

Méthodes d'analyse intégrée pour la conception de nouveaux modes de gestion des ressources en eau dans les agrosystèmes pluviaux méditerranéens

Equipe projet ANR ALMIRA Tunisie / Maroc / France

<http://www.almira-project.org>

Equipe LMI NAILA Tunisie

<http://www.lmi-naila.com>



Objectifs du cours



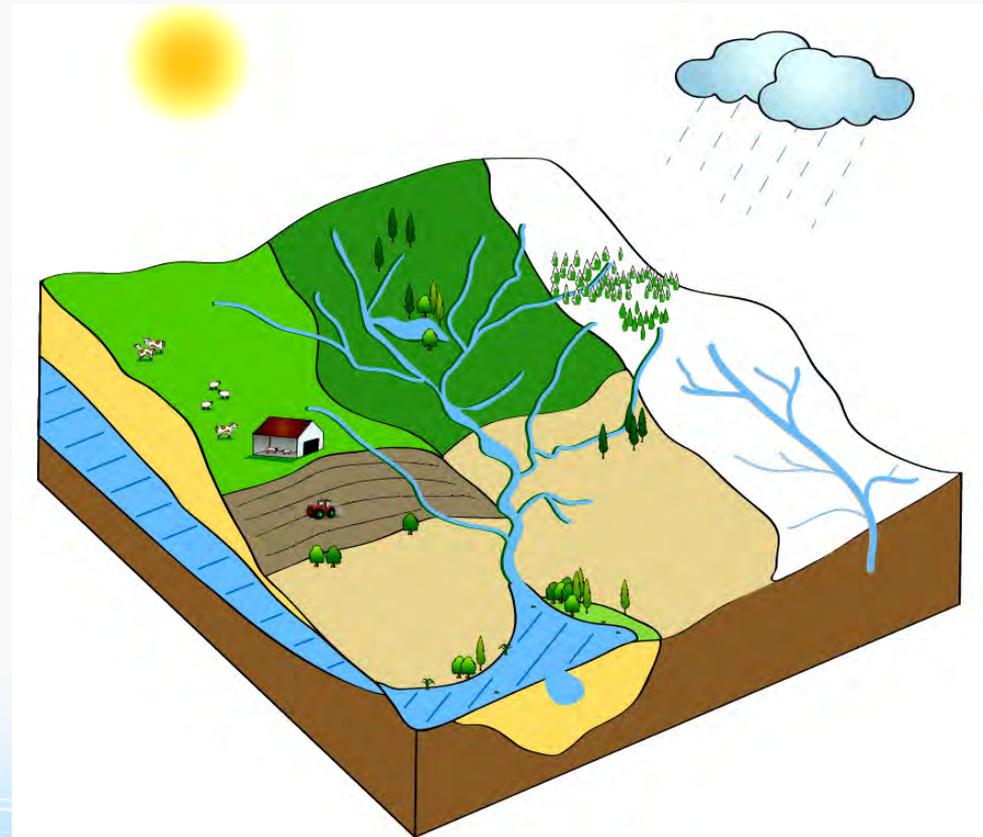
- Gestion des ressources en eau
 - Multiples acteurs → établissement de compromis

- Production biomasse amont

- limitation ruissellement
- utilisation intrants

- Alimentation barrage aval

- maximisation débit exutoire
- préservation qualité



Objectifs du cours



■ Gestion des ressources en eau

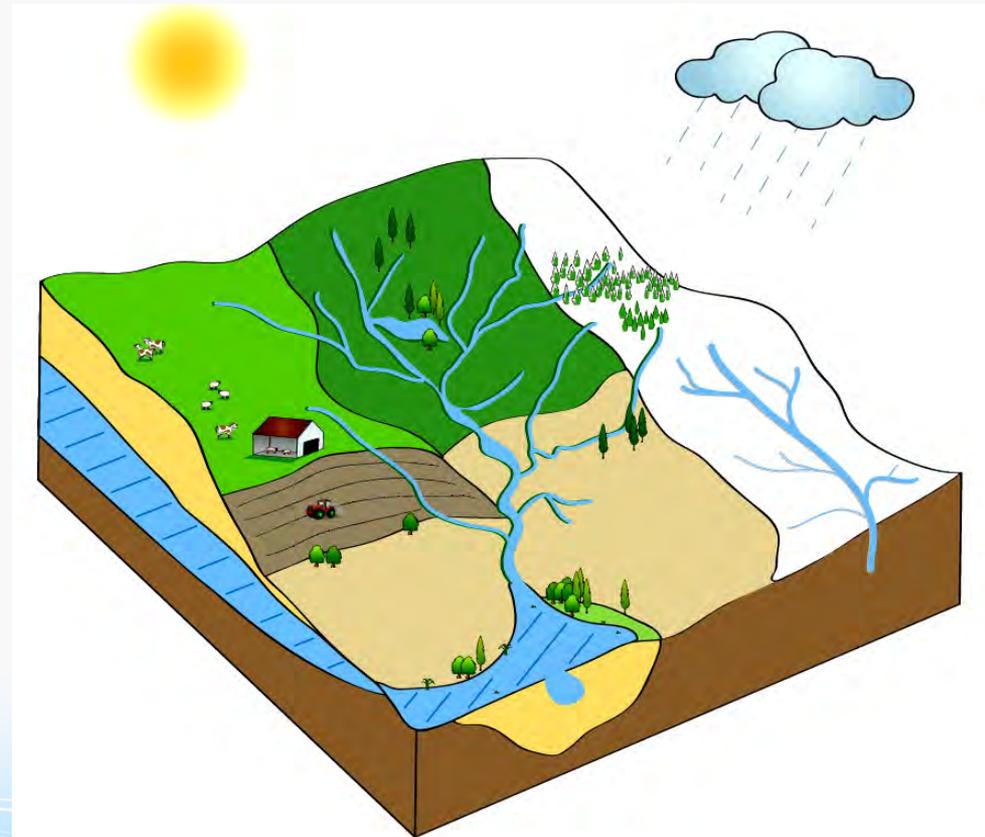
- Multiples acteurs → établissement de compromis
- Multiples processus → approches intégrées

■ Actions agriculteurs

- occupation du sol
- entretien du sol
- intrants

■ Actions gestionnaires

- infrastructures
- pratiques exploitants



Objectifs du cours



■ Gestion des ressources en eau

- Multiples acteurs → établissement de compromis
- Multiples processus → approches intégrées

■ Actions agriculteurs

- occupation du sol
- entretien du sol
- intrants

■ Actions gestionnaires

- infrastructures
- pratiques exploitants

■ Compartiments

- parcelles agricoles / zone racinaire
- aquifères superficiels
- infrastructures (lacs, fossés...)

Objectifs du cours



■ Gestion des ressources en eau

- Multiples acteurs → établissement de compromis
- Multiples processus → approches intégrées

■ Actions agriculteurs

- occupation du sol
- entretien du sol
- intrants

■ Actions gestionnaires

- infrastructures
- pratiques exploitants

■ Compartiments

- parcelles agricoles / zone racinaire
- aquifères superficiels
- infrastructures (lacs, fossés...)

■ Production agricole

- croissance végétale
- extraction eau / évapotranspiration

■ Transports matière

- flux hydriques
- sédiments / molécules

Objectifs du cours



- Gestion des ressources en eau
 - Multiples acteurs → établissement de compromis
 - Multiples processus → approches intégrées
- Proposer une vue d'ensemble incluant
 - les problématiques impliquées
 - les connexions entre ces problématiques



■ Production biomasse amont

- limitation ruissellement
- utilisation intrants



■ Alimentation barrage aval

- maximisation débit exutoire
- préservation qualité

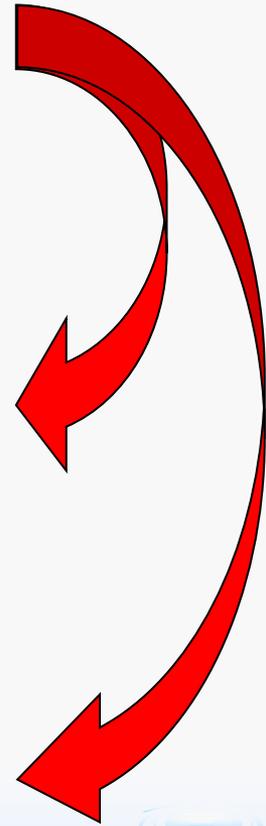
Objectifs du cours



- Gestion des ressources en eau
 - Multiples acteurs → établissement de compromis
 - Multiples processus → approches intégrées

- Proposer une vue d'ensemble incluant
 - les problématiques impliquées
 - les connexions entre ces problématiques

- Application finalisée
 - concevoir de nouveaux modes de gestion
 - ressources en eau / agrosystèmes pluviaux



Définitions



- Méthodes d'analyse intégrée pour la conception de nouveaux modes de gestion des ressources en eau dans les agrosystèmes pluviaux



Définitions



- Méthodes d'analyse intégrée (4)
pour la conception de
nouveaux modes de gestion (3)
des ressources en eau (2)
dans les agrosystèmes pluviaux (1)

Définitions



- Méthodes d'analyse intégrée (4)
pour la conception de
nouveaux modes de gestion (3)
des ressources en eau (2)
dans les **agrosystèmes pluviaux** (1)



Définitions : agrosystèmes pluviaux



■ Agrosystèmes pluviaux au Maghreb

- Pas d'irrigation: eau fournie par la pluie
- Cultures en secs :
 - céréales, légumineuses, oléagineux, oliviers, vignes
 - parcours pour l'élevage
- Agriculture extensive moins d'intrants (phytosanitaires)
- Peu de cultures à fortes valeurs ajoutées (e.g. maraîchages)
- **IMPORTANCE**
 - 60% de la production alimentaire mondiale
 - marge de manœuvre importante (selon FAO)

Objectifs du cours



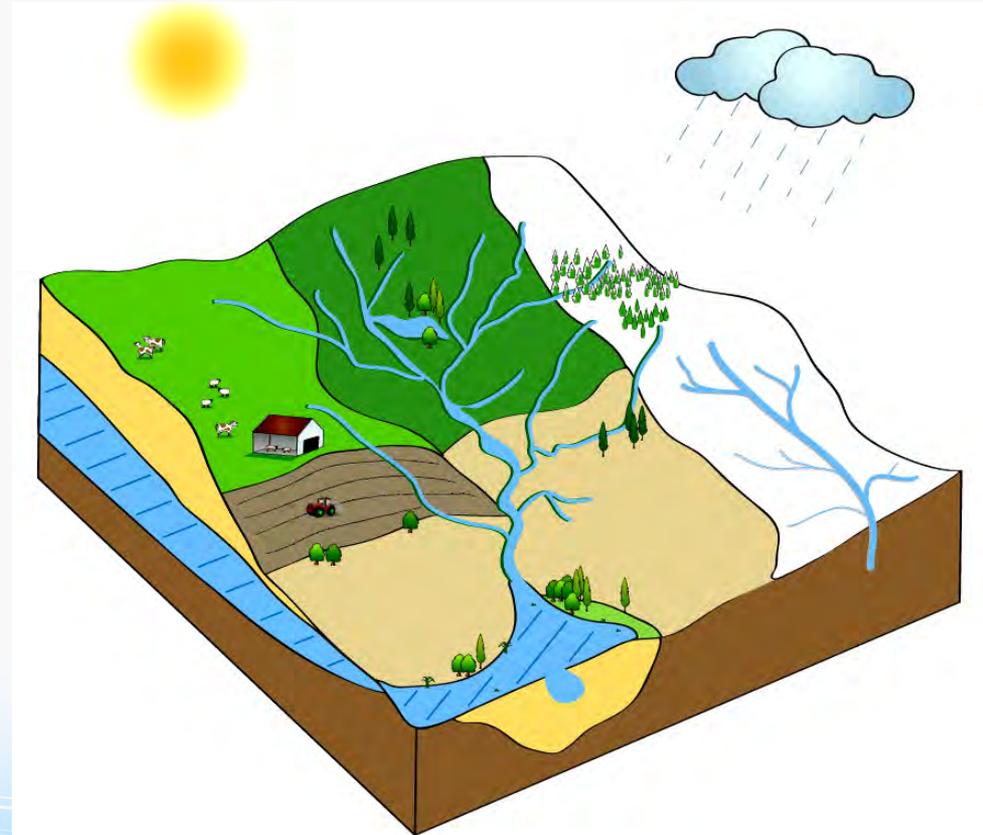
■ Agrosystèmes pluviaux au Maghreb

■ Actions agriculteurs

- occupation du sol
- entretien du sol
- intrants

■ Actions gestionnaires

- infrastructures
- pratiques exploitants



Définitions



- Méthodes d'analyse intégrée (4)
pour la conception de
nouveaux modes de gestion (3)
des **ressources en eau** (2)
dans les agrosystèmes pluviaux (1)

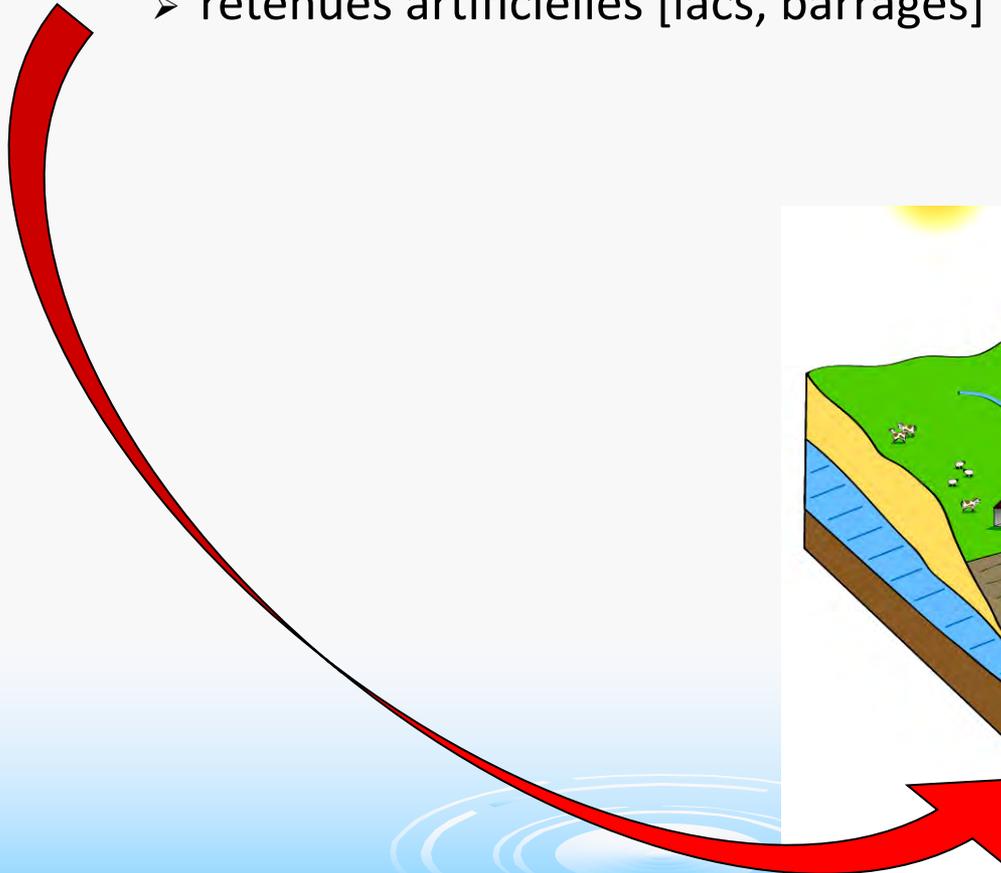
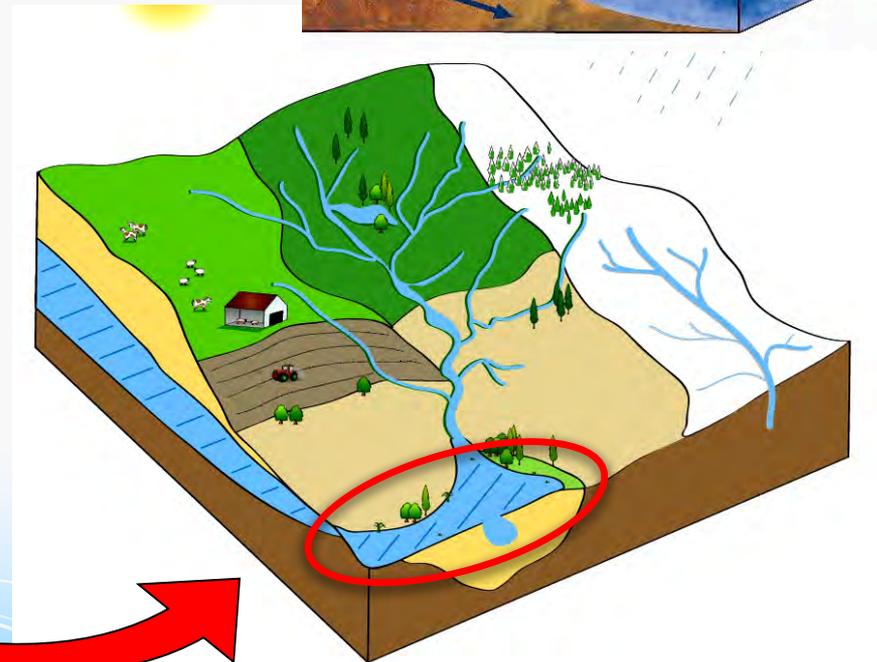
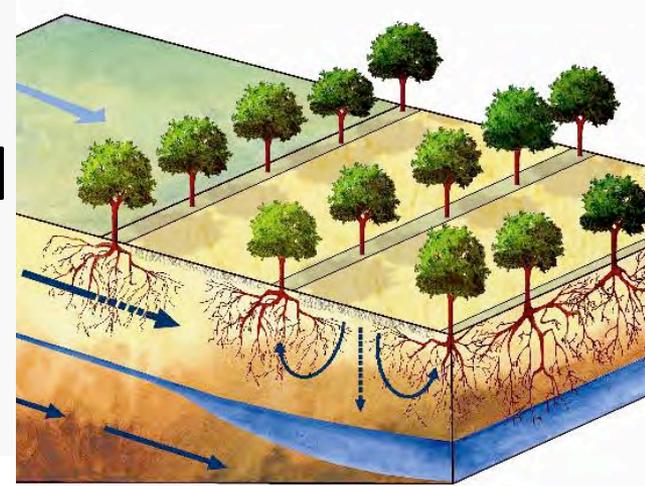
Définitions : ressources en eau



© agroforesterie.org

■ Ressources en eau

- Dimension spatiale [compartiments]
 - retenues artificielles [lacs, barrages]



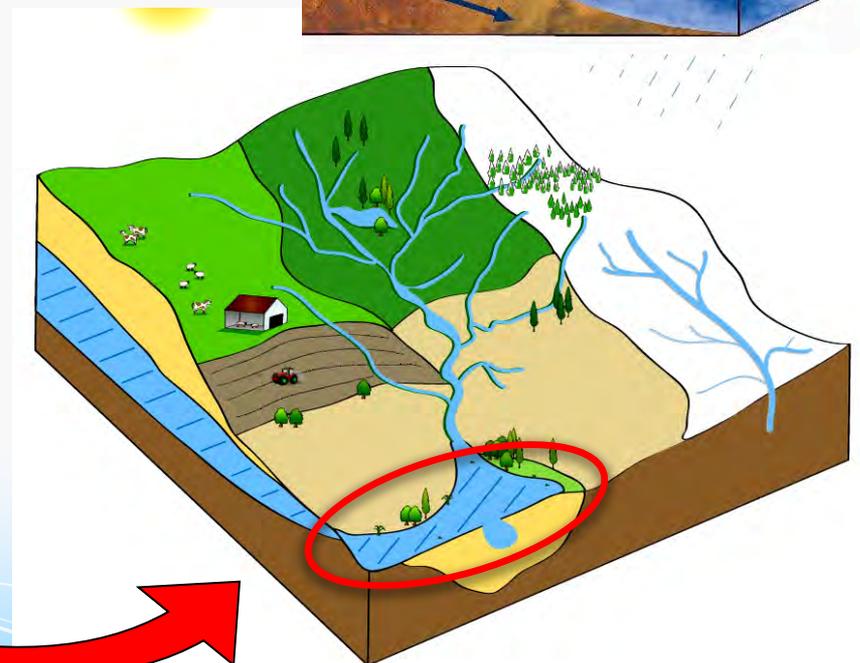
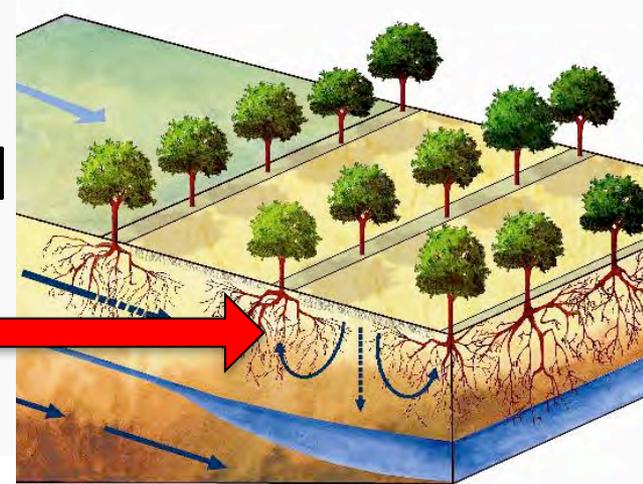
Définitions : ressources en eau



© agroforesterie.org

■ Ressources en eau

- Dimension spatiale [compartiments]
 - retenues artificielles [lacs, barrages]
 - zone racinaire



Définitions : ressources en eau

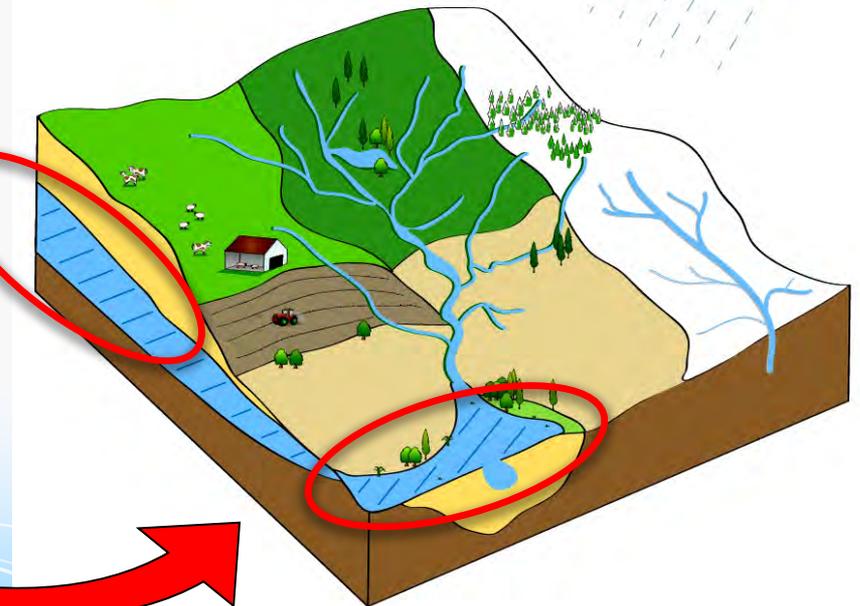
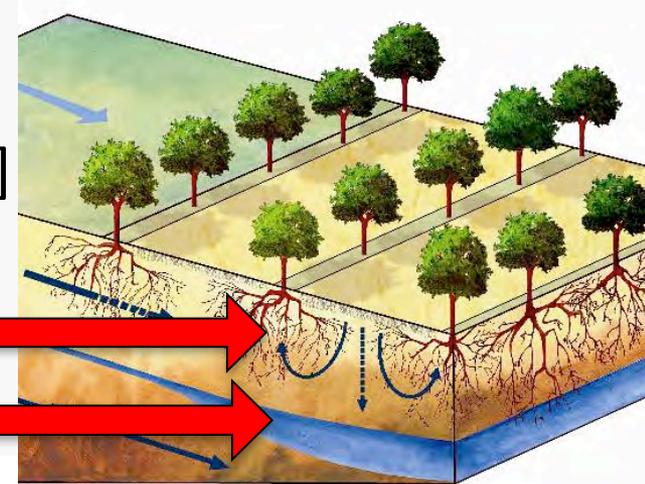


© agroforesterie.org

■ Ressources en eau

- Dimension spatiale [compartiments]

- retenues artificielles [lacs, barrages]
- zone racinaire
- nappes superficielles



Définitions : ressources en eau



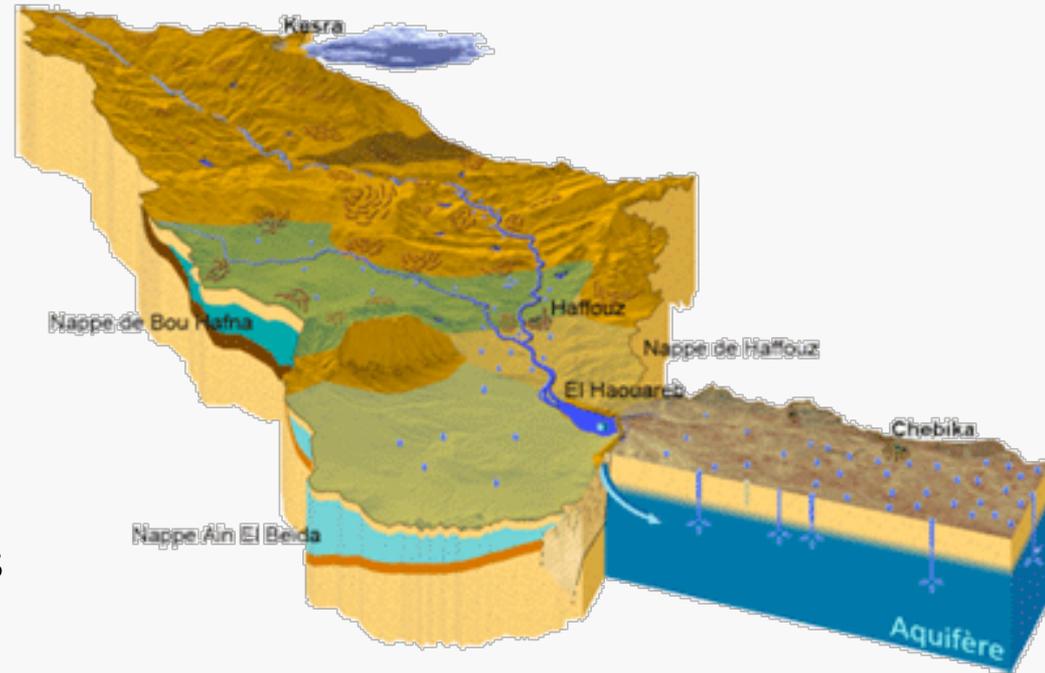
■ Ressources en eau

- Dimension spatiale

- retenues artificielles
- zone racinaire
- nappes superficielles

- Dimension temporelle

- temps de transfert [pluies anciennes]



Définitions : ressources en eau



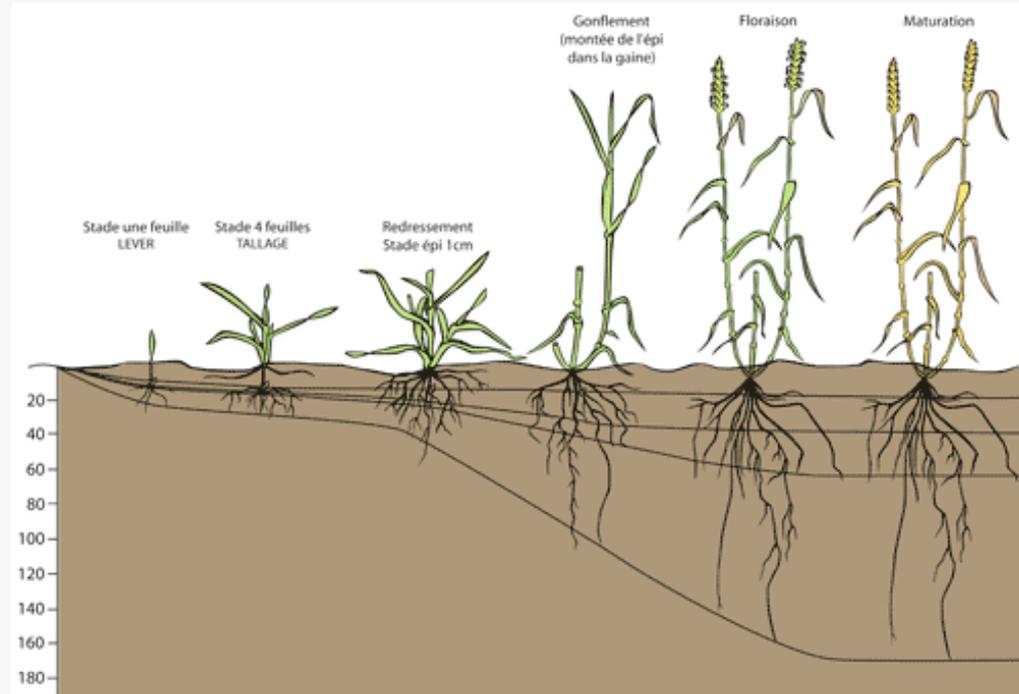
■ Ressources en eau

- Dimension spatiale

- retenues artificielles
- zone racinaire
- nappes superficielles

- Dimension temporelle

- temps de transfert [pluies anciennes]
- zone racinaire: périodes clés du cycle cultural



Définitions : ressources en eau



■ Ressources en eau

● Dimension spatiale

- retenues artificielles
- zone racinaire
- nappes superficielles



● Dimension temporelle

- temps de transfert [pluies anciennes]
- zone racinaire: périodes clés du cycle cultural
- retenues artificielles: périodes de stress hydrique

Définitions



- Méthodes d'analyse intégrée (4)
pour la conception de
nouveaux modes de gestion (3)
des ressources en eau (2)
dans les agrosystèmes pluviaux (1)

Définitions : modes de gestion



Parcelle ($\approx \frac{1}{2}$ hectare)
Stratégies exploitants

Unité spatiale



Exploitation
agricole

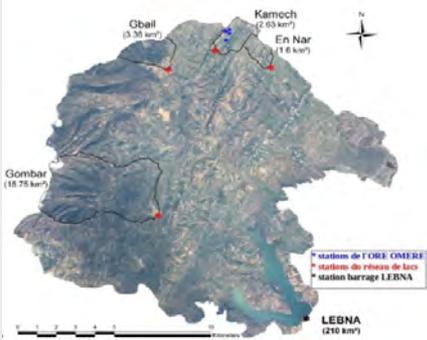


Paysage: arrangements
spatiaux, connectivités

Échelle intermédiaire



Ensemble d'exploitations
agricoles / gestionnaires



Région ($\approx 100 \text{ km}^2$)
Stratégies gestionnaires

Extension spatiale



Gestionnaires

Définitions : modes de gestion



Parcelle ($\approx \frac{1}{2}$ hectare)
Stratégies exploitants

Unité spatiale



Exploitation
agricole



Paysage: arrangements
spatiaux, connectivités

Échelle intermédiaire



Ensemble d'exploitations
agricoles / gestionnaires



Région ($\approx 100 \text{ km}^2$)
Stratégies gestionnaires

Extension spatiale



Gestionnaires

Définitions : modes de gestion



- Modes de gestion: échelle de la parcelle (ancien)
 - Modulation densité de semis → limiter le manque d'eau
 - Limitation semis tardifs
 - Variétés à cycles courts
 - Associations culturales → répartir l'extraction racinaire [temps / l'espace]

Définitions : modes de gestion



- Modes de gestion: échelle de la parcelle (ancien)
 - Entretien sol [labour/semis direct, enherbement, résidus)
 - moduler la partition ruissellement / infiltration
 - limiter la perte en eau par évaporation du sol
 - Infrastructures (terrasses, banquettes, fossés)
 - limiter le ruissellement
 - recharger la nappe superficielle

Définitions : modes de gestion



■ Modes de gestion: échelle de l'exploitation (ancien)

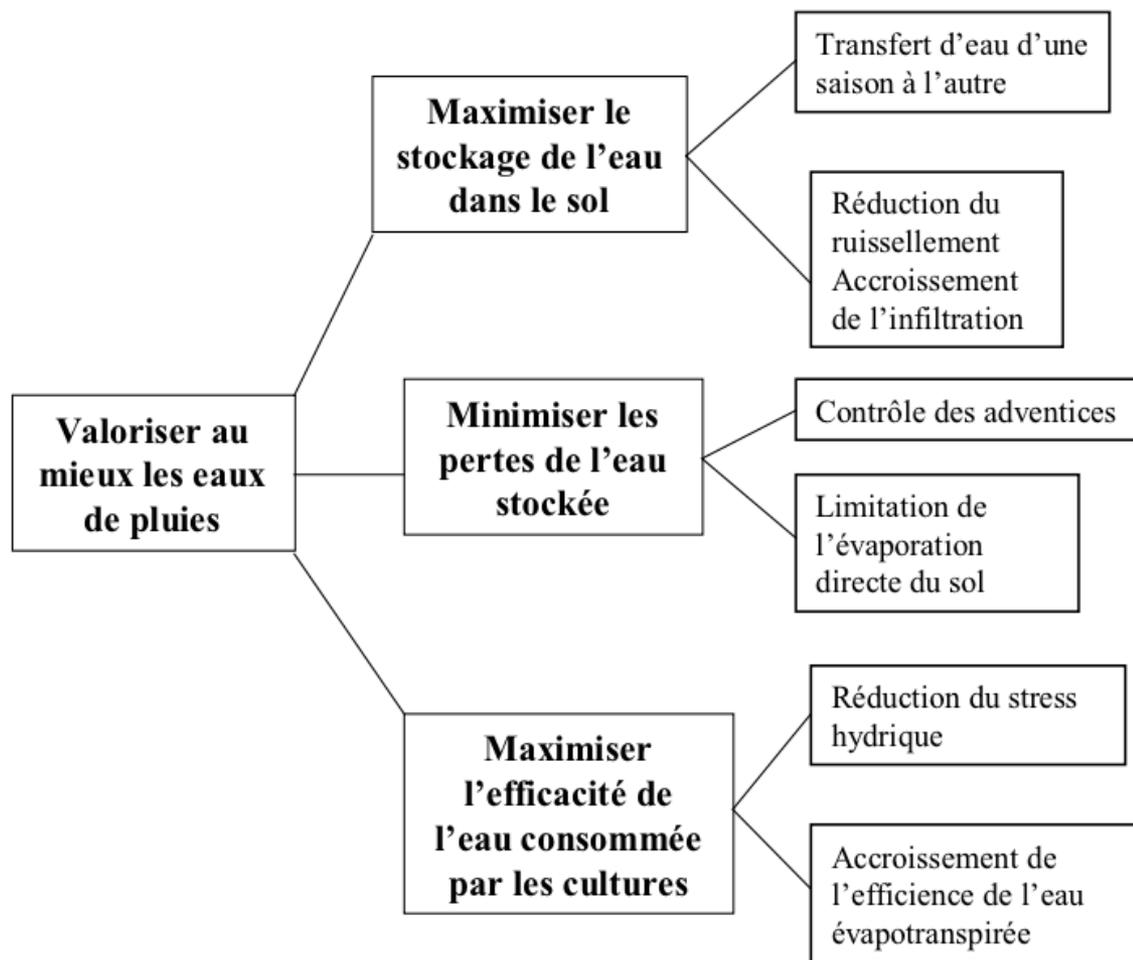
● Organisation travail

- gestion des semis en début de cycle
- lutte mécanique contre adventices (fèves, poids chiches)

● Modulation spatiotemporelle

- assolement
- rotations

Valorisation de l'eau en culture pluviale au Maghreb



- Précédent cultural
- Travail du sol en fin de cycle
- Jachère travaillée
- Couverture végétale

- Modification du modelé du sol
- Accroissement de la rugosité du sol
- Amélioration de l'état structural

- Desherbage chimique et mécanique

- Choix variétal
- Longueur et place du cycle

- Calage optimum du cycle cultural, *semis précoce*
- Densité du peuplement
- Amélioration de l'enracinement profondeur, densité
- Fertilité du sol – fertilisation
- Contrôle des maladies et parasites

Définitions : modes de gestion



Parcelle ($\approx \frac{1}{2}$ hectare)
Stratégies exploitants

Unité spatiale



Exploitation
agricole

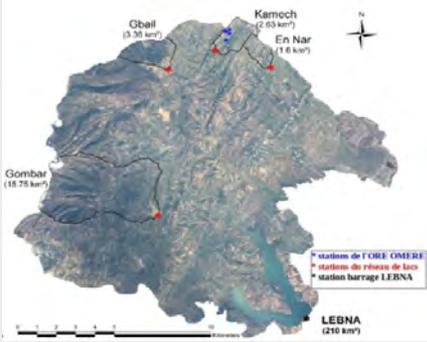


Paysage: arrangements
spatiaux, connectivités

Échelle intermédiaire



Ensemble d'exploitations
agricoles / gestionnaires



Région ($\approx 100 \text{ km}^2$)
Stratégies gestionnaires

Extension spatiale



Gestionnaires

Définitions : modes de gestion



- Modes de gestion: échelle du territoire (ancien)
 - Aménagements pour
 - recharges des nappes
 - épandage des eaux de crues
 - fourniture des périmètres irrigués
 - Renforcement capacités
 - formation
 - conseil technique

Définitions : modes de gestion



- Modes de gestion: échelle du territoire (ancien)
 - Pratiques exploitants
 - plan Maroc vert → sécurisation / intensification / conversion
 - PAC → jachères
 - viticulture : enherbement, haies

Définitions : modes de gestion



Parcelle ($\approx \frac{1}{2}$ hectare)
Stratégies exploitants

Unité spatiale



Exploitation
agricole



Paysage: arrangements spatiaux, connectivités

Échelle intermédiaire



Ensemble d'exploitations
agricoles / gestionnaires



Région ($\approx 100 \text{ km}^2$)
Stratégies gestionnaires

Extension spatiale



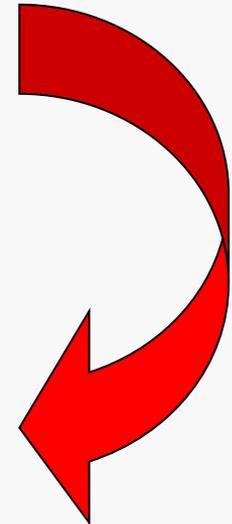
Gestionnaires



Définitions : modes de gestion



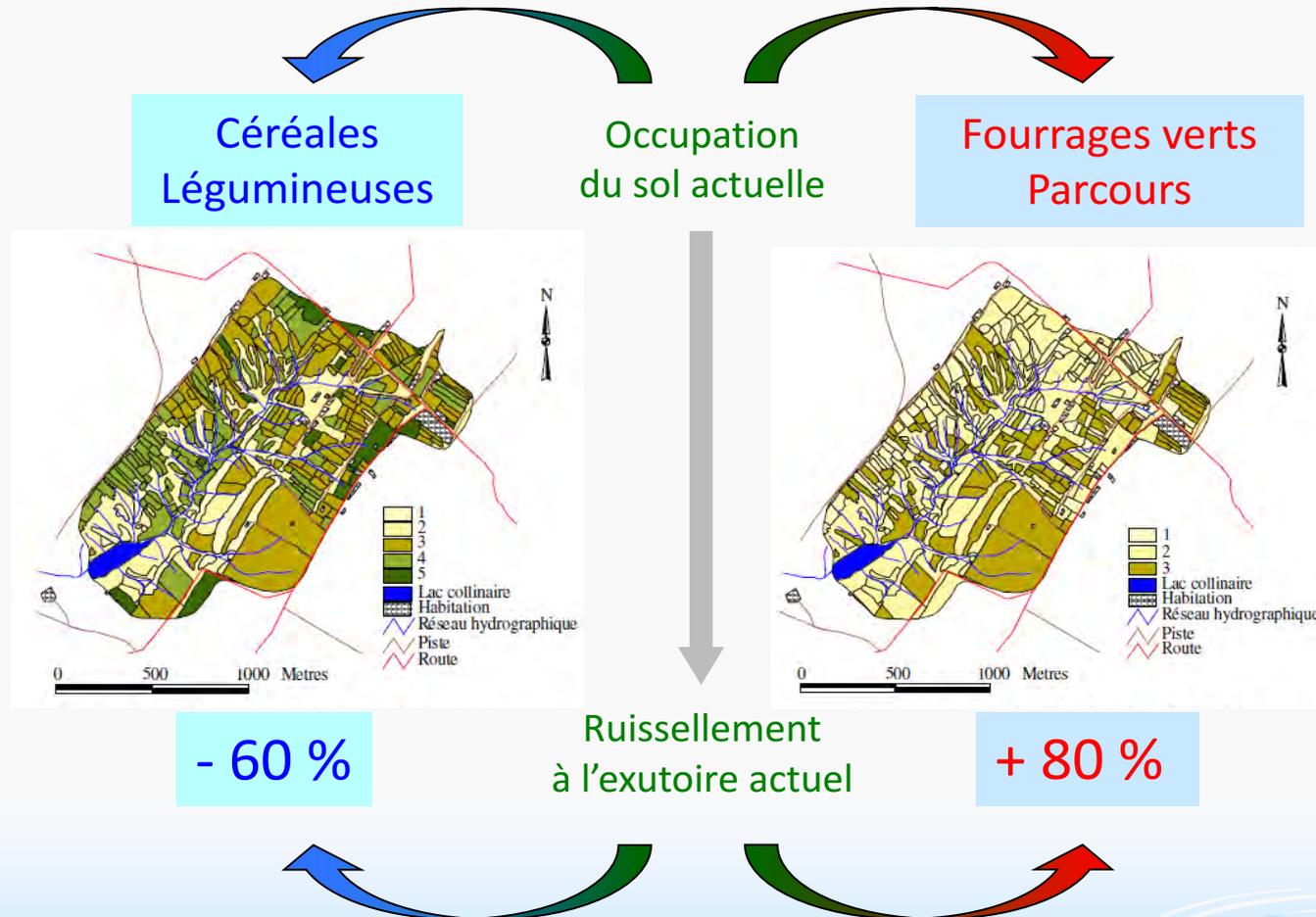
- Modes de gestion: échelle du paysage (récent)
 - Localisation spatiale des infrastructures
 - Densité
 - Tailles
 - Modulation spatiale
 - de l'occupation du sol
 - des pratiques agricoles
 - Gestion des connectivités pour
 - limiter le ruissellement amont
 - recharger les nappes
 - Ensemble d'exploitations



Définitions : modes de gestion



- Modes de gestion: échelle du paysage (récent)



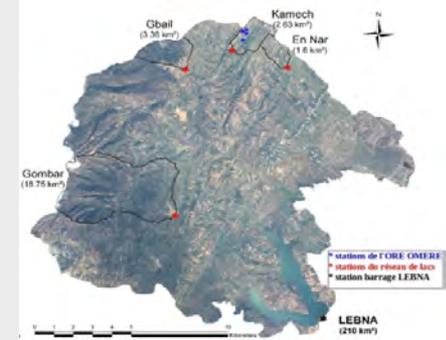
Définitions : modes de gestion



Parcelle ($\approx \frac{1}{2}$ hectare)
Stratégies exploitants



Paysage: arrangements spatiaux, connectivités



Région ($\approx 100 \text{ km}^2$)
Stratégies gestionnaires

Unité spatiale

Échelle intermédiaire

Extension spatiale

Articulation multi-échelle (nouveau)

Exploitation agricole

Ensemble d'exploitations agricoles

Gestionnaires

Définitions : modes de gestion



- Modes de gestion: acteurs / temporalités
 - Exploitants agricoles : quelques années
 - adaptation de l'organisation du travail
 - pérennité économique
 - Gestionnaires : quelques décennies
 - durée de vie des infrastructures hydrauliques
 - stratégie d'adaptation au changement climatique

Définitions



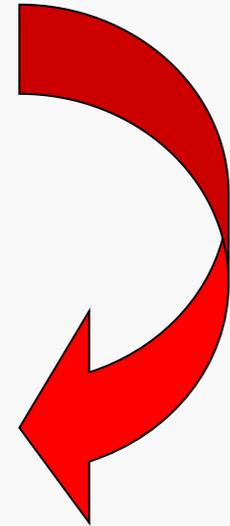
- Méthodes d'analyse intégrée ④
pour la conception de
nouveaux modes de gestion ③
des ressources en eau ②
dans les agrosystèmes pluviaux ①

Définitions : analyse intégrée



■ Approches systémiques

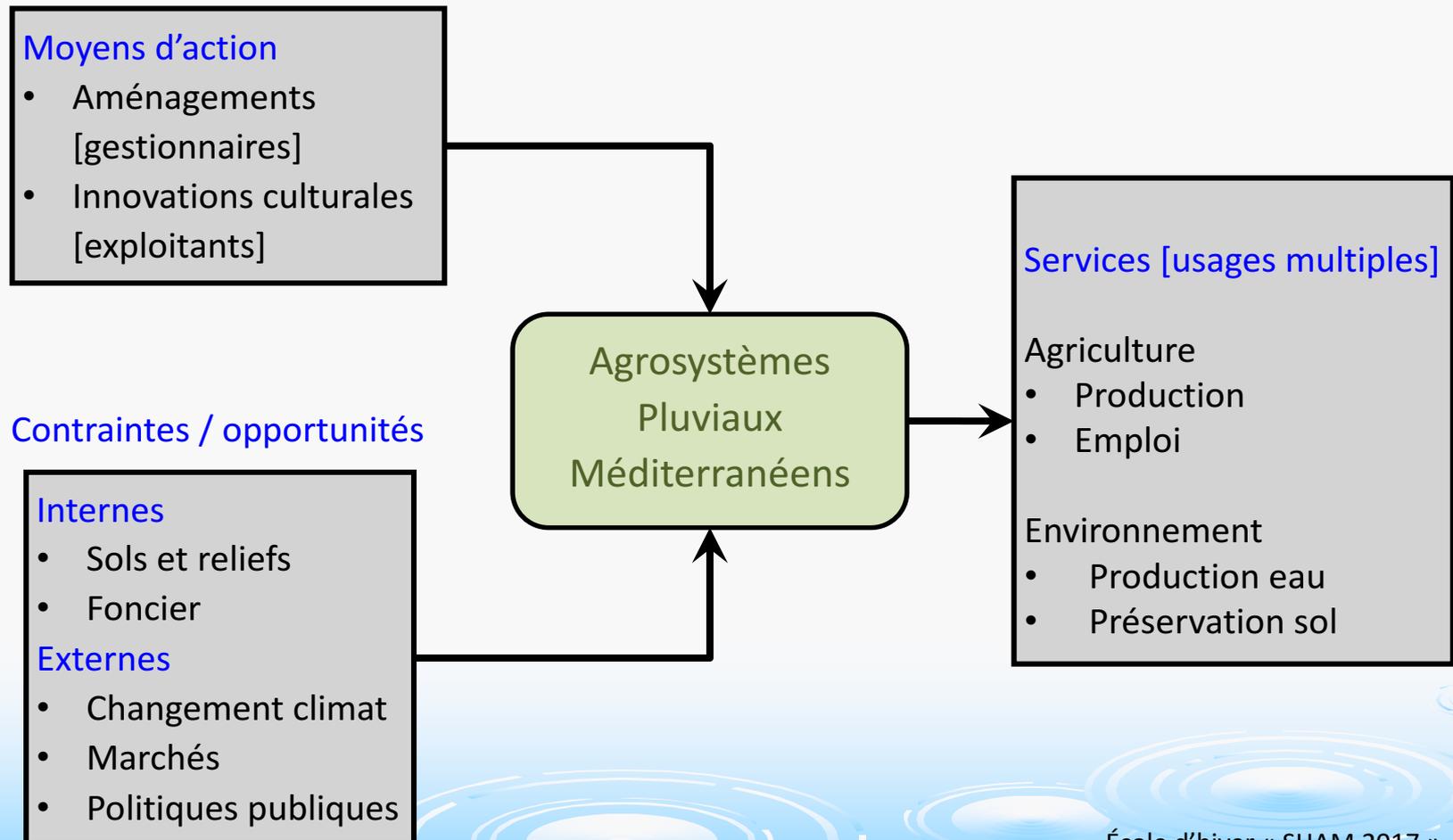
- Connectivités → interactions
- Considérer
 - l'ensemble des acteurs
 - l'ensemble des processus
- Besoins antagonistes → compromis
- Propositions de stratégies avec les acteurs
 - construction des stratégies possibles
 - identifications des stratégies pertinentes



Définitions : analyse intégrée



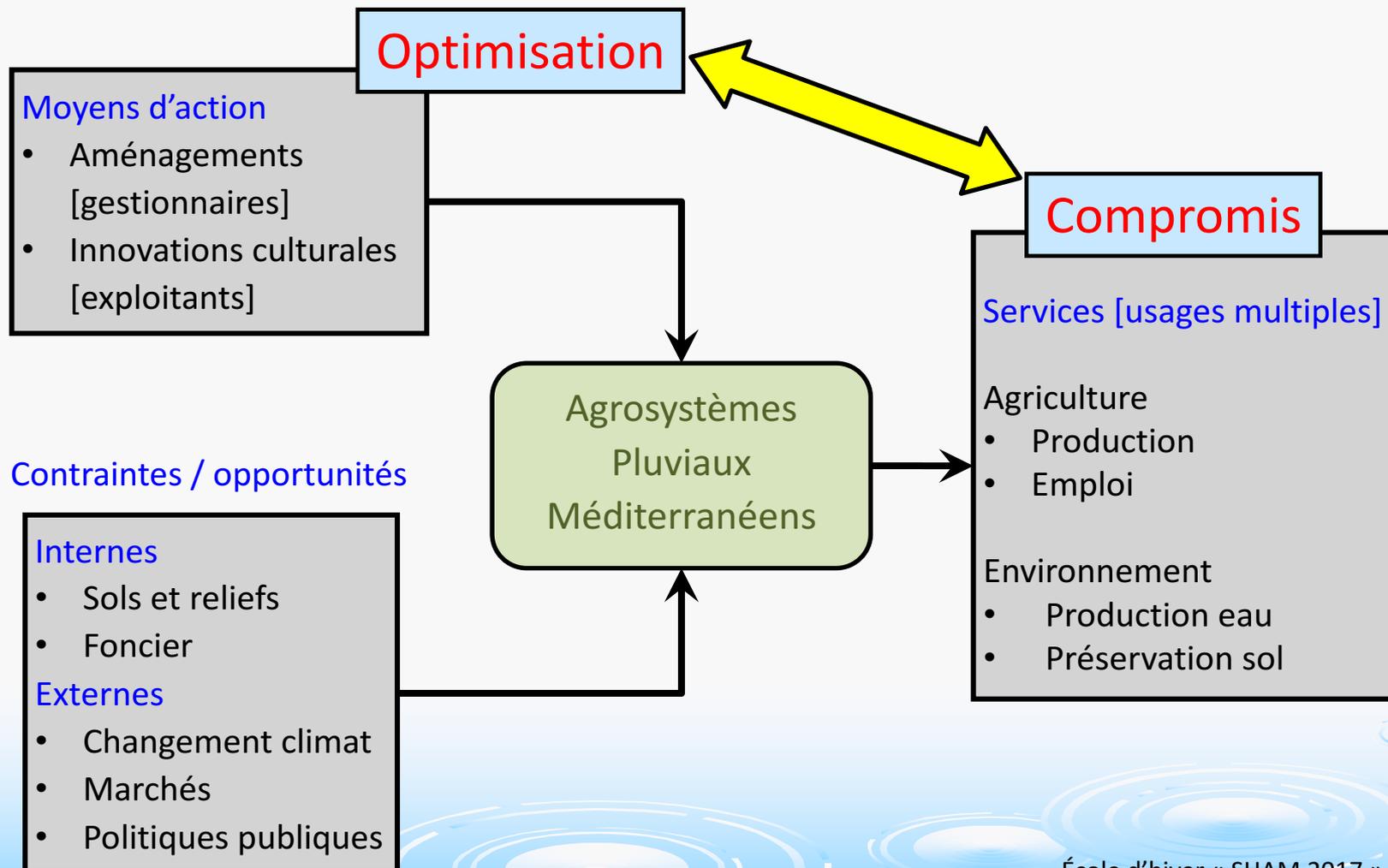
■ Approches systémiques



Définitions : analyse intégrée



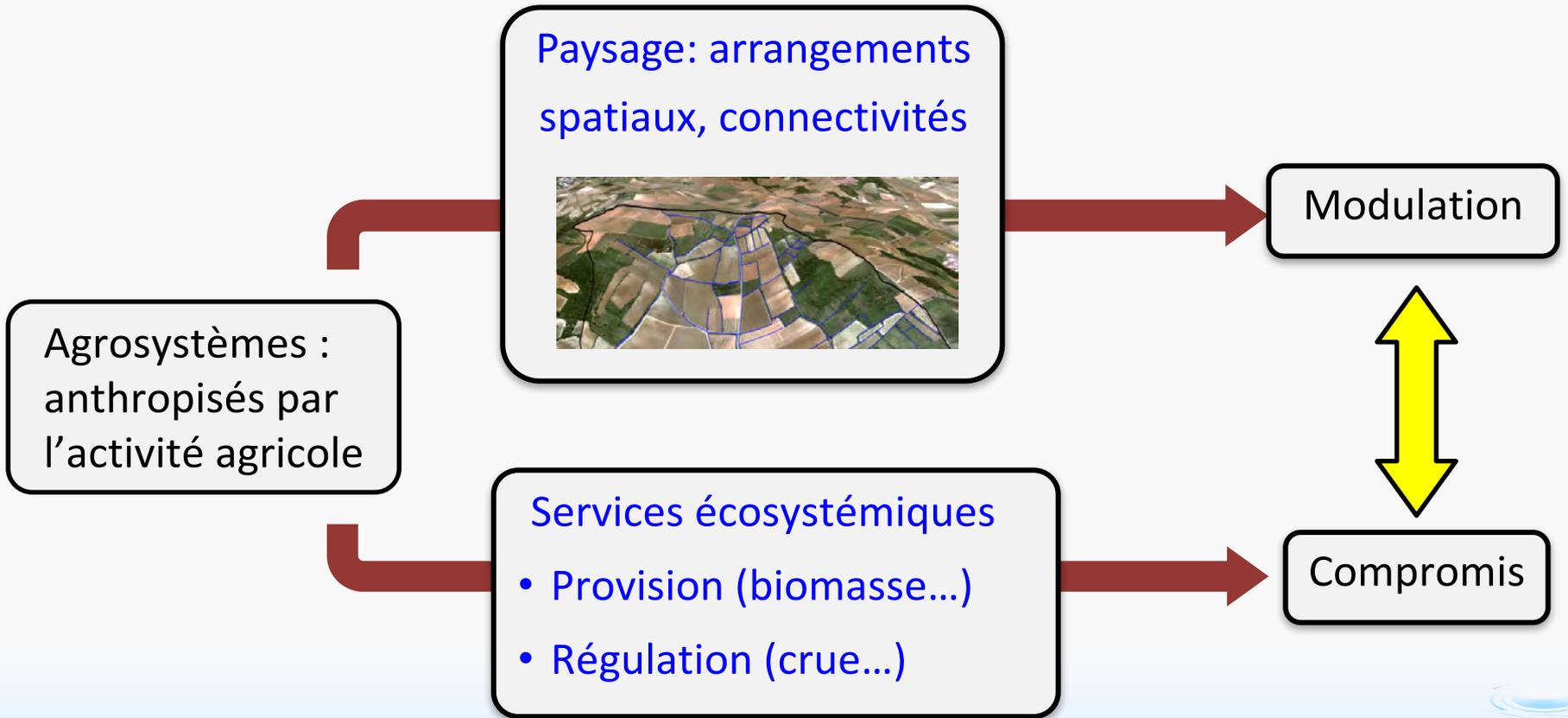
■ Approches systémiques



Définitions : analyse intégrée



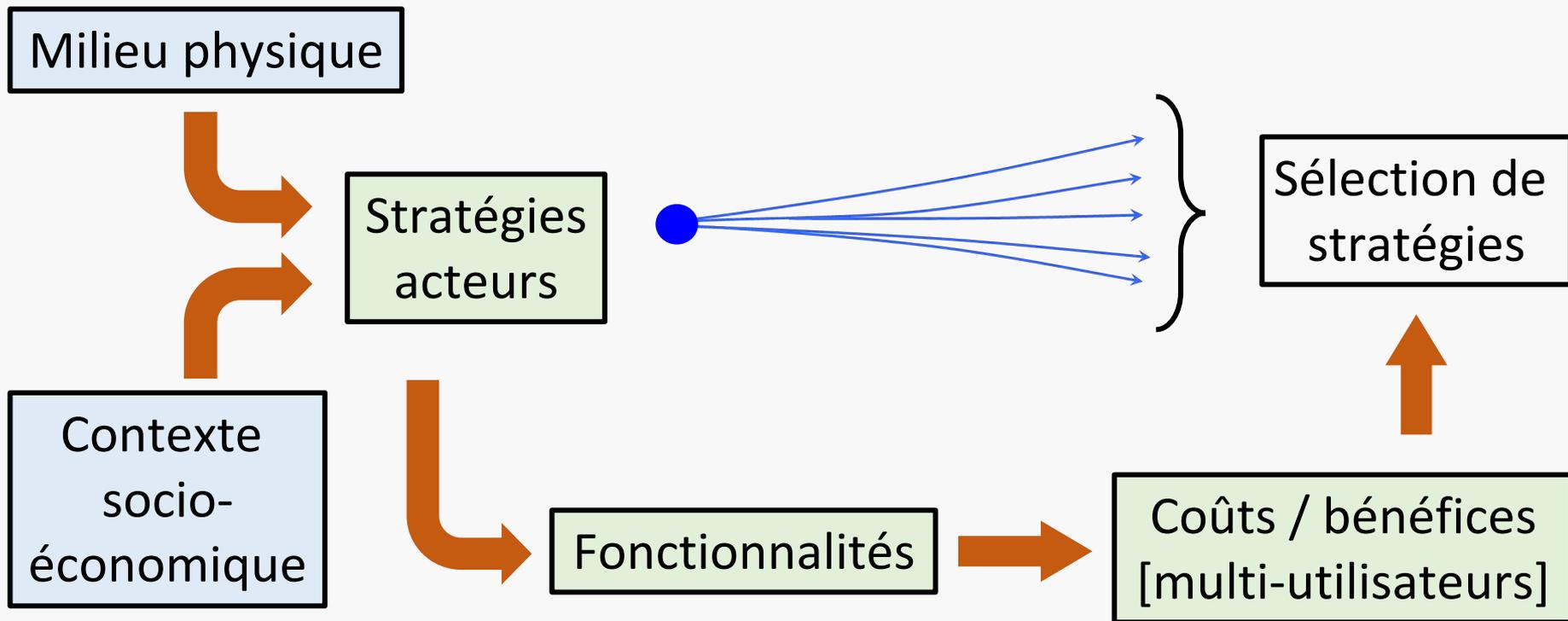
■ Approches systémiques



Définitions : analyse intégrée



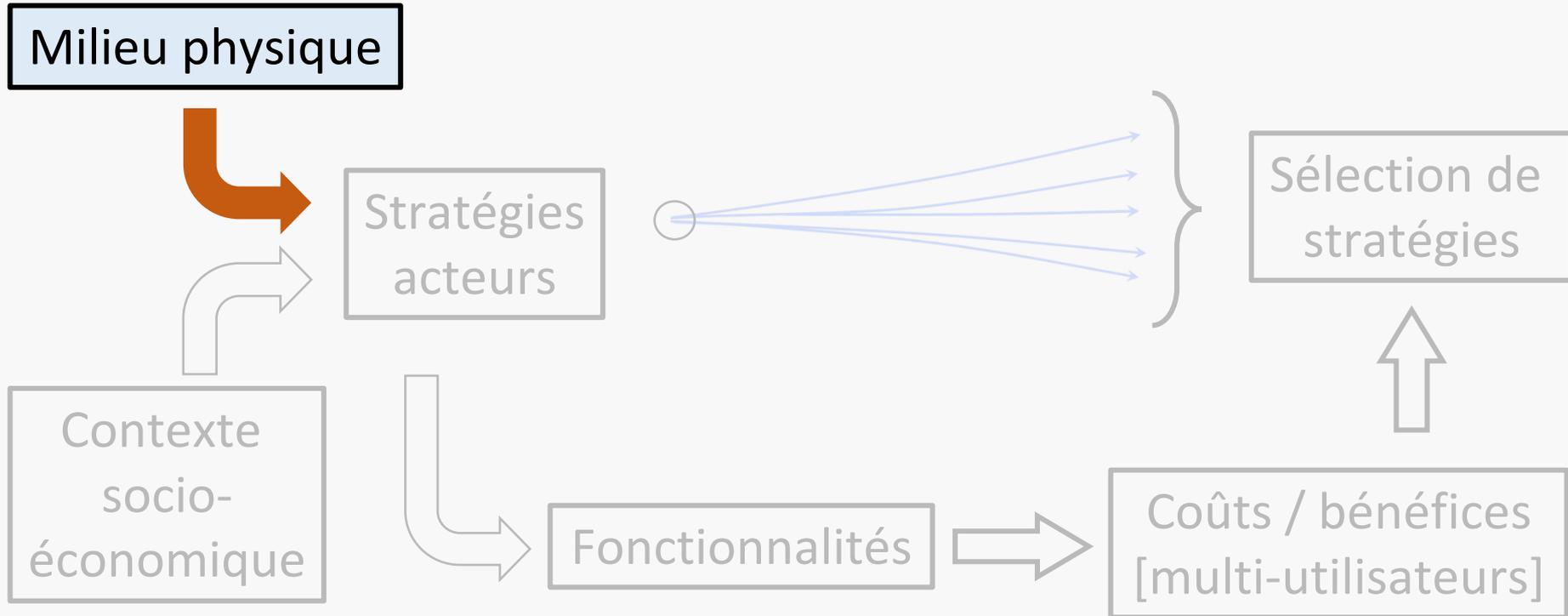
■ Approches systémiques: intégration



Analyse intégrée et mesures



- Approches systémiques : caractérisation milieu physique

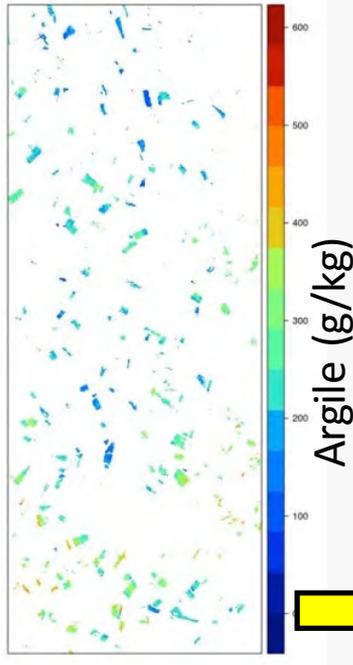
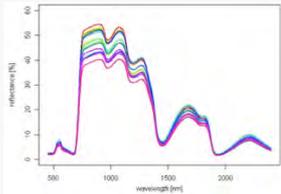


Analyse intégrée et mesures



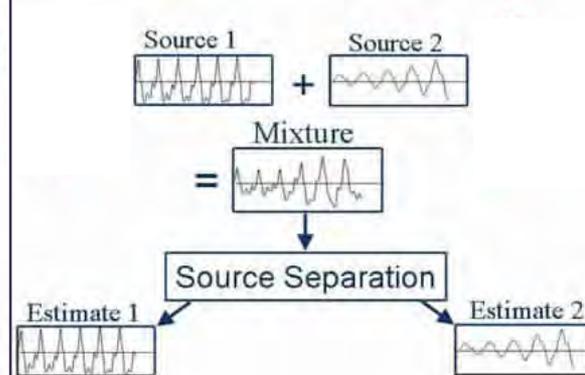
- Approches systémiques : caractérisation milieu physique

Taux d'argile / sol nus
Imagerie hyperspectrale

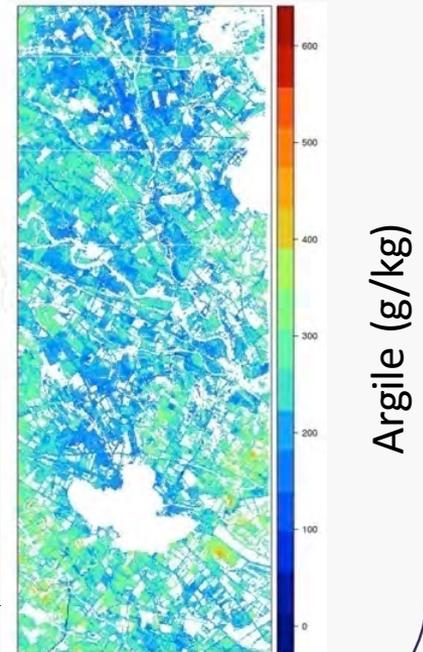


$$P = \sum_{k=0}^n a_i \cdot r_i$$

Taux d'argile / surfaces végétalisées
Imagerie hyperspectrale



Séparation source
[adaptation]

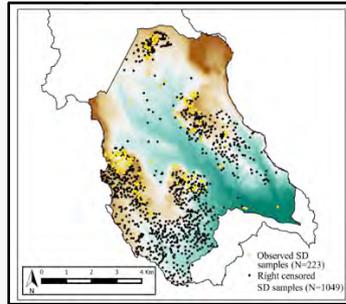


Analyse intégrée et mesures

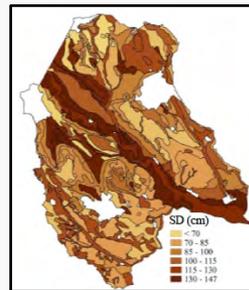


■ Approches systémiques : caractérisation milieu physique

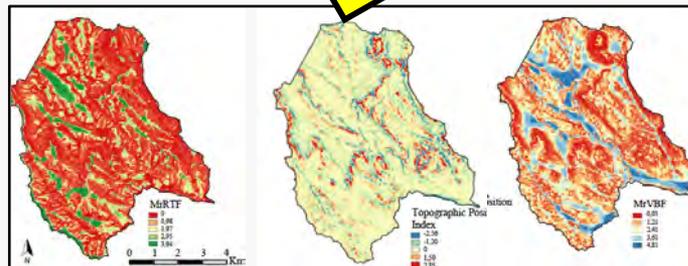
1272 observations de profondeur (>80% censurées à droite)



Carte pédologique au 1/25 000

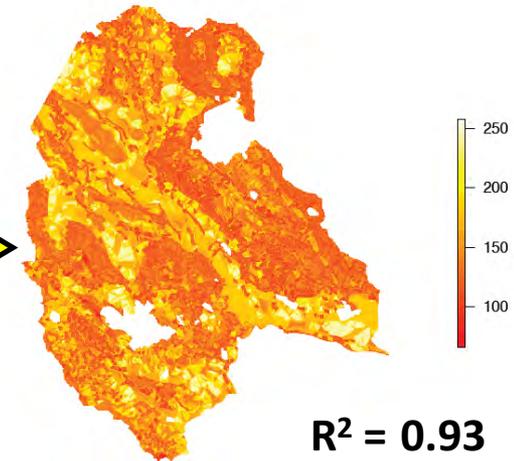


Indicateurs topographiques (MNT)



RANDOM SURVIVAL FOREST

Profondeur sol

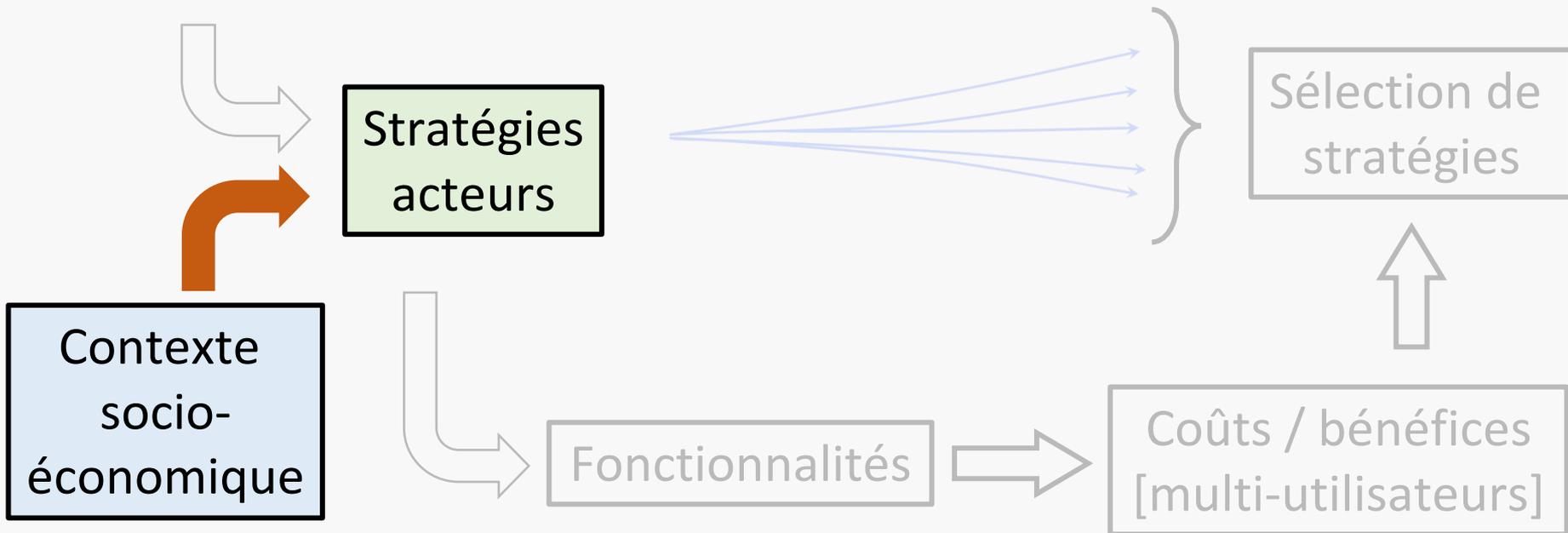


Définitions : analyse intégrée



- Approches systémiques : formalisation évolutions

Milieu physique



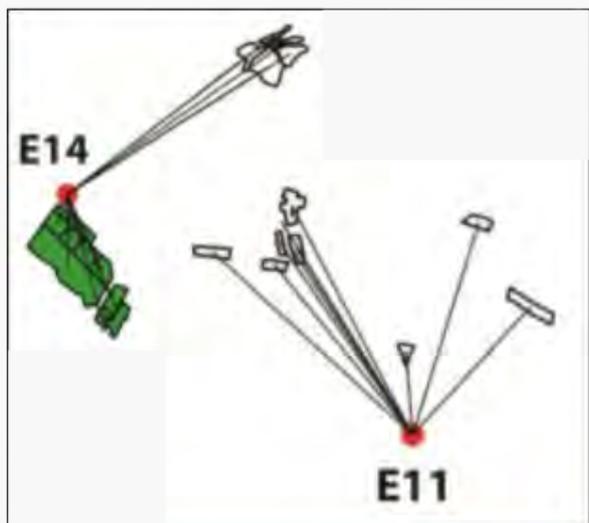
Définitions : analyse intégrée



- Approches systémiques : décisions exploitants

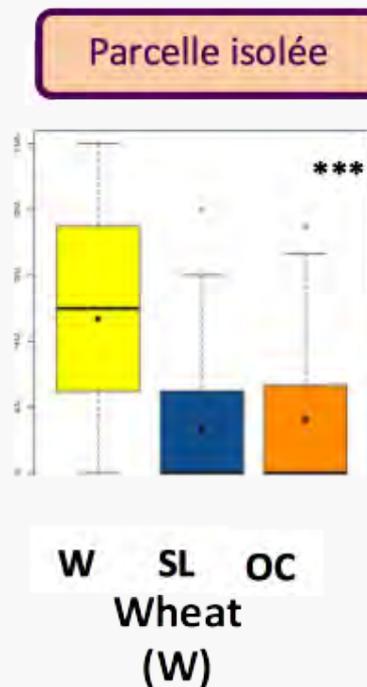
Organisation et dynamique des systèmes de culture

Mekki et al., 2018

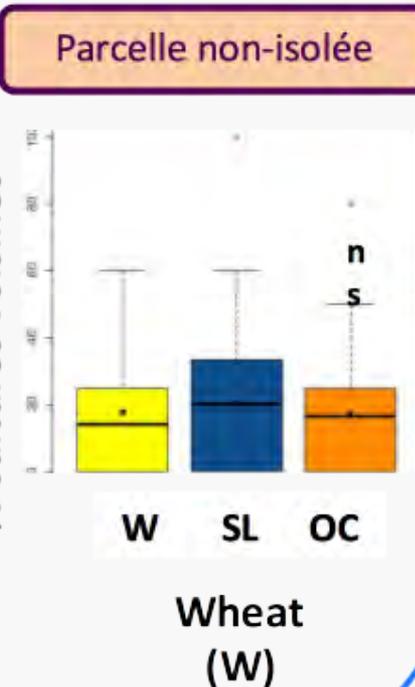


Parcelle isolée / non-isolée

% de cultures voisines



% de cultures voisines



Analyse intégrée et mesures



- Approches systémiques : caractérisation évolutions

		Pays		
		Tunisie	Maroc	France
Drivers	Régionaux	Soutien reliefs amont	Plan Maroc Vert.	Arrivée des vins « nouveau monde »
	Locaux	<p>Relief, accessibilité</p> <p>Sol (profondeur, pierrosité, texture)</p> <p>Industrialisation et agro-tourisme</p>		
		Ressources en eau: rivalités amont-aval	Nouvelles cultures sur sols pauvres	Implantation irrigation

Analyse intégrée et mesures



- Approches systémiques : caractérisation évolutions

Tendances

Pays		
Tunisie	Maroc	France
Terres d'élevage sur les reliefs amonts	Arboriculture	AOP
Parcelle: agrégation en plaines et fragmentation en reliefs		
Urbanisation		
Cultures irriguées spéculatives sur les zones aval	Potentialité culture plantes aromatiques & médicinales	Irrigation
Continuité		

Analyse intégrée et mesures

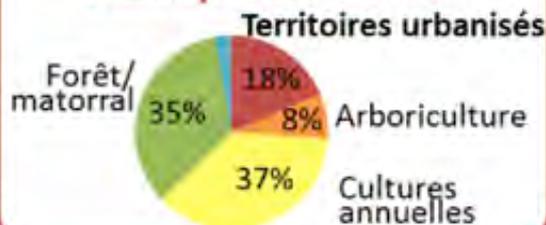


- Approches systémiques : caractérisation évolutions

Scénarios Maroc (pondération tendances) : perspectives à 2040

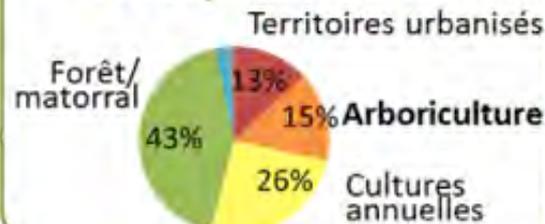
Scénario 1 : industrialisation et urbanisation

L'occupation du sol



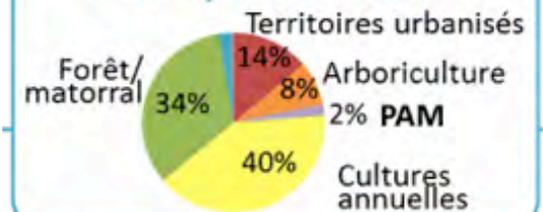
Scénario 2 : le panier à fruit

L'occupation du sol



Scénario 3 : activités ville / campagne

L'occupation du sol



Plantes aromatiques et
médicinales sur sols pauvres

Analyse intégrée et mesures

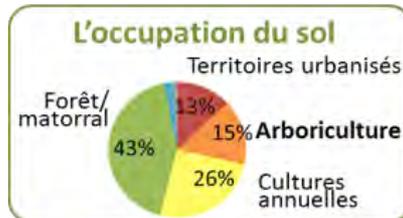


- Approches systémiques : caractérisation évolutions

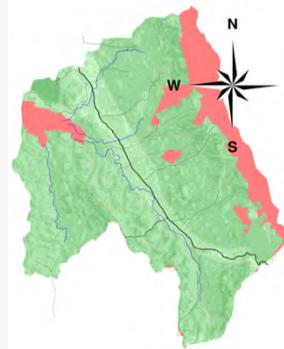
Tendances régionales → déclinaisons locales

Tendances régionales
[narrations qualitatives]

Tendances subrégionales
[estimations qualitatives]



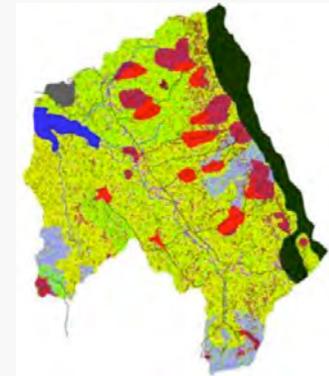
Répartition
spatiale



Champs de
contraintes (reliefs,
sols, accessibilité)



Tendances locales
[échelle parcelle]



Mise en débat
scénarios spatialisés
[ateliers avec acteurs]

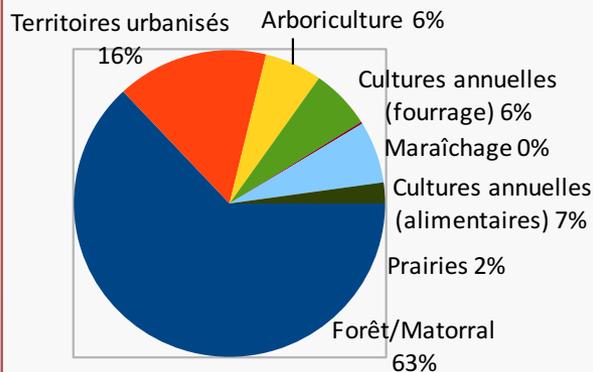
Analyse intégrée et mesures



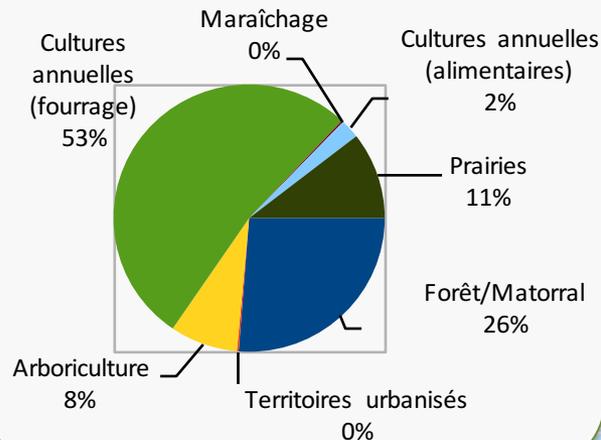
■ Approches systémiques : caractérisation évolutions

Scénarios Tunisie (pondération tendances) : perspectives à 2040

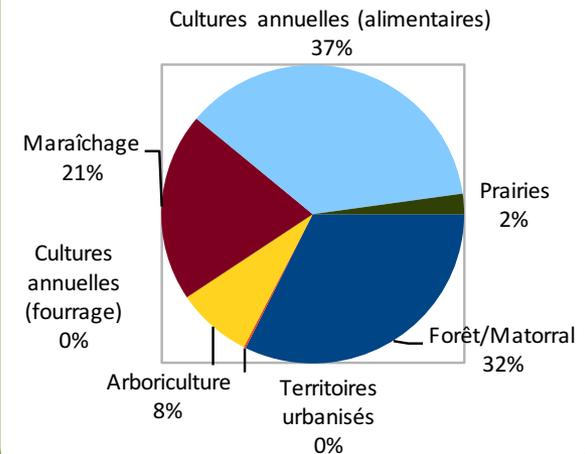
Scénario 1 : urbanisation et exode rural



Scénario 2 : extension élevage



Scénario 3 : abandon élevage



Analyse intégrée et mesures

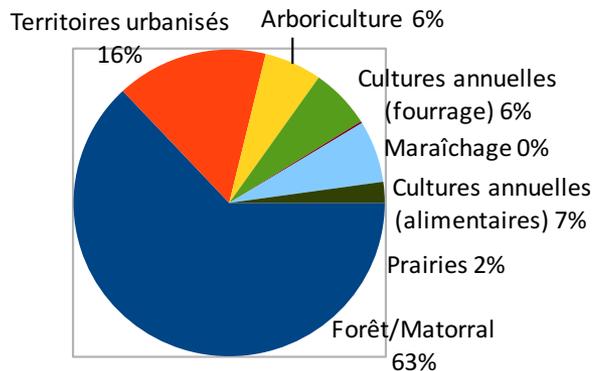


■ Approches systémiques : caractérisation évolutions

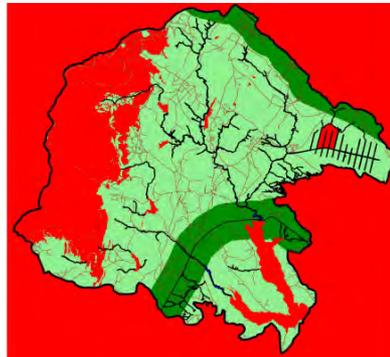
Tendances régionales → déclinaisons locales

Tendances régionales
[narrations qualitatives]

Tendances subrégionales
[estimations qualitatives]

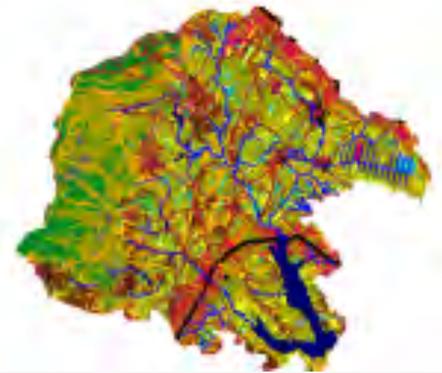


Répartition
spatiale



Champs de
contraintes (reliefs,
sols, accessibilité)

Tendances locales
[échelle parcelle]



Mise en débat
scénarios spatialisés
[ateliers avec acteurs]

Définitions : analyse intégrée



- Approches systémiques : caractérisation impacts

Milieu physique



Contexte
socio-
économique

Stratégies
acteurs



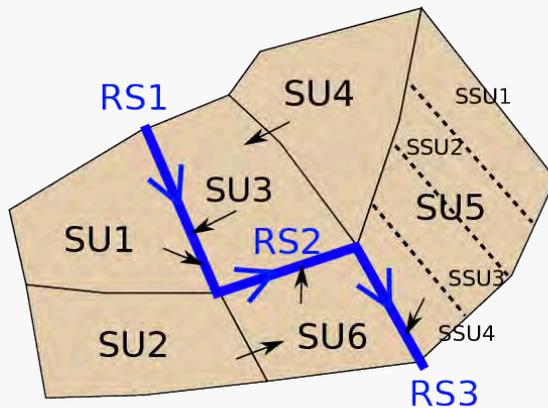
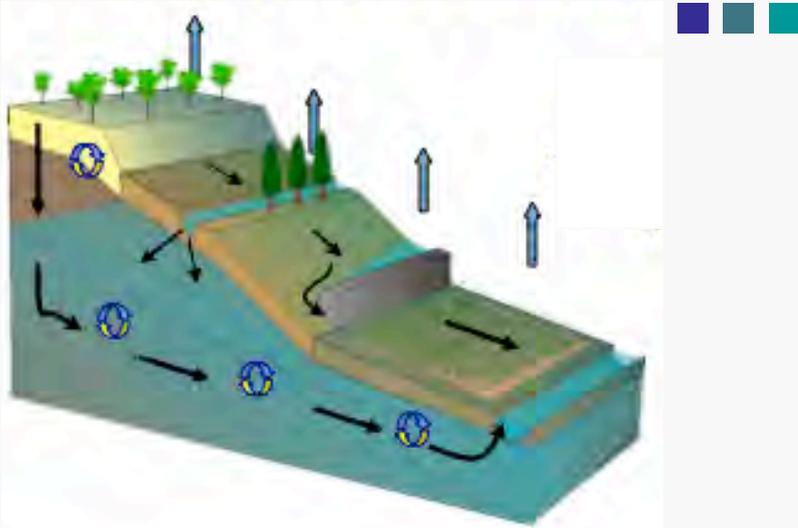
Sélection de
stratégies



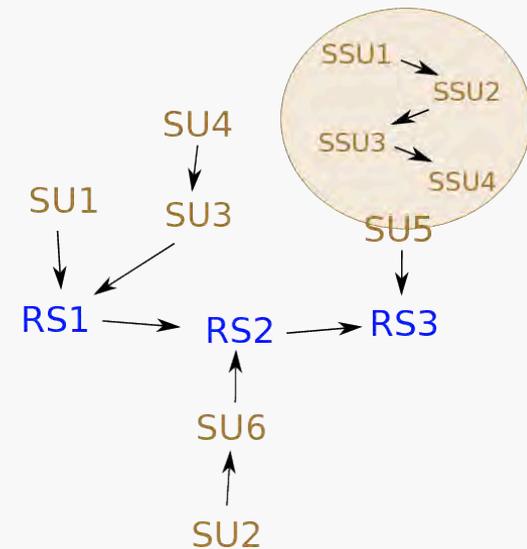
Fonctionnalités

Coûts / bénéfices
[multi-utilisateurs]

Analyse intégrée et mesures



Découpage spatial
modulable



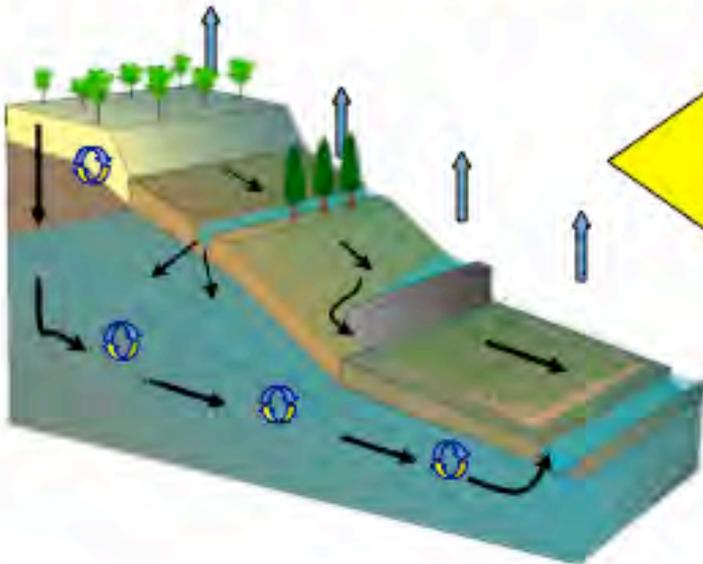
Connexions topologiques &
hiérarchiques

Analyse intégrée et mesures

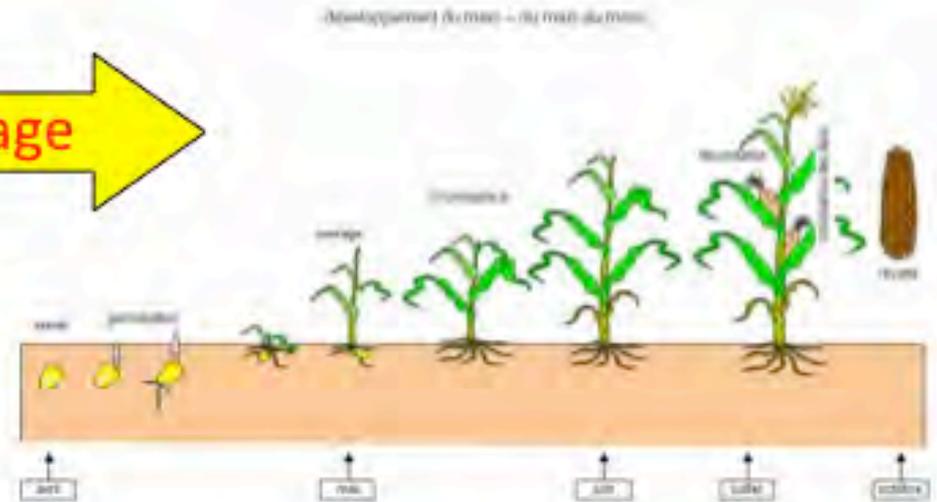


- Approches systémiques : caractérisation impacts

Modélisation hydrologique distribuée
[flux hydriques & érosifs]



Modélisation fonctionnement
végétation [production biomasse]

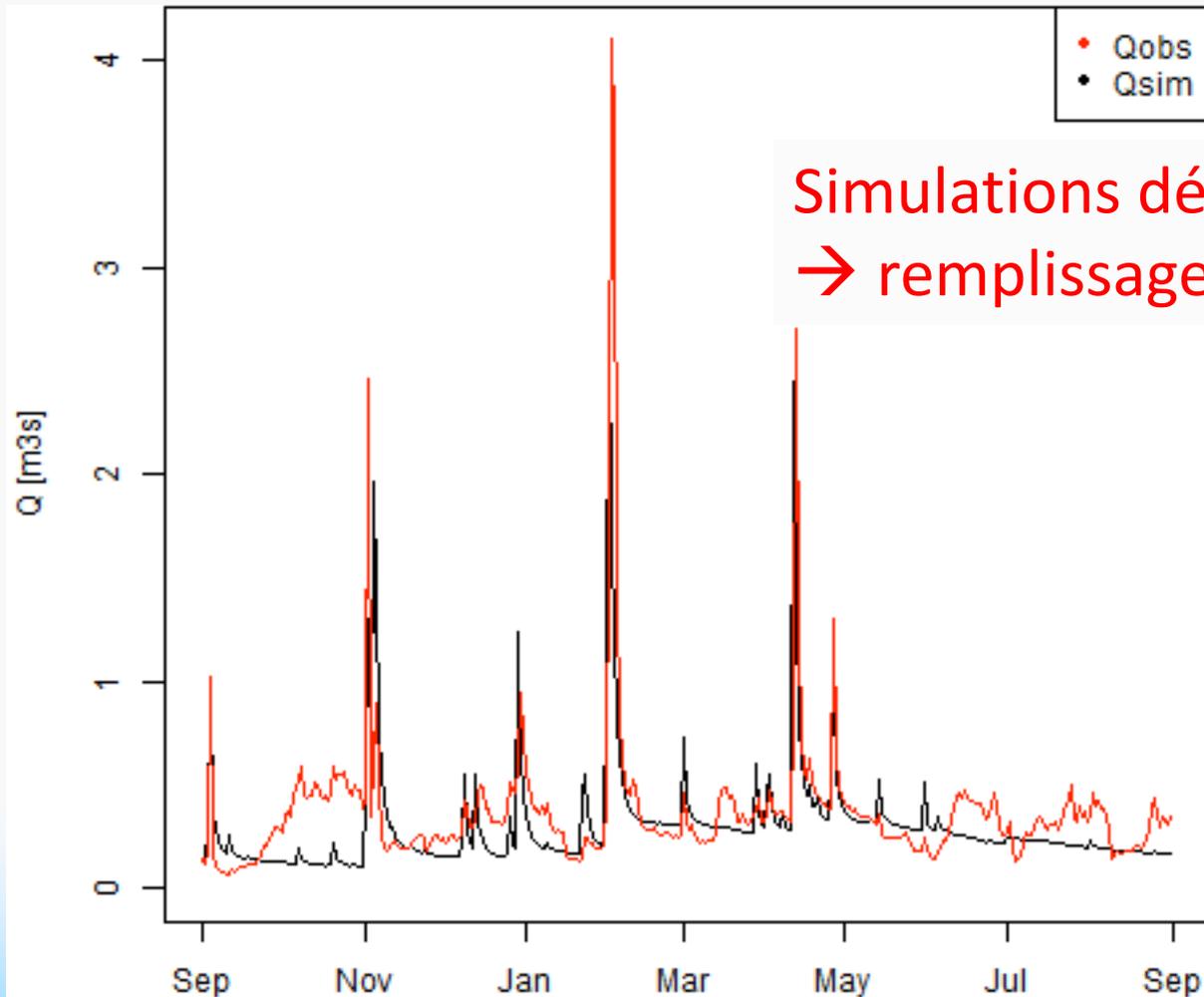


→ production d'indicateurs

Analyse intégrée et mesures



- Approches systémiques : caractérisation impacts



Définitions : analyse intégrée

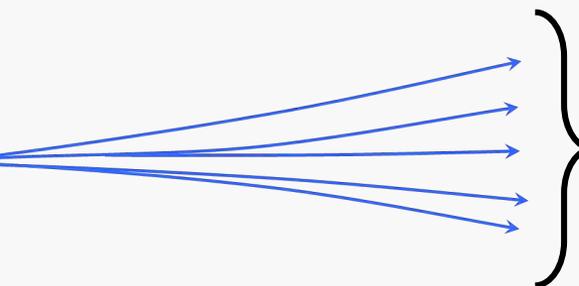


- Approches systémiques : établissements compromis

Milieu physique



Stratégies
acteurs



Sélection de
stratégies



Contexte
socio-
économique



Fonctionnalités

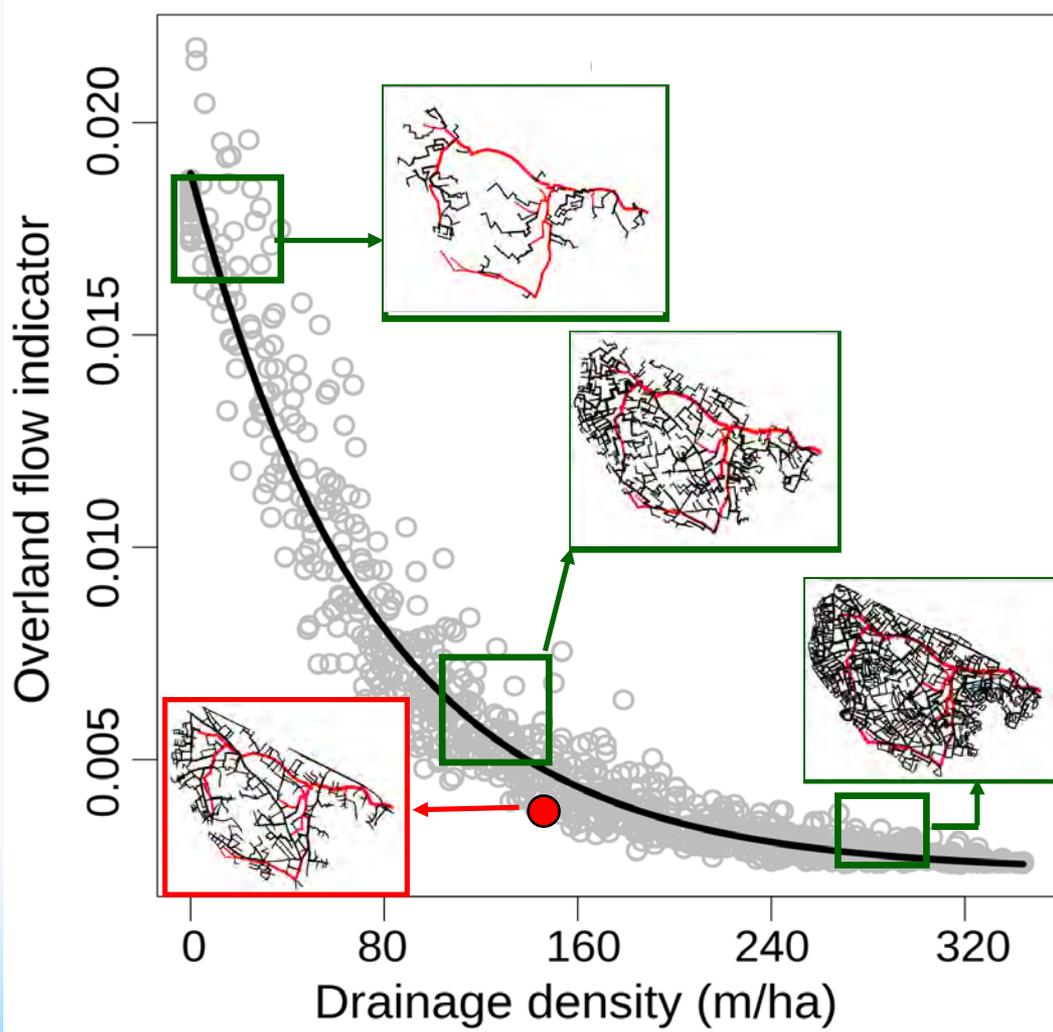


Coûts / bénéfices
[multi-utilisateurs]

Définitions : analyse intégrée



- Approches systémiques : établissements compromis



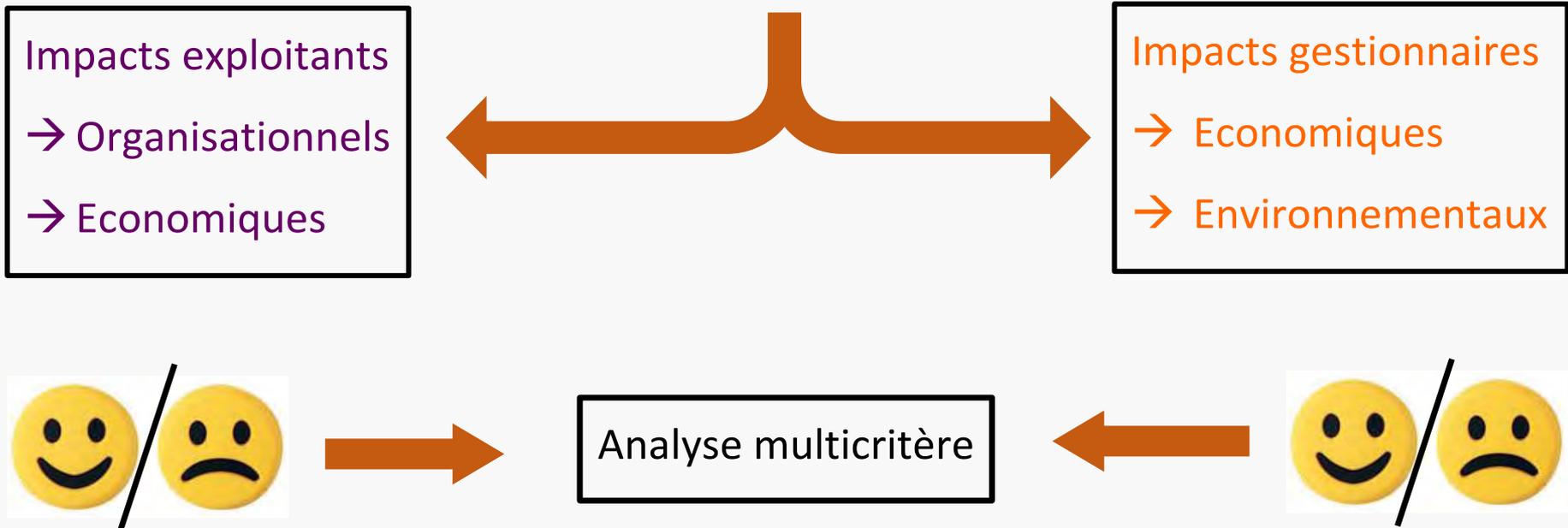
Evaluation de l'efficacité
des géométries de
réseaux de fossés par
expérimentations

Définitions : analyse intégrée



- Approches systémiques : établissements compromis

Evolutions

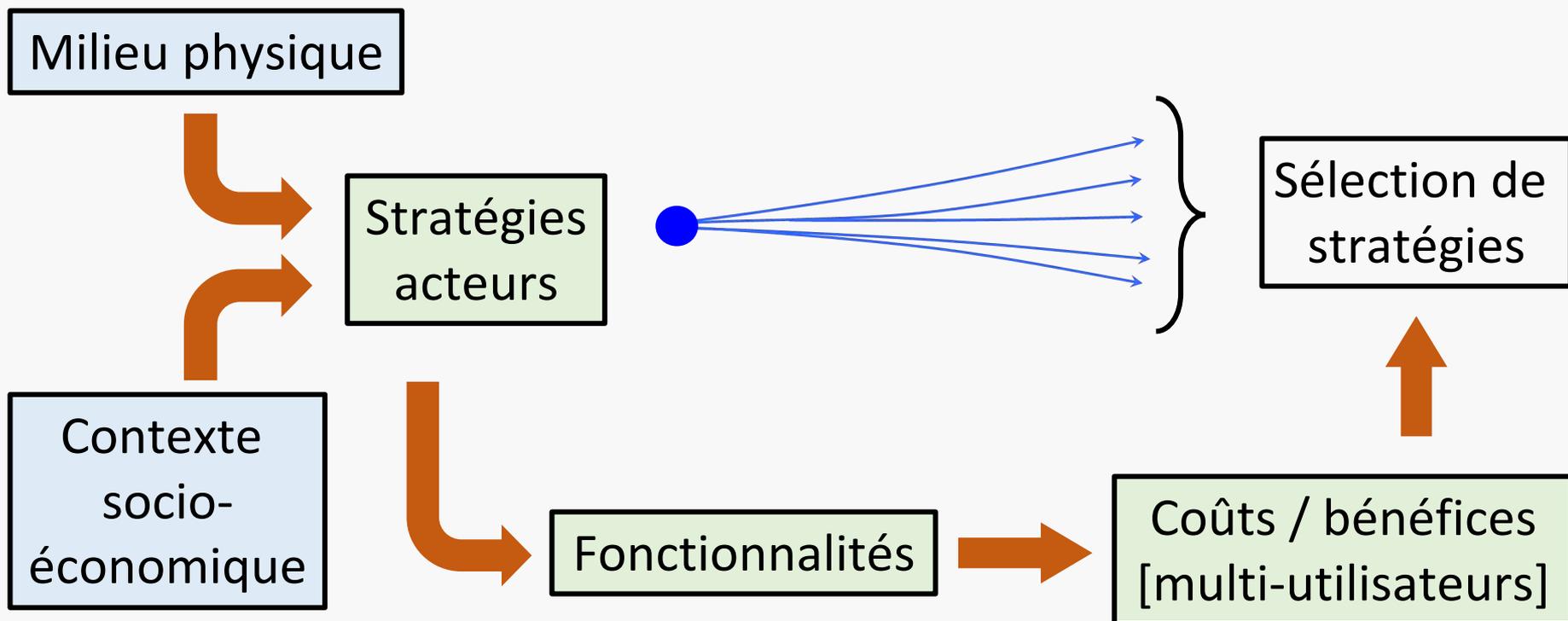


Ateliers participatifs + entretiens acteurs (directions techniques)

Définitions : analyse intégrée



■ Approches systémiques: intégration



Définitions



- Méthodes d'analyse intégrée (4)
pour la conception de
nouveaux modes de gestion (3)
des ressources en eau (2)
dans les agrosystèmes pluviaux (1)

Articulation du cours



■ Approches systémiques: intégration

- Caractéristiques milieu

- sol, végétation
- forçage climatique



Télédétection, climat

- Stratégies acteurs

- Exploitants
- Gestionnaires



Journées SHS

- Indicateurs fonctionnalités paysagères

- hydrologie
- agronomie



Hydrométrie
Bioclimatologie

- Compromis

- impacts agro-environnementaux



Journée SHS
Abdelaziz Zaïri



FUTUR: intégration plus large → gradient pluvial / irrigué

