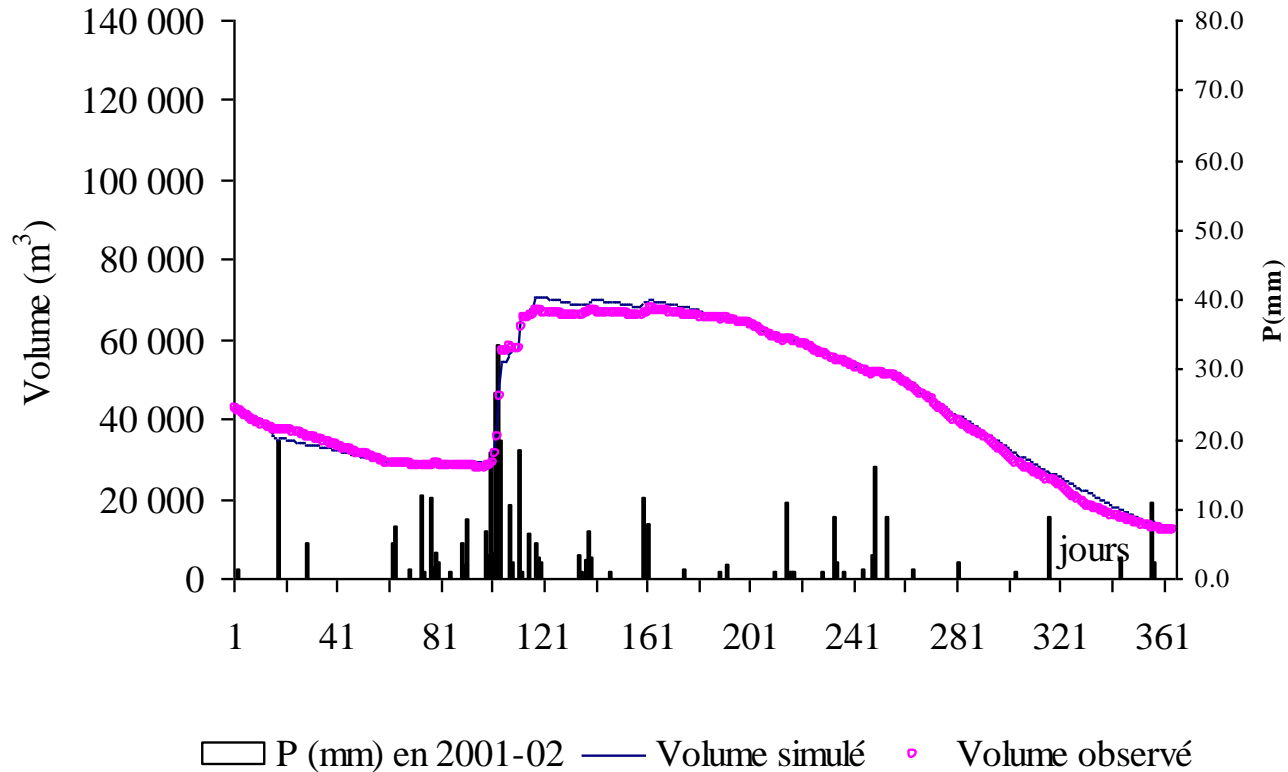
Vev = Volume d'eau évaporé

Vd = Volume d'eau déversés

Vvi = Volume sortant par la vanne de vidange

Vu = Volume d'eau prélevé pour divers usages

Modèles hydrologiques: bilan hydrologique d'une retenue



Kamech

$$Dv = (V_r + V_{esc} + V_p) - (V_{ev} + V_d + V_{vi} + V_i + V_u)$$

Modélisation du fonctionnement intégré des paysages avec l'ensemble des composantes bio-physiques, agroenvironnementales et socio-économiques

Plateforme OpenFluid (Fabre et al., 2010)

Les processus sont associés à des unités spatiales,

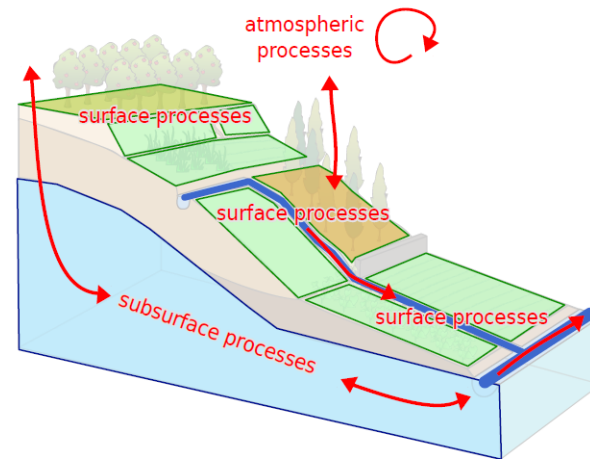
Ces processus temporels donnent lieu à des modifications de l'état des unités spatiales ,

L'ensemble des processus couplés forme un modèle couplé

Représentation **numérique du paysage**
représenter les structures, leurs propriétés, leurs relations/connexions

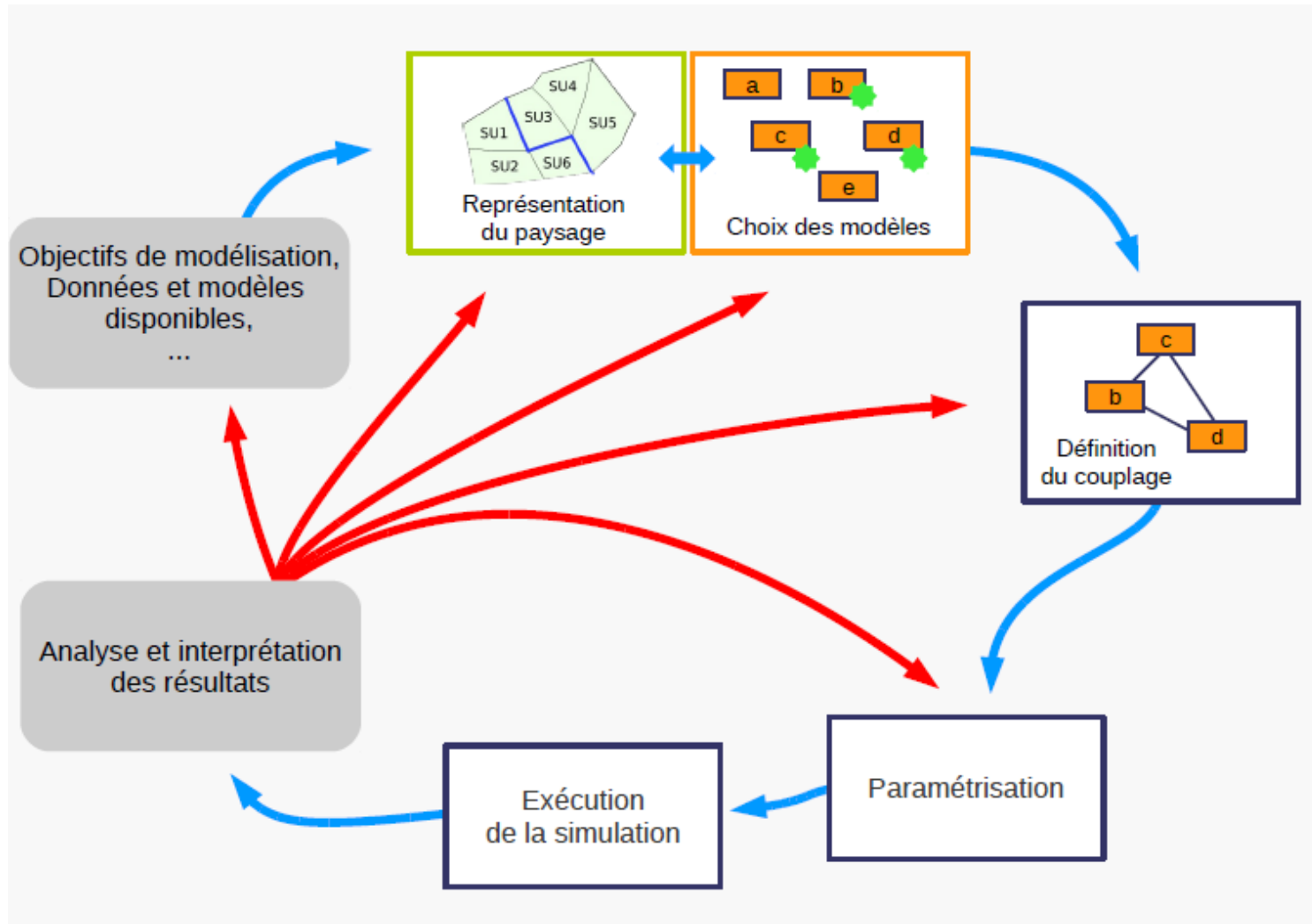
+

Modélisation des **processus spatiaux/locaux en interactions**
coupler les processus pour une **modélisation intégrée**



Un environnement logiciel générique pour la modélisation spatialisée, tenant compte des processus, des éléments du paysage et de leurs interactions.

Modélisation du fonctionnement intégré des paysages avec l'ensemble des composantes bio-physiques, agroenvironnementales et socio-économiques



Plateforme OpenFluid (démarche de simulation)

(Fabre et al., 2010)

Enquêtes

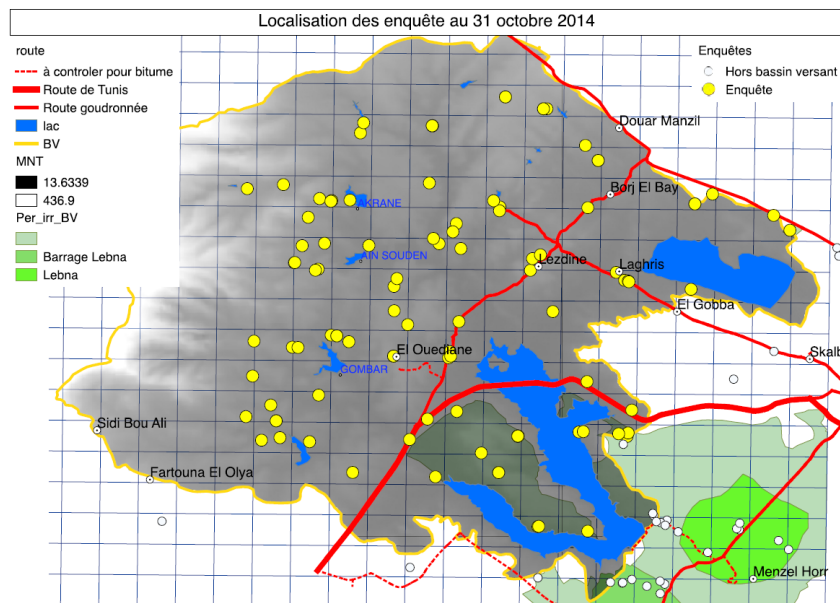
Exemple d'application

Caractérisation des pratiques et modes de conduite des systèmes de cultures
Perception des contraintes et des opportunités pour la gestion de l'eau

Inventaire des exploitations
agricoles et première
caractérisation

Recensement auprès des
responsables de
développement (CRDA, CTA,
CRA) des exploitations
(variables clés: taille de
l'exploitation, la zone
géographique, ...)

Enquête sur un échantillon (% des
exploitations agricoles sur le
bassin versant)



Modes d'organisation des exploitations agricoles,
des occupations des sols, dynamique d'évolution
temporelle.

Systeme d'Information Géographique

Caractéristiques des informations

Gros volume de données multi-sources (précision et fiabilité)

Divers opérateurs

Alphanumériques

Spatiaux (carte, image, ..)

Temporel

Différentes échelles spatiotemporelles (différentes représentations correspondants à différents niveaux de détail)

Plusieurs disciplines impliquées

Géographie, cartographie, télédétection, statistique, informatique, mathématique,...

Application

Mise en évidence des structures fondamentales, des dynamiques ou des fonctionnements inscrits dans l'espace géographique abordé

Analyse des processus: physique, humain, temporel,...

Systeme d'Information Géographique

Exemple d'application : Modélisation des écoulements à l'exutoire d'un bassin versant

- ❖ la problématique

Information des gestionnaires d'un barrage sur la dynamique des volumes d'eaux

- ❖ les objets spatiaux

Champ de blé, réseau hydrographique ,....

- ❖ la description des objets

Parcellaire, caractéristiques hydriques des sols, pratiques culturales, pluviométrie,

- ❖ le traitement, l'analyse de l'information

Infiltrabilité, ruissellement

- ❖ Sélections, restitutions cartographiques

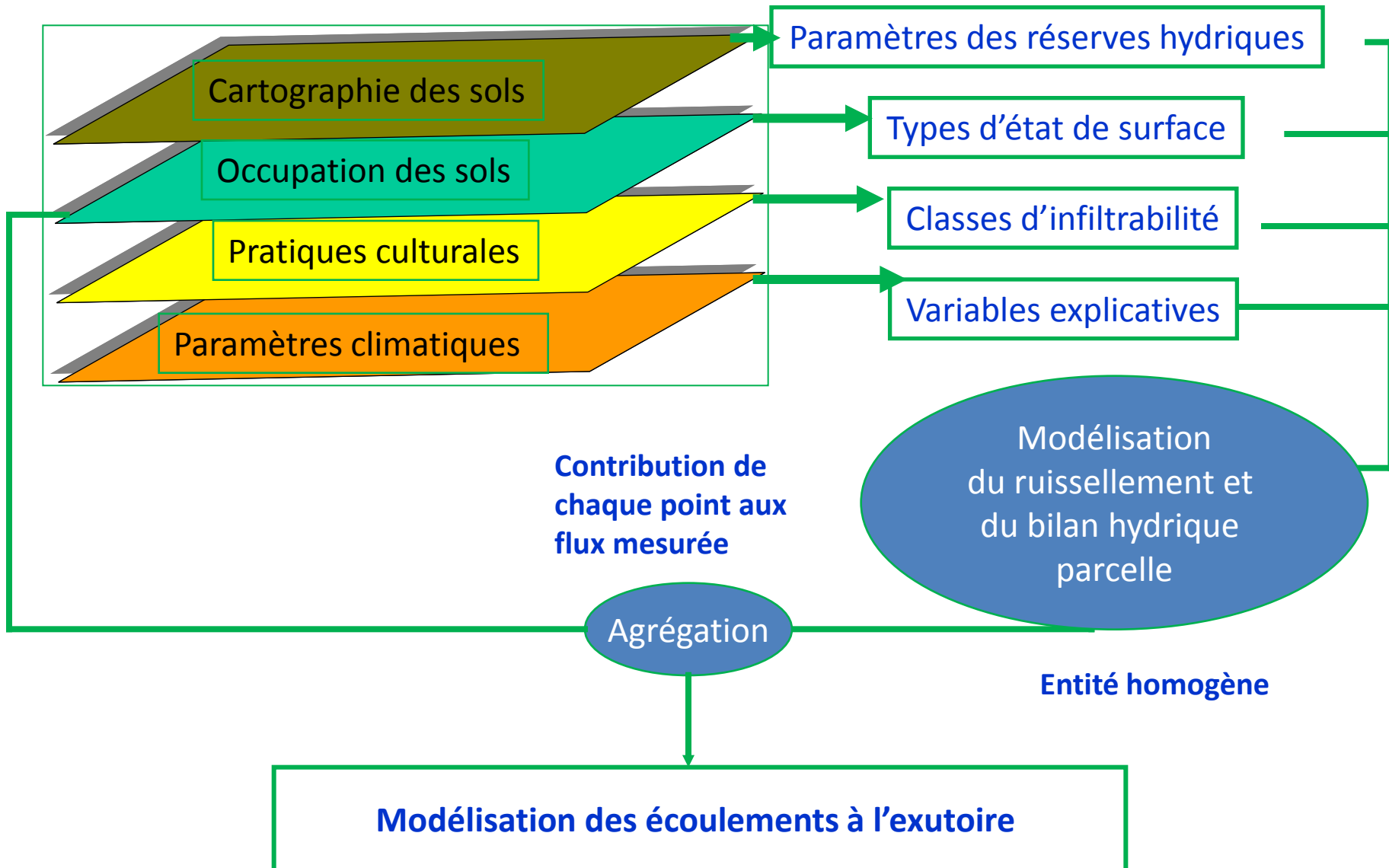
- ❖ La communication des résultats

Cartes, tableaux chiffrés

Systeme d'Information Géographique

Modélisation des écoulements à l'exutoire d'un bassin versant

Segmentation de la zone d'étude selon les critères constitutifs de l'indicateur spatialisé



3-Choix d'indicateurs selon les échelles spatiotemporelles

Evaluer les résultats des politiques agricoles sous l'angle de durabilité,
la situation de l'agriculture,
les impacts sur l'environnement
favoriser l'aide à la décision

Diagnostics

Zonages

Suivi d'actions

Représentent à partir de données simples et accessibles des phénomènes complexes

Simple ou composites

Construits à une échelle temporelle et spatiale donnée

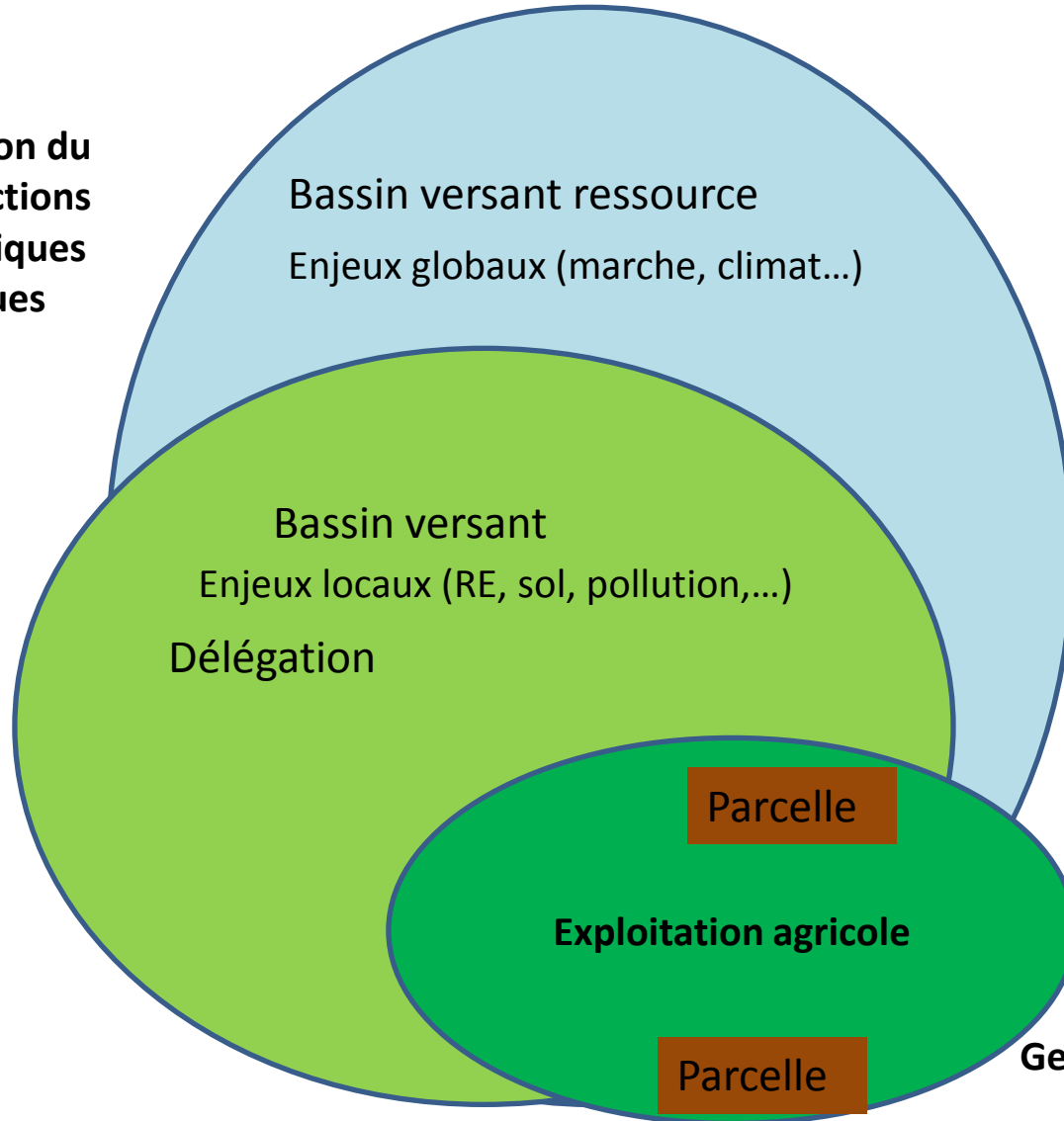
Peuvent être spatialisés

Les indicateurs doivent fournir une information sur la question traitée (effet des pratiques agricoles sur les rendements de cultures, ruissellement, érosion),

Importance de disposer de l'information sur la qualité prédictive des indicateurs,
Capacité des indicateurs de rendre compte des effets

Besoin d'une aide à la décision à différentes échelles spatiales, à savoir pour l'enjeu gestion de l'eau, de la parcelle au grand bassin versant

Lien avec l'organisation du paysage et les interactions des facteurs biophysiques et socioéconomiques

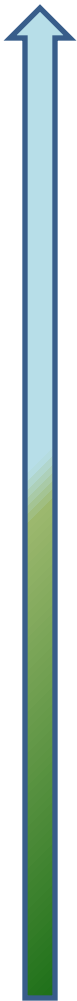


Niveau d'organisation administratif (données statistiques)

Approche analytique et modélisation

Etude des processus et des interactions du milieu physique

Suivi, analyse et modélisation



Stabilité de l'échelle étudié dans le temps

(événement pluvieux, saison, année, ...)

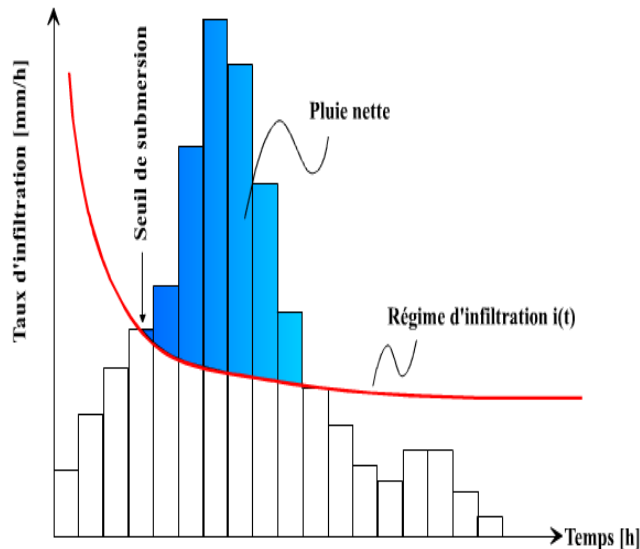
Gestion de la production agricole

Exemples d'indicateurs

- 1- Ruissellement / infiltration,
- 2- Humidité dans la zone racinaire sur les périodes critiques du cycles de cultures,
- 3- Volumes d'eau dans les barrages
- 4- Productivité de l'eau

Ruissellement / infiltration

L'infiltration dépend de plusieurs facteurs : la quantité et l'intensité de la pluie, la nature du sol, l'état de saturation du sol, l'état de surface du sol



$$i(t) = i_f + (i_o - i_f) e^{-at}$$

$i(t)$: capacité d'infiltration au cours du temps [cm/s]

i_o : capacité d'infiltration initiale [cm/s]

i_f : capacité d'infiltration finale [cm/s]

a : constante fonction de la nature du sol [min^{-1}]

Ruissellement / infiltration

➤ L'indice d'Humidité (IH), Indice de Précipitations Antérieures (IPA) : paramètre permettant de caractériser l'état de saturation du terrain juste après une précipitation, puisque de cet état de saturation, dépendra la fraction de la pluie qui s'infiltrera et sera perdue par ruissellement.

IH(t) : indice d'humidité au jour t

P_1 : hauteur de pluie tombée le jour précédent

P_2 : hauteur de pluie tombée deux jours avant

a_i : correspond à la manière dont la précipitation intervient pour définir la saturation du terrain dans son effet sur le ruissellement.

$$IH(t) = (IH(t-1) + P(t-1)) e^{-aT}$$

T est la durée entre deux pluies successives de rang t et t-1

Ruissellement / infiltration

➤ Le coefficient de ruissellement : rapport volume ruisselée sur un bassin au cours d'une averse au volume précipitée de cette averse.

$$Kr = \frac{Lr}{Pmoy} = \frac{Vr}{S * Pmoy}$$

Kr : coefficient de ruissellement en %

Ruissellement / infiltration

Etats de surface (sol, végétation, labour, évaluation qualitative)



Very crusted soil (très faible)

Crusts 60-80%
Cracks 0%
Clods>2cm 0-20%



Crusted soil with few craks

40-60%
0-10%
20-40%



Crusted soil with some craks

40-60%
10-20%
20-40%



Moderatly crusted soil with many craks

Crusts 20-40%
Cracks 20-30%
Clods>2cm 0-20%



Superficially tilled soil

10-20%
0-5%
40-60%



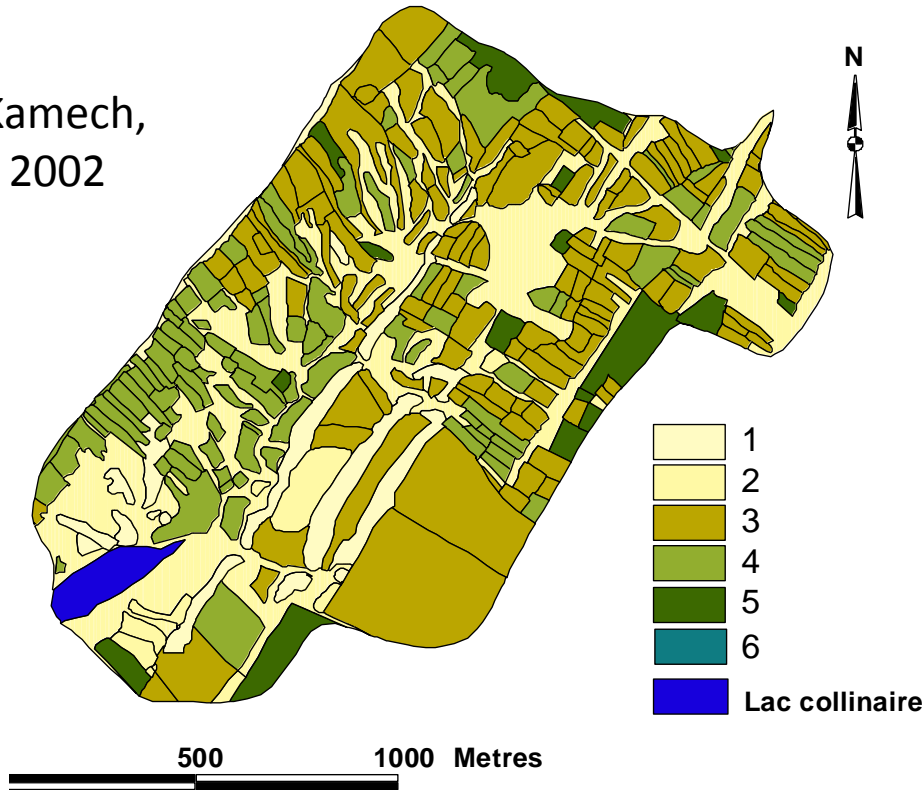
Deeply tilled soil (très forte)

0-10%
0-5%
60-80%

Ruissellement / infiltration

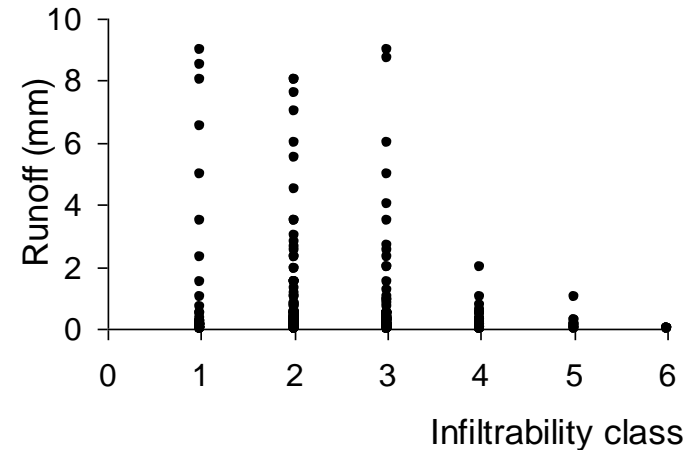
Etats de surface (sol, végétation, labour, évaluation qualitative)

B.V. Kamech,
hiver 2002



-hétérogénéité des pratiques culturelles et des itinéraires techniques,

-hétérogénéité consécutive des états de surface et de l'infiltrabilité des sols

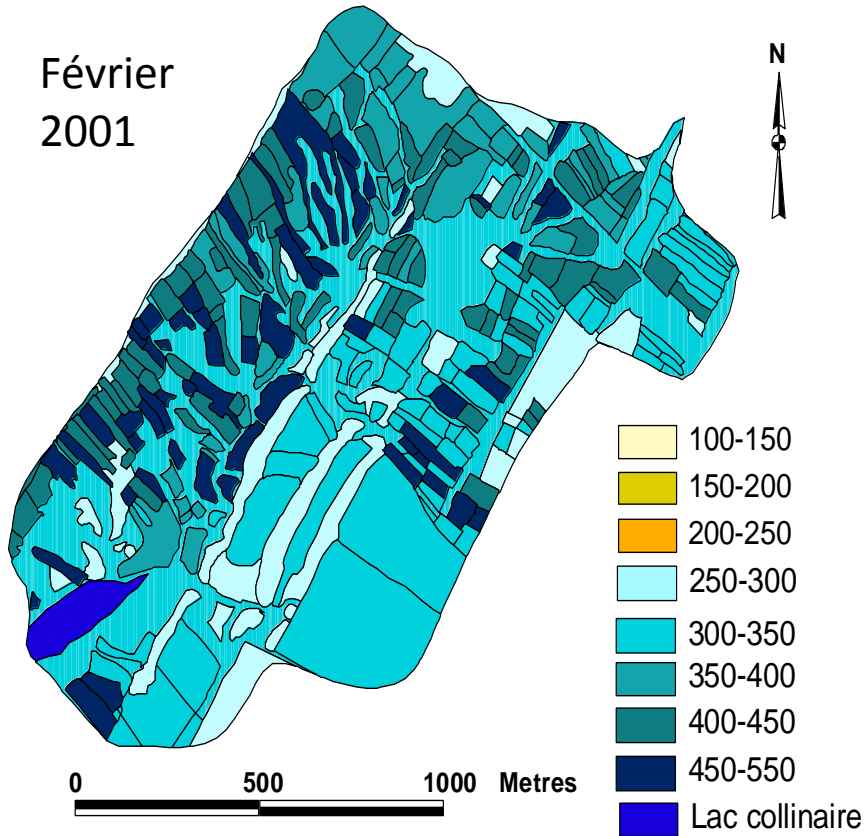


Indicateur spatialisé (classe d'infiltrabilité)

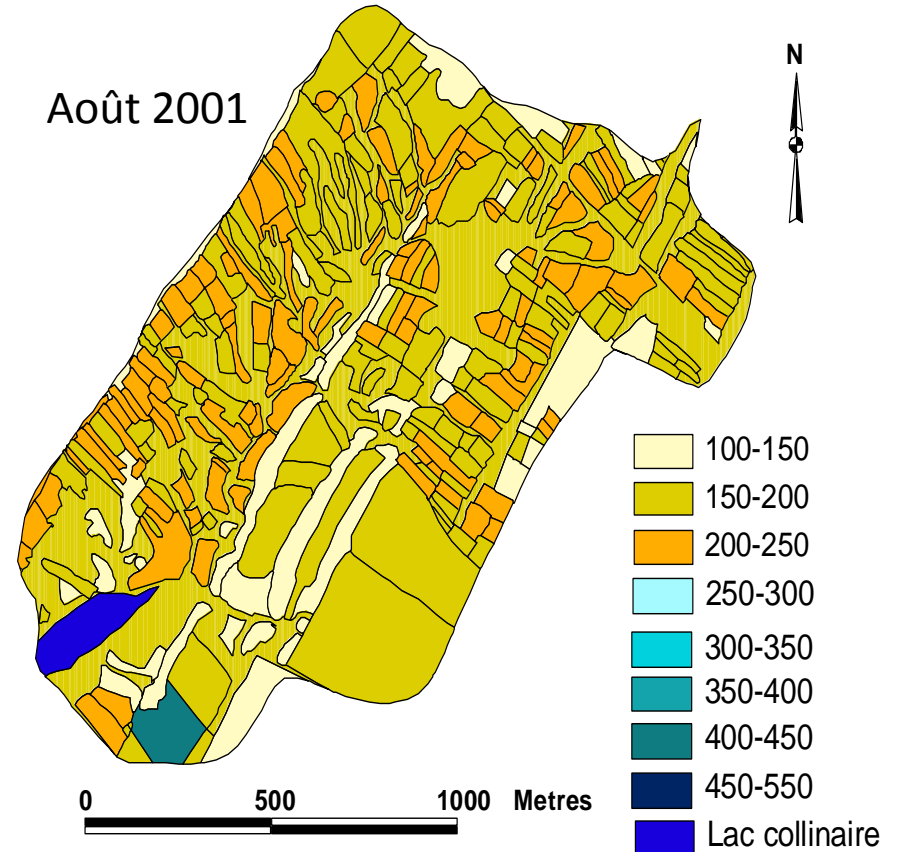
(Mekki et al., 2006)

Humidité dans la zone racinaire sur les périodes critiques de cycles de cultures, Efficiéce d'utilisation des eaux pluviales (pluie efficace)

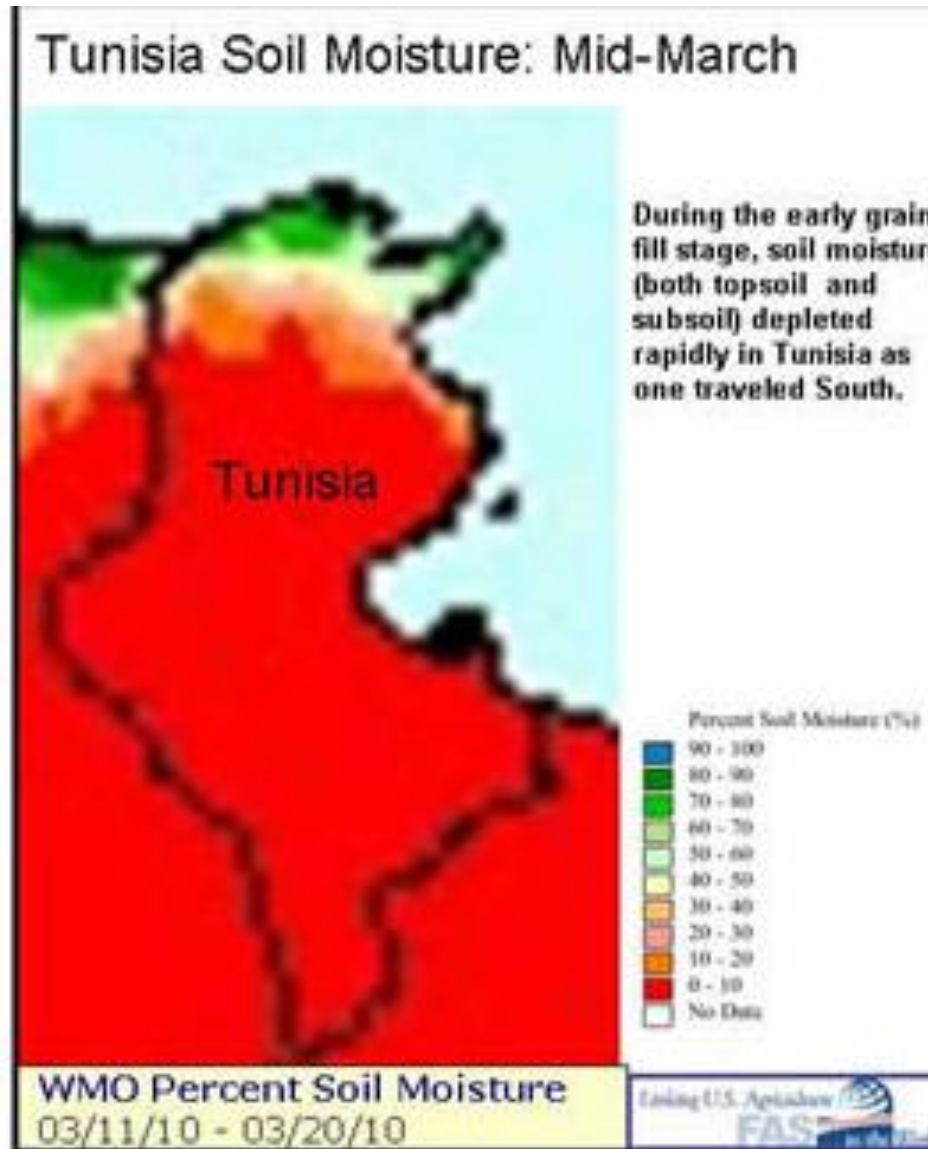
Février 2001



Août 2001



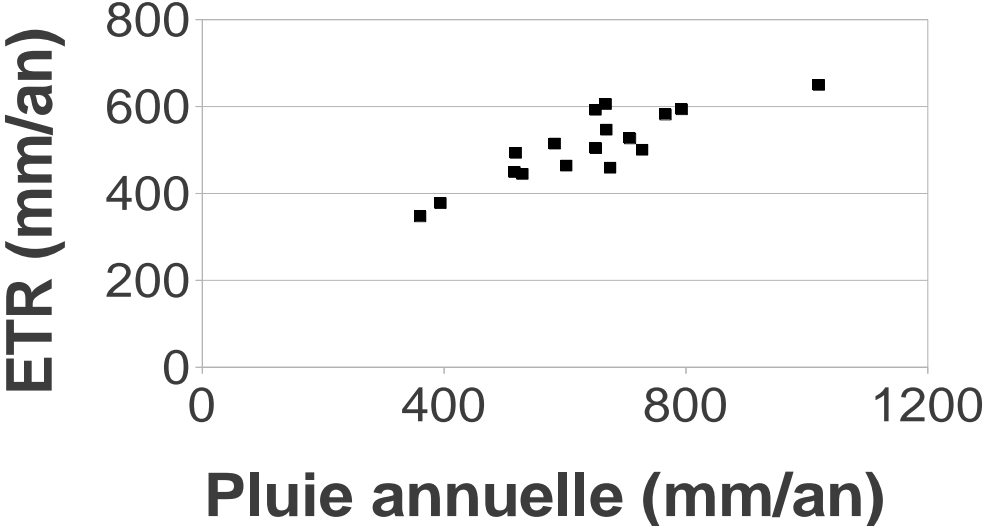
Humidité dans la zone racinaire sur les périodes critiques de cycles de cultures, Efficience d'utilisation des eaux pluviales (pluie efficace)



-Indicateur de stress hydrique (% de remplissage du réservoir sol) au mois de mars pendant le stade de début de remplissage des graines pour les cultures céréalières.

-Variabilité spatiale selon les étages bioclimatiques.

**Humidité dans la zone racinaire sur les périodes critiques de cycles de cultures,
Efficience d'utilisation des eaux pluviales (pluie efficace)**



Humidité dans la zone racinaire sur les périodes critiques de cycles de cultures, Efficience d'utilisation des eaux pluviales (pluie efficace)

Efficience d'utilisation de l'eau (WUE)

La capacité d'utiliser de l'eau pour produire de la biomasse végétale exprimée en Kg /m³ d'eau évapotranspirée

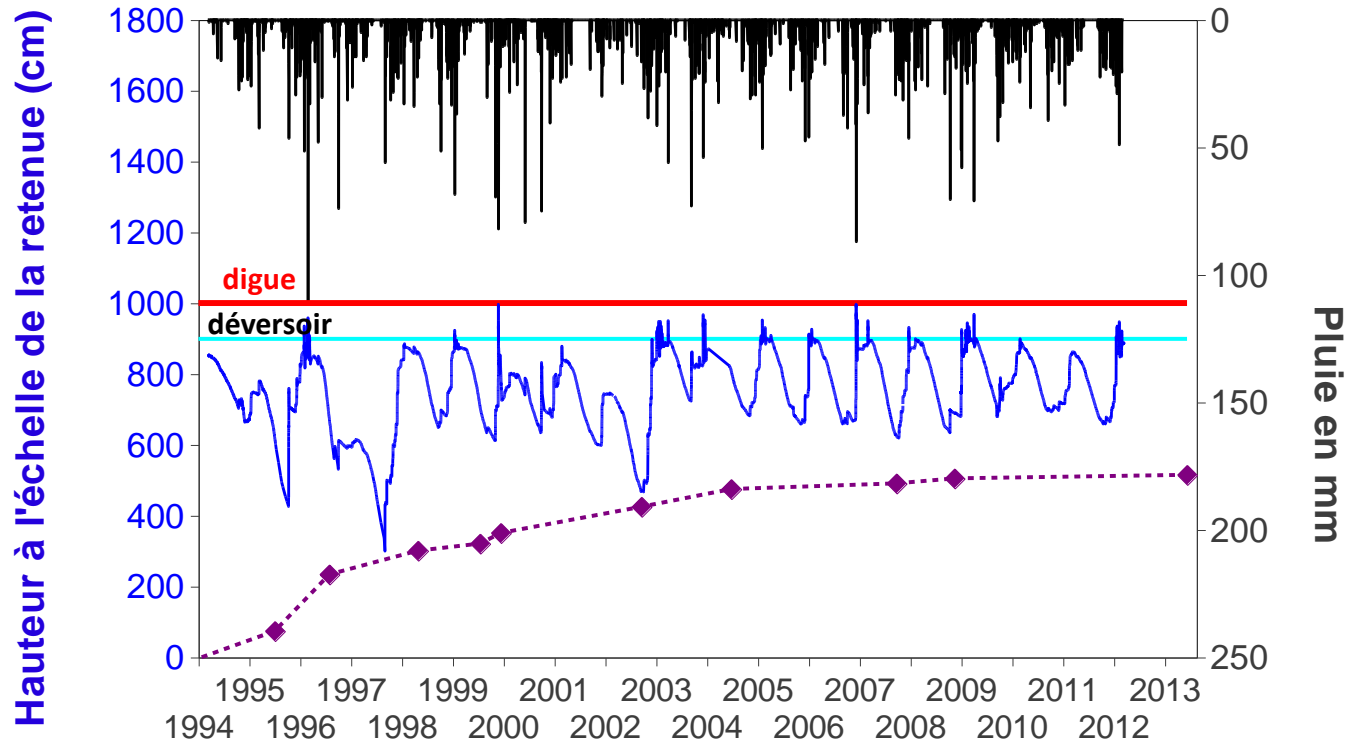
Chaque système de production a un potentiel différent de l'efficience d'utilisation de l'eau

Produit	Unité	Equivalent en eau en m ³ par unité
Bovins	tête	4000
Moutons et chèvres	tête	500
Céréales	kg	1.5
Légumineuses, racines et tubercules	kg	1

(FAO, 1997a)

Volumes d'eau dans les barrages

Perte en capacité de stockage en lien avec la sédimentation du lac collinaire Kamech

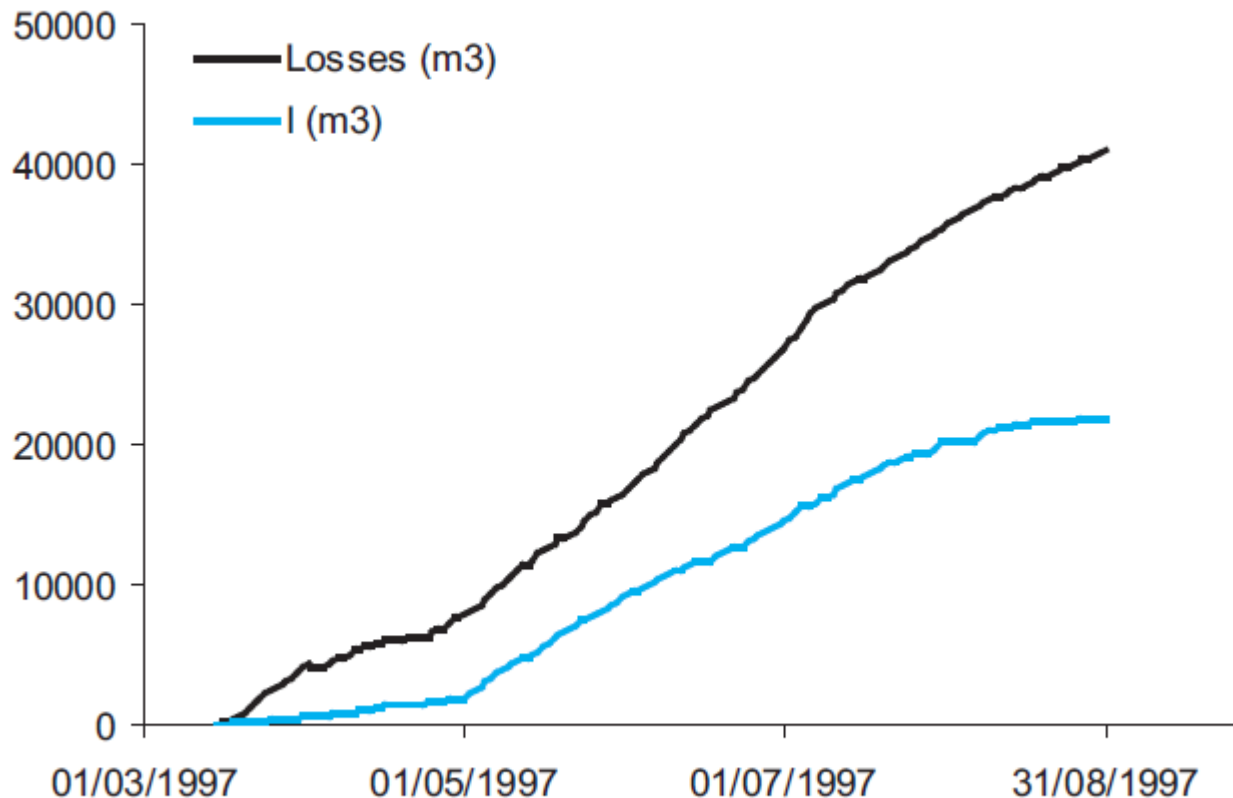


Pluie, sédimentation et niveau d'eau mesurés dans le lac de Kamech depuis 1994 (le débit entrant dans le lac est dérivé de ces informations)

ORE OMERE,

Volumes d'eau dans les barrages

Perte en eaux cumulée et prélèvement pour l'irrigation dans le lac collinaire Kamech



(Ben Mechlia et al., 2008)

Productivité de l'eau

Augmentation des revenus (augmentation des rendements)

Chaque système de culture a un potentiel différent de l'efficacité d'utilisation de l'eau

Table 3. Yields of major crops in Q/ha and bale for the oat-vetch and gross margins as estimated by farmers during 1994-98.

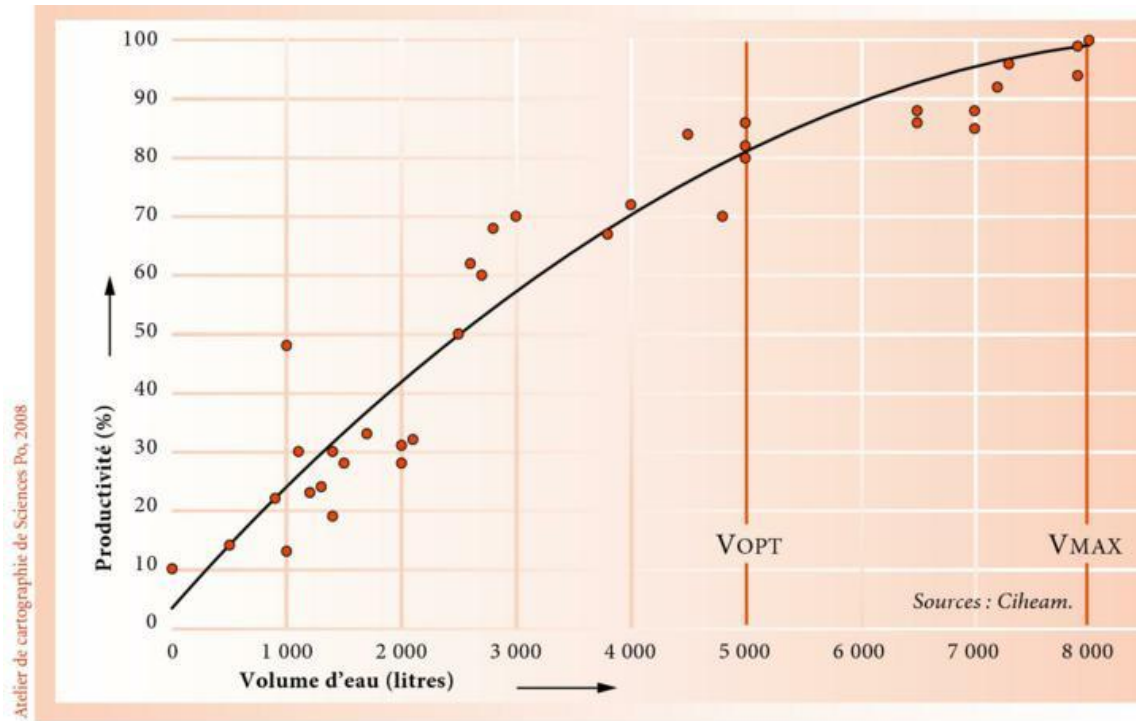
	durum wheat	Barley	Faba bean	Chickpea	Oats-vetch
Yield	15.6	17.1	13.3	9.5	128
Gross product	594	393	532	759	472
Variable cost	235	170	226	244	225
Gross margin	359	223	307	515	247

(Ben Mechlia et al., 2008)

Productivité de l'eau

Augmentation des revenus (augmentation des rendements)

Chaque système de culture a un optimum de l'efficacité d'utilisation de l'eau



(FAO, 1997a)

Conclusion

Multi-fonctionnalité des agrosystèmes pluviaux,

Production agricole,

Production d'eau,

Préservation des sols et des eaux,

Les indicateurs aident à montrer les effets directs ou indirects opérés dans les agrosystèmes pluviaux en contextes climatique et socioéconomique changeants,

La sélection des indicateurs doit tenir compte des caractéristiques des agrosystèmes et des éléments à considérer pour juger de leurs performances,

Le choix d'indicateurs dépend du niveau d'agrégation dans le temps et dans l'espace,

C'est la combinaison des indicateurs au sein d'une échelle de durabilité qui caractérise l'évaluation des agrosystèmes pluviaux,

Plusieurs outils peuvent être mobilisés pour la conception d'indicateurs.