Retour au Sommaire

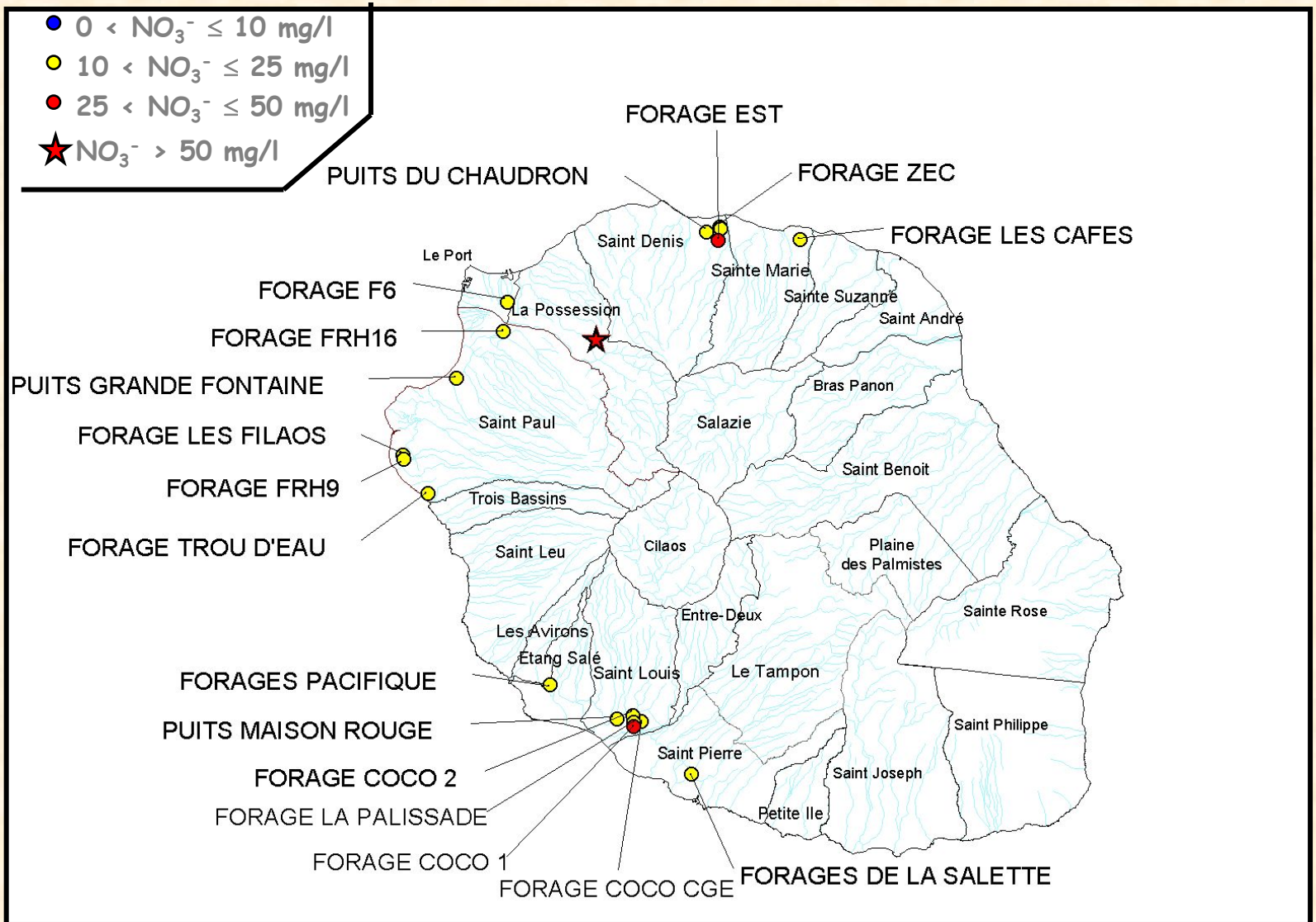
RISQUES AGRO-ENVIRONNEMENTAUX LIES AUX MATIERES ORGANIQUES

Illustration par le cas des nitrates à La Réunion

H. SAINT MACARY, A. FINDELING

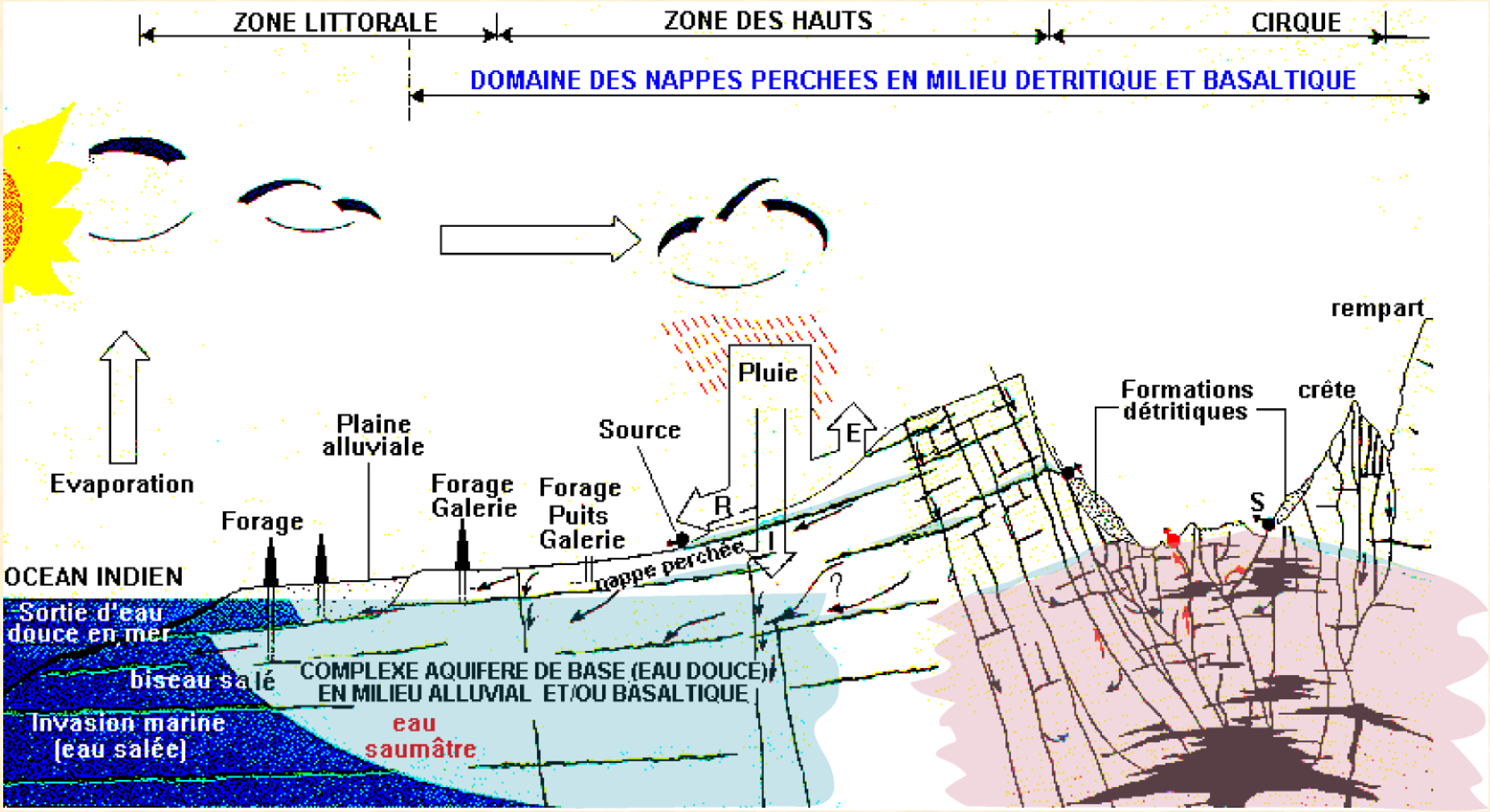
F. FEDER, N. PAYET

Problématique : les teneurs en nitrates des eaux de nappes profondes



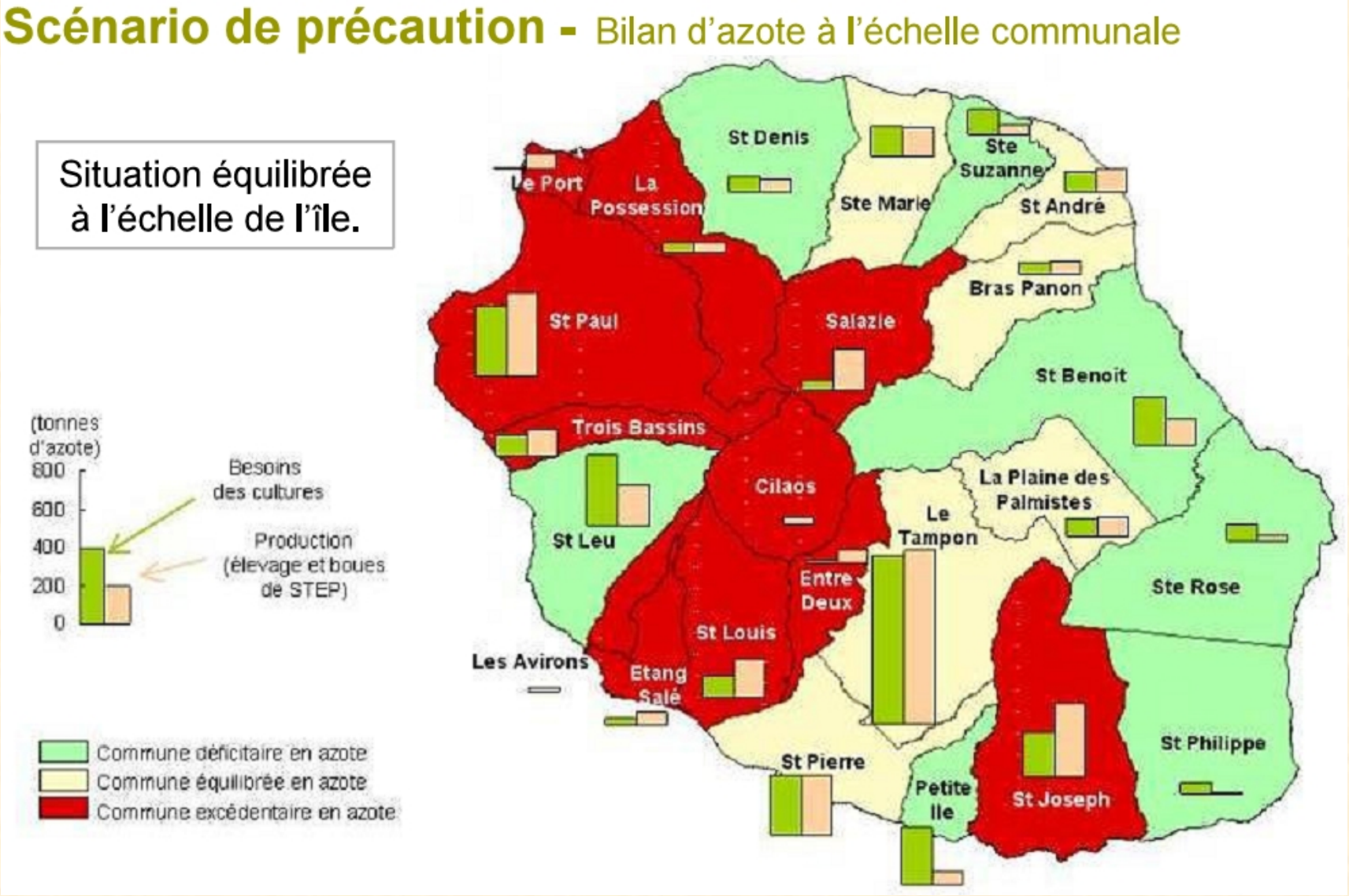
Contexte hydrogéologique

Les eaux souterraines sont alimentées par des pluies d'altitude



Source: Atlas hydrogéologique de La Réunion

Les apports de matières organiques peuvent ils expliquer les augmentations des teneurs en nitrates ?



Les produits agricoles pouvant être à l'origine des nitrates

Produit	Tonnes produites	Tonnes d'azote
Lisier de bovin	480 000	554
Lisier de porc	180 000	378
Lisier de pondeuse	16 000	98
Fientes de pondeuse	1 800	33
Fumier de volaille	11 000	149
Fumier de bovin	13 000	20
Fumier de caprin	20 000	46
Autres fumiers	19 800	22
(Boues de stations d'épuration)		163
TOTAL		**1 462**

CARACTÉRISATION DU RISQUE

Inventaire quantitatif et qualitatif des substances potentiellement dangereuses

Choix des polluants	**Définition de la cible impactée** (consommateur, environnement : sol, nappe)

ALÉA

Identification des réponses

Caractérisation des réponses :

- Relation dose - réponse
- Conditions, modalités et probabilité d'occurrence

X

VULNÉRABILITÉ

Caractérisation de la cible :

- Évaluation de sa variabilité
- Évaluation de sa sensibilité

Évaluation de l'exposition

= **CARACTÉRISATION DU RISQUE**

Conseil, aide à la décision, modification de pratiques

CARACTÉRISATION DU RISQUE

Inventaire quantitatif et qualitatif des substances potentiellement dangereuses

Nitrates

Cible impactée : la nappe profonde

ALÉA

Identification des réponses

Caractérisation des réponses :

- Relation dose - réponse
- Conditions, modalités et probabilité d'occurrence

X

VULNÉRABILITÉ

Caractérisation de la cible :

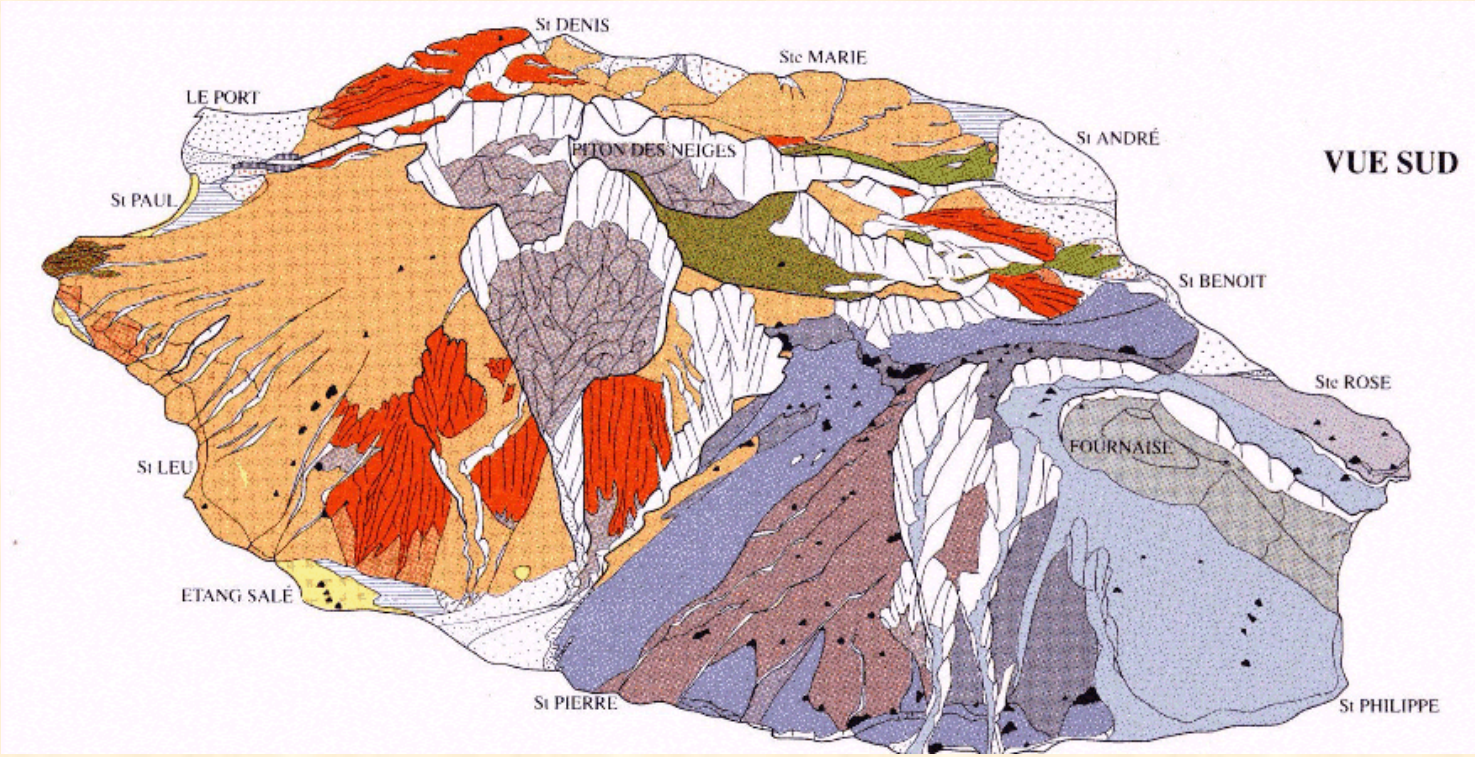
- Évaluation de sa variabilité
- Évaluation de sa sensibilité

Évaluation de l'exposition

= **CARACTÉRISATION DU RISQUE**

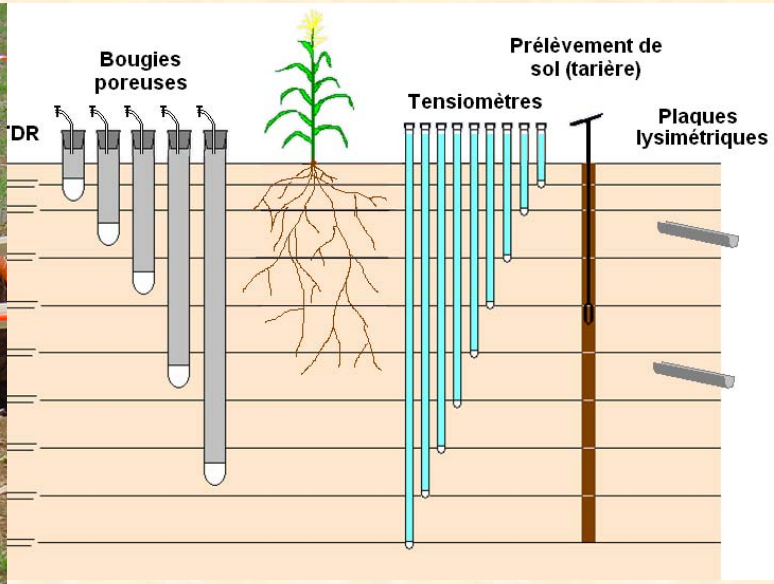
Conseil, aide à la décision, modification de pratiques

Flux d'eau et de nitrate liés aux apports de lisier dans la zone non saturée



20 5:14PM

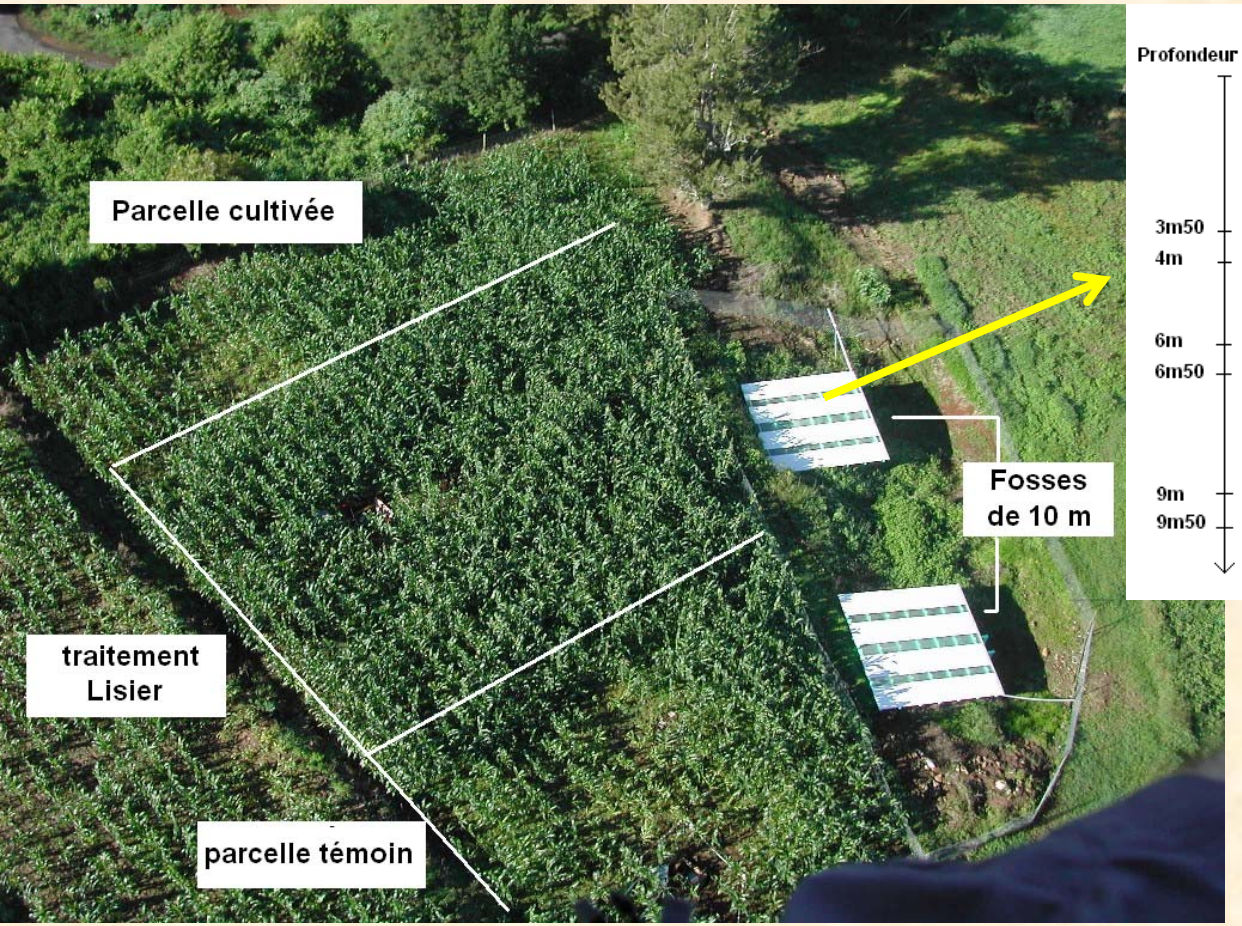
Suivi des flux d'eau et de nitrate dans le sol

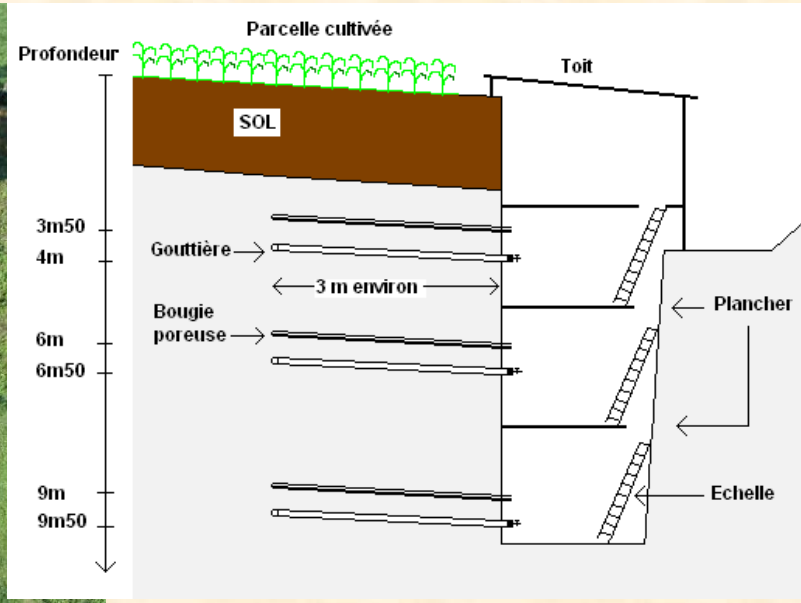


Culture:
maïs en été
avoine en hiver

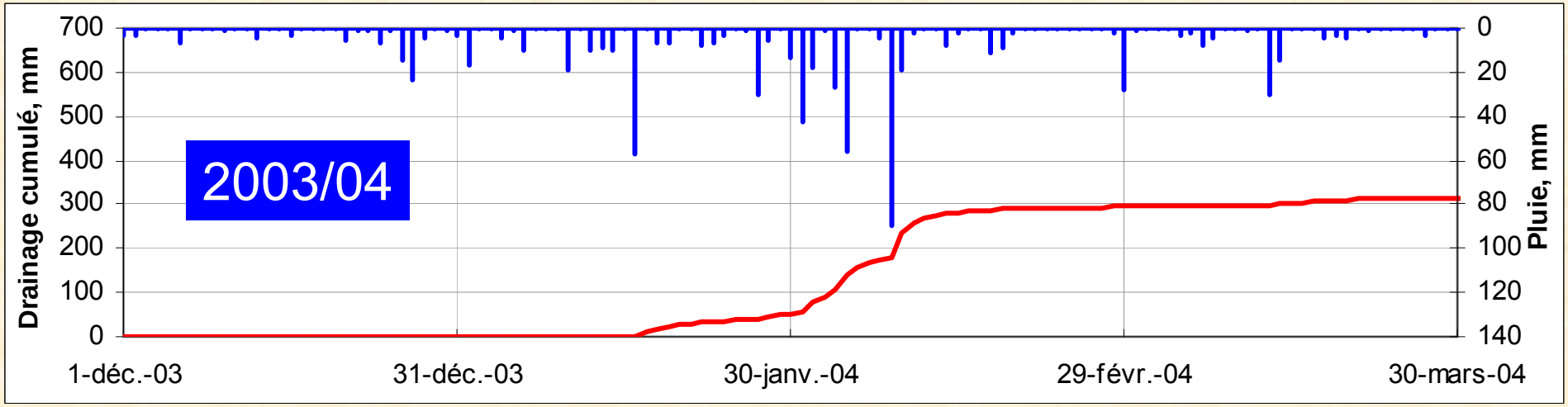
: Site de mesure

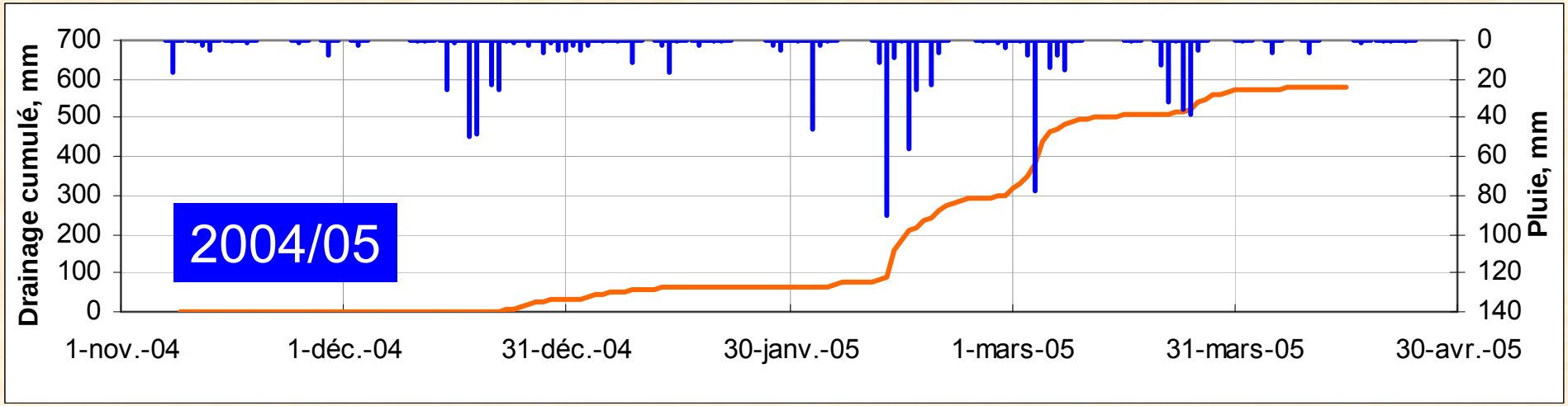
Suivi des flux d'eau et de nitrate dans le sous-sol





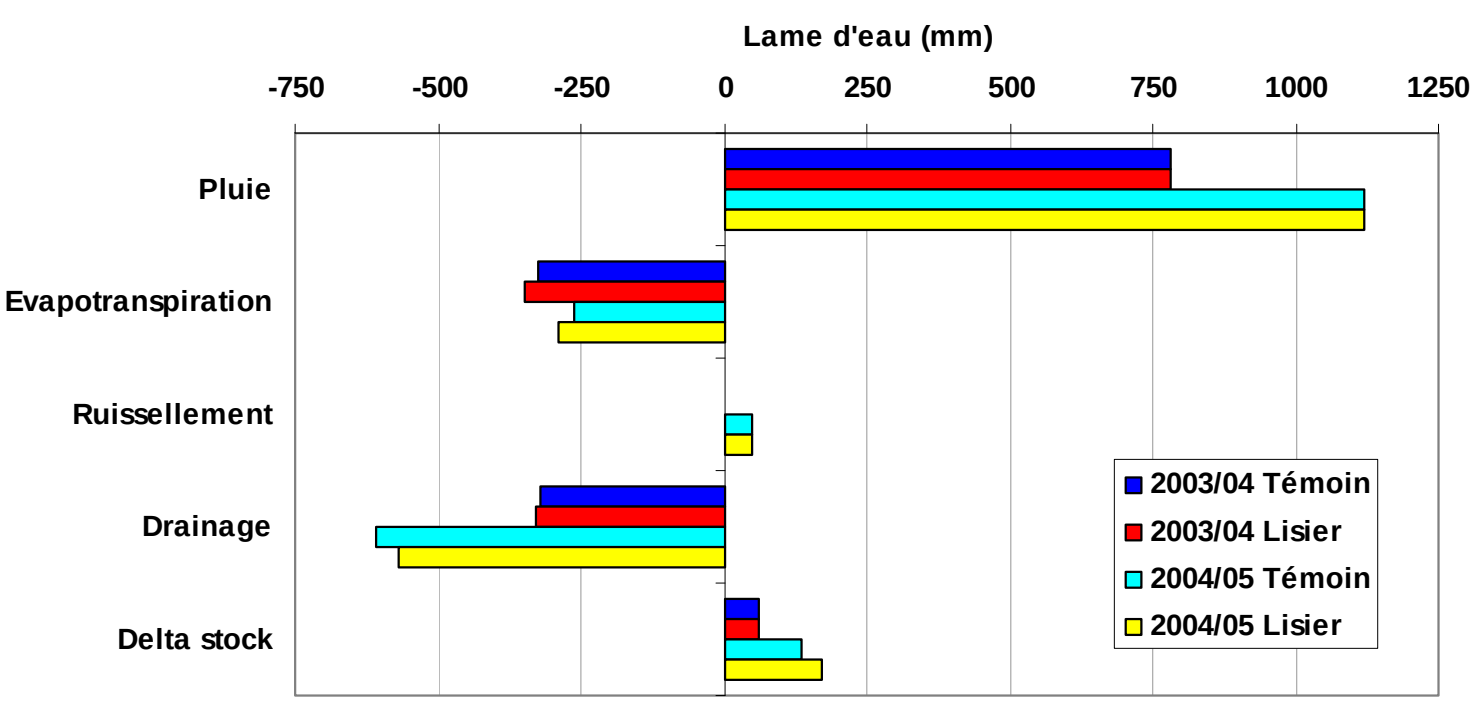
Drainage à 150 cm





Drainage très rapide (70 % d'une pluie est drainé en moins de 24 heures)

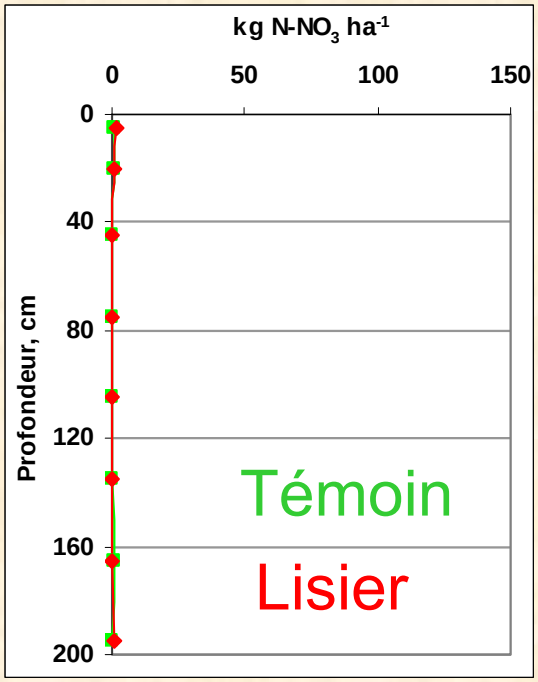
Bilan hydrique des deux campagnes de mesures



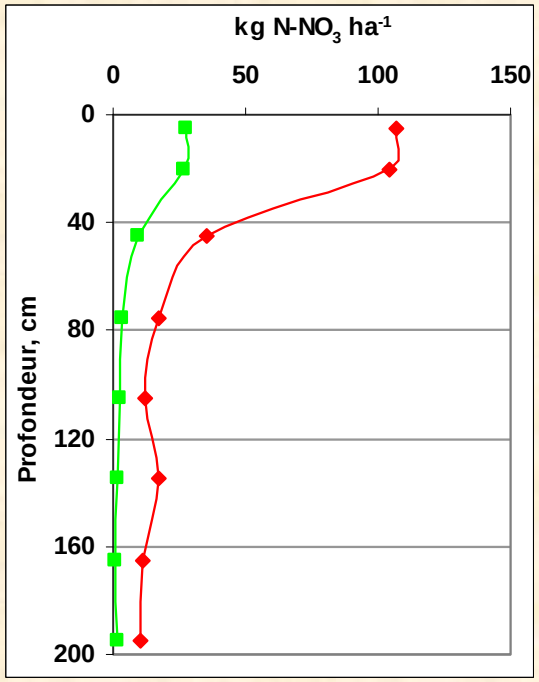
- Drainage cumulé ≈ 50 % pluie cumulée
- Ruissellement nul ou très faible
- Sol peut stocker jusqu'à 100 mm d'eau
- Maïs lisier consomme légèrement plus d'eau que le maïs témoin

Flux d'azote dans le sol et le sous-sol

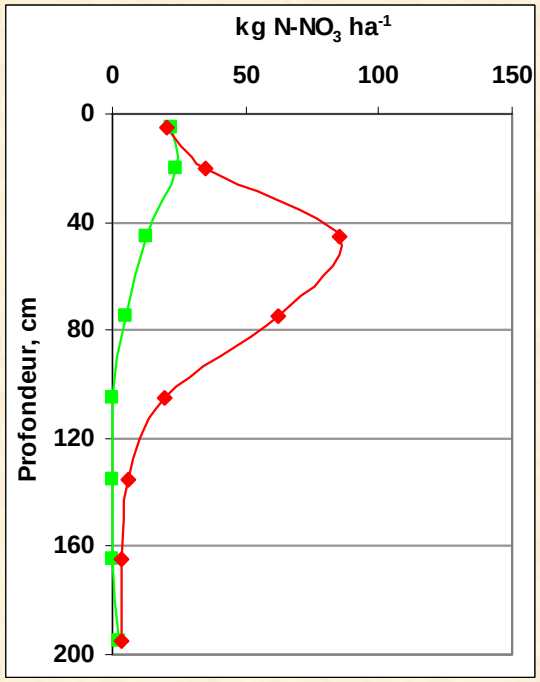
Évolution des teneurs en nitrate du sol : 2003/04



Avant épandage

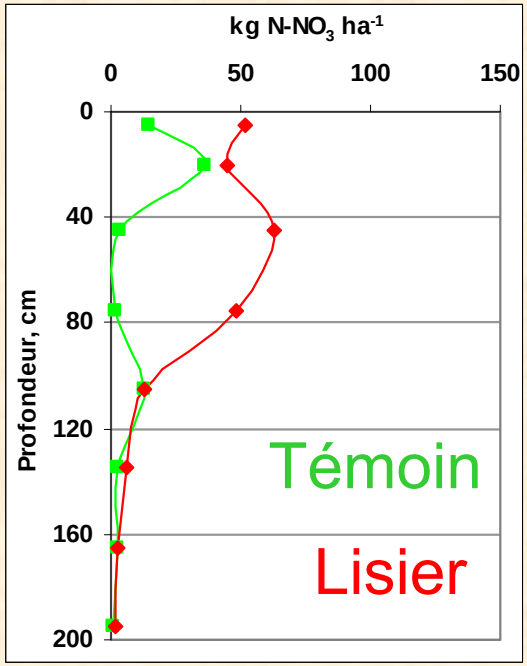


1 mois après épandage

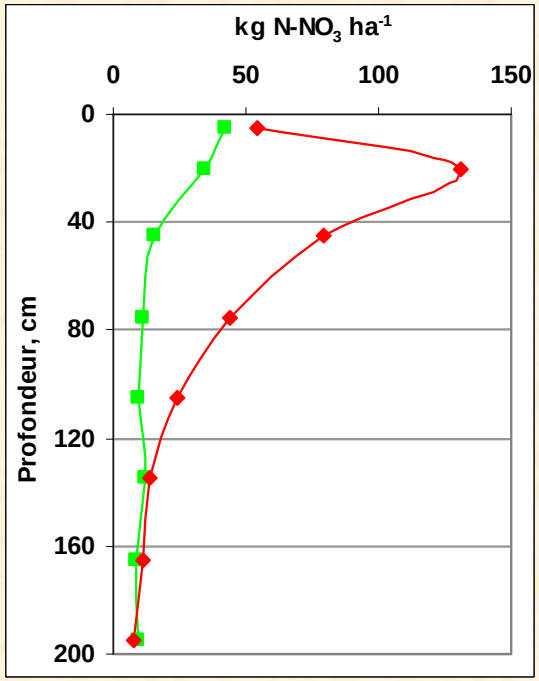


Coupe, 5 mois après épandage

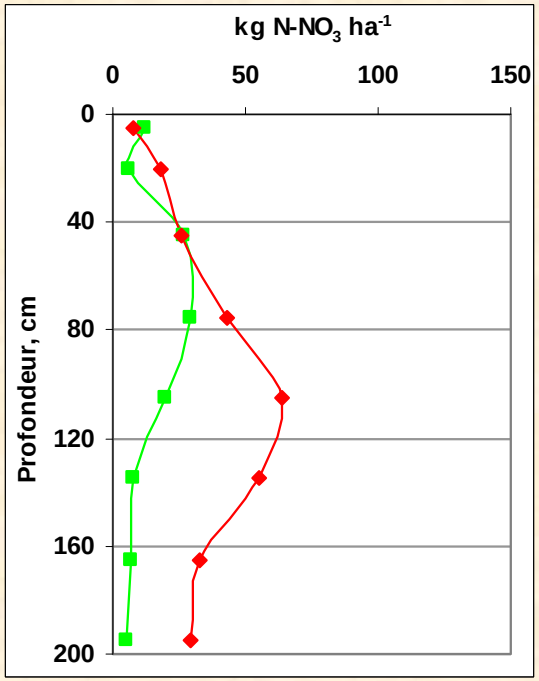
Évolution des teneurs en nitrates du sol : 2004/05



Avant épandage



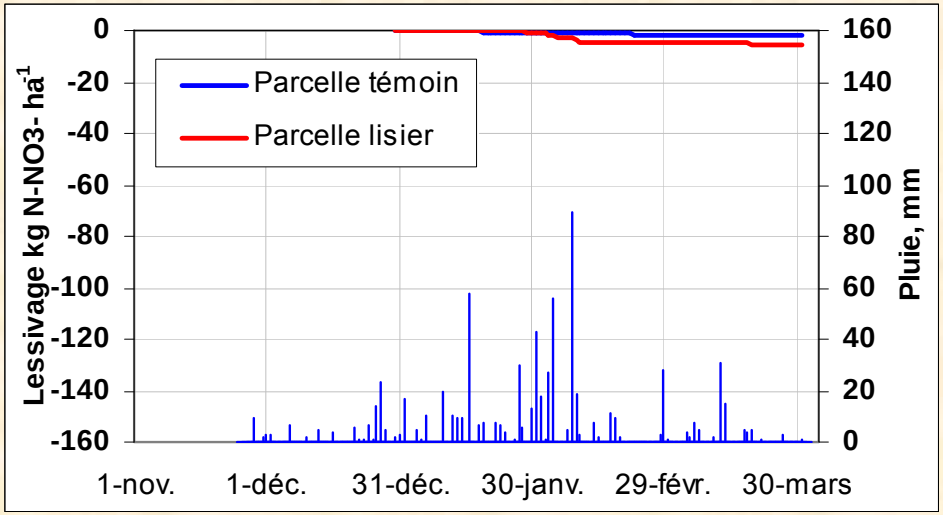
1 mois après épandage

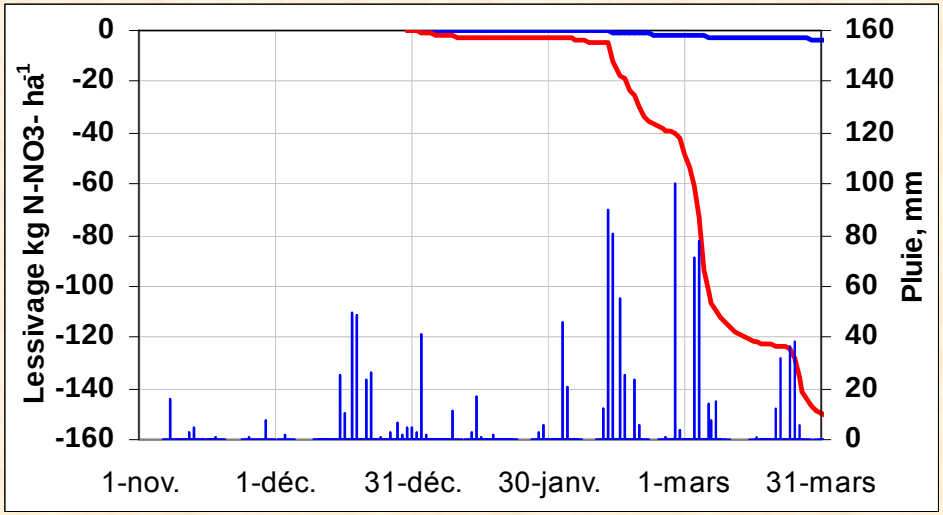


Coupe, 4 mois après épandage

- Une grande proportion de l'azote épandu est stocké dans le profil de sol (sous forme NO_3^- essentiellement)
- Stock d'azote minéral migre lentement en profondeur

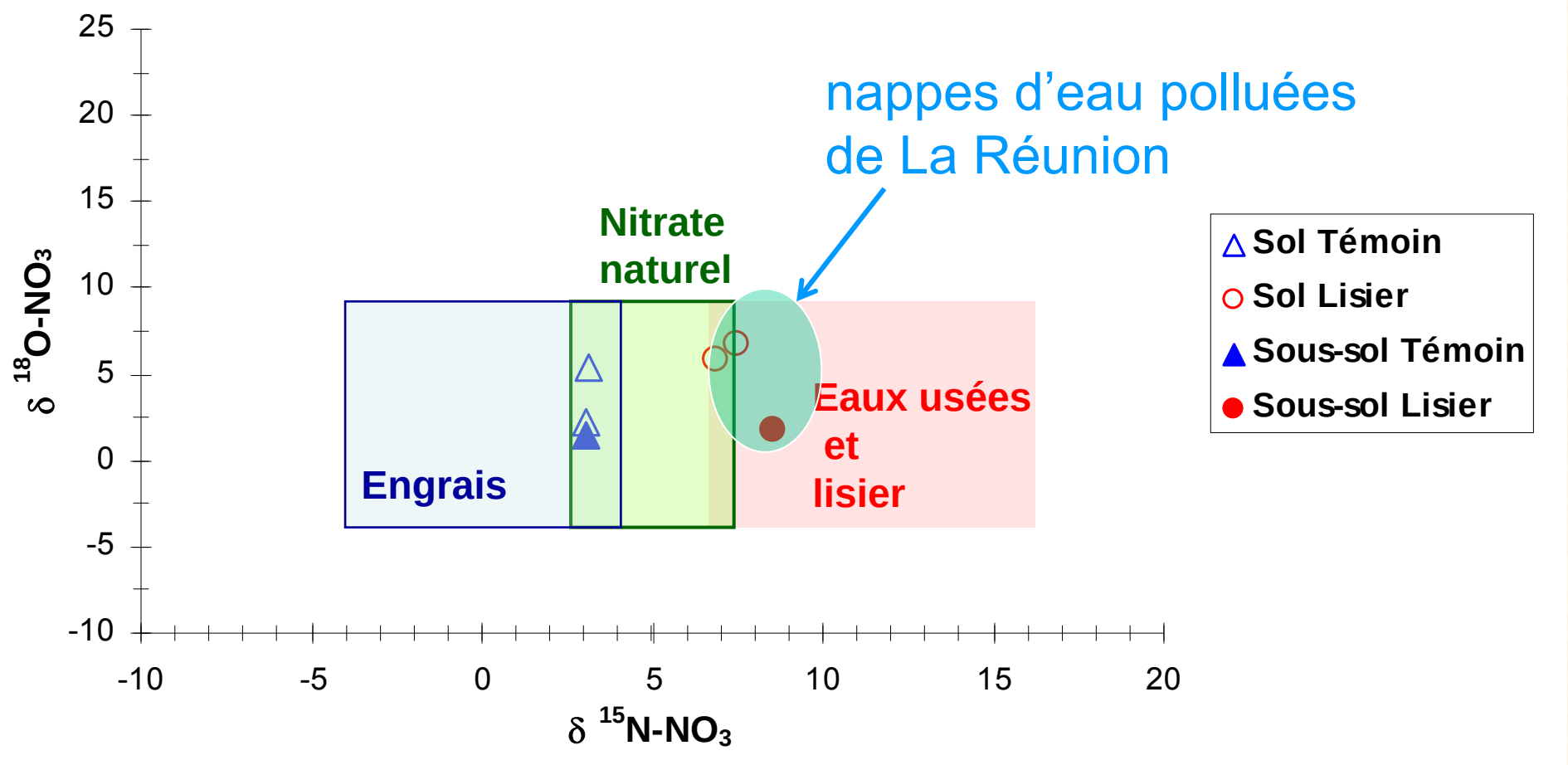
Lixiviation des nitrates à 150 cm





- Pas de lixiviation lors de la première campagne (sur les deux parcelles)
- Lixiviation importante sur la parcelle lisier (2e campagne)

Origine des nitrates : utilisation des isotopes naturels ^{18}O et ^{15}N



Principaux enseignements des deux campagnes de mesures

- La plante
  - Apport de lisier favorise le développement du maïs
    → lisier de porc bon fertilisant azoté
- Flux d'eau

  SOL
  - Drainage rapide, il représente une grande proportion des pluies (environ 50%)
  - Ruissellement négligeable

  SOUS-SOL
  - Flux d'eau peuvent être rapides (jusqu'à 100 mm/h)
  - Résultats valables pour les 10 premiers mètres de sous-sol non saturé

Principaux enseignements des deux campagnes de mesures (suite)

- Flux d'azote

SOL

– Une grande proportion de l'azote du lisier est stocké dans le sol

– Vitesse d'avancement du front de nitrate :

90 cm pour 300 mm d'eau drainée à 150 cm

→ adsorption des nitrates sur les particules de sol

SOUS-SOL

– Flux de nitrate sont très ralentis

– Utilisation des isotopes permet de différencier les sources de nitrate

Utilisation du modèle « WAVE » (Vanclooster et al., 1994)

- Modèle mécaniste, décrivant le transport unidirectionnel vertical de masse et d'énergie dans le système sol-plante-atmosphère
- Modèle numérique, équations résolues par la méthode des différences finies
- 5 modules : eau, soluté, azote, chaleur, ~~plante~~

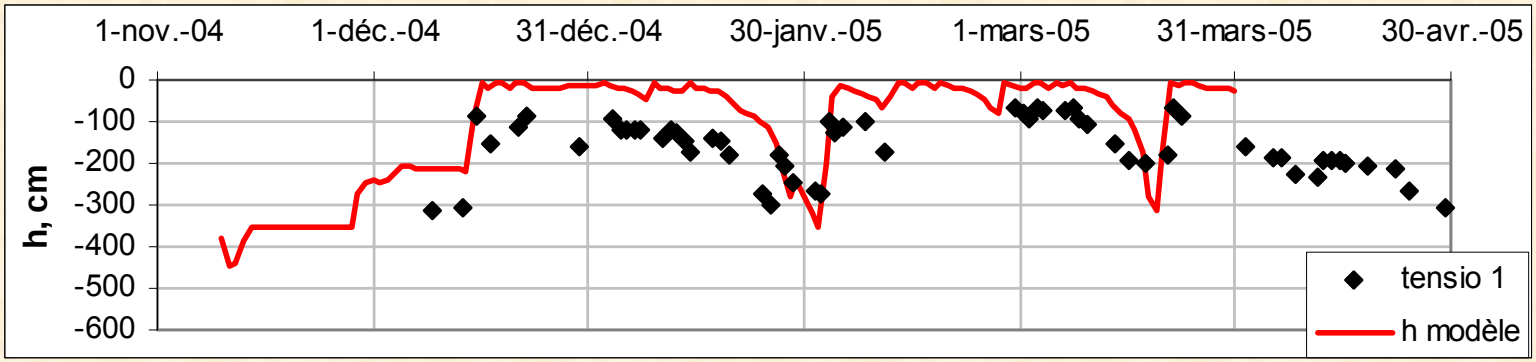
Objectif : prévoir les transferts couplés d'eau et de nitrate pour des conditions pédo-climatiques des hauts de l'ouest de La Réunion

→ Déterminer les risques de lixiviation des nitrates pour des conditions de forçage azoté

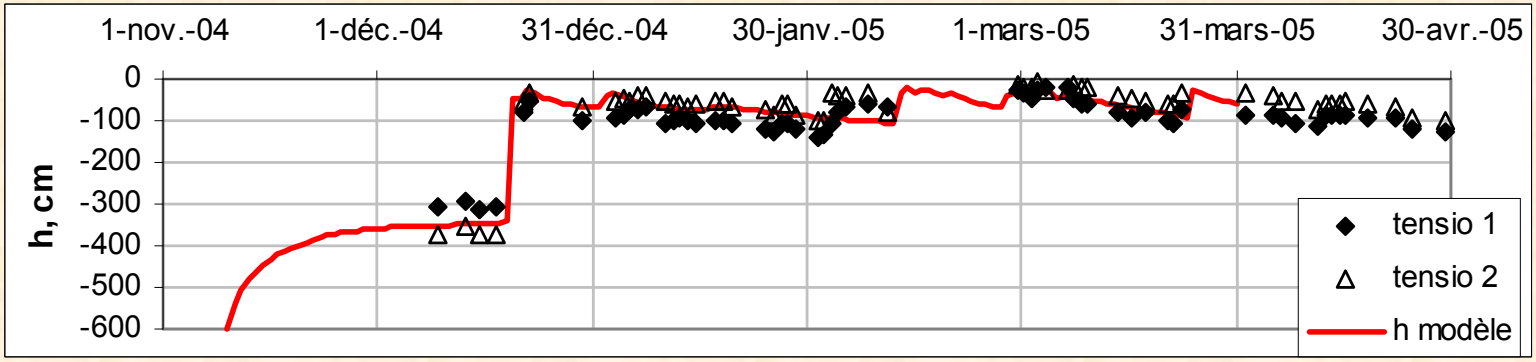
Résultats du calage (transfert hydrique)

- Potentiels hydriques (h) de la parcelle témoin

15 cm

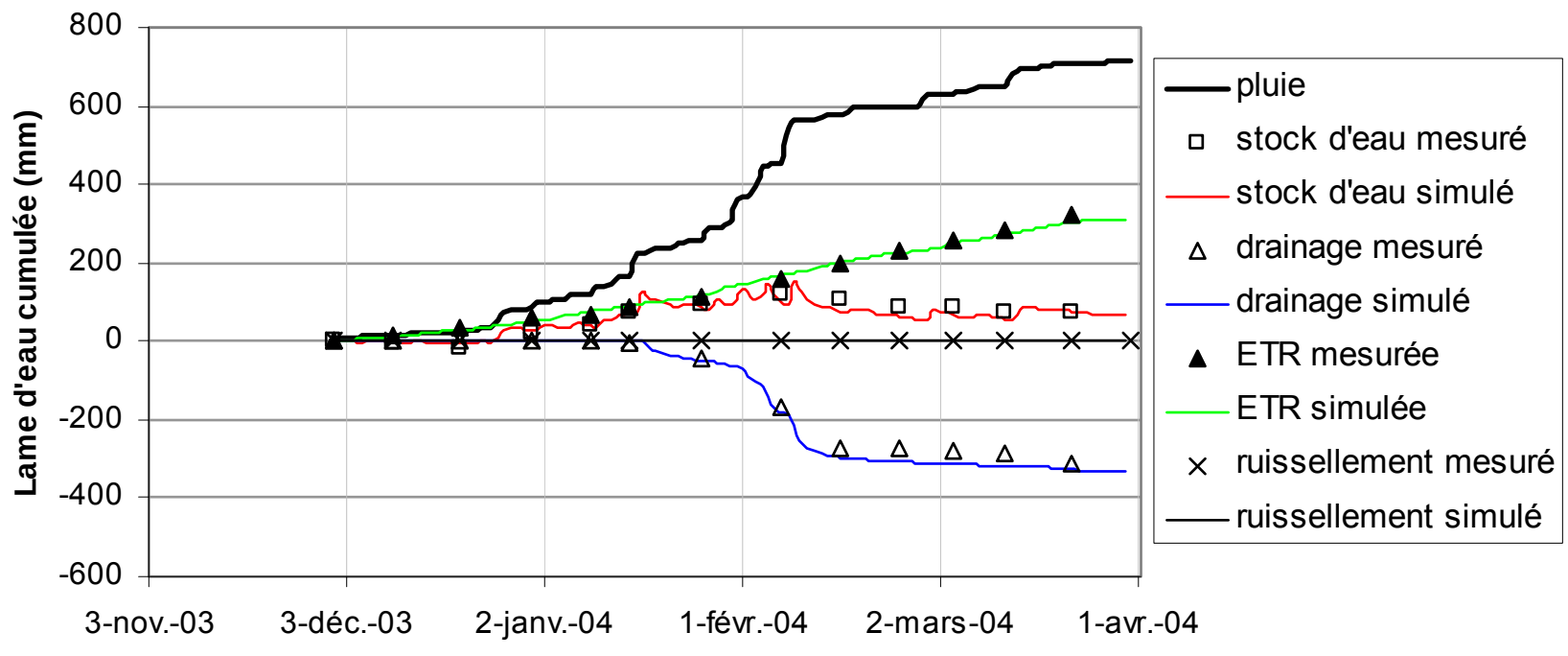


120 cm

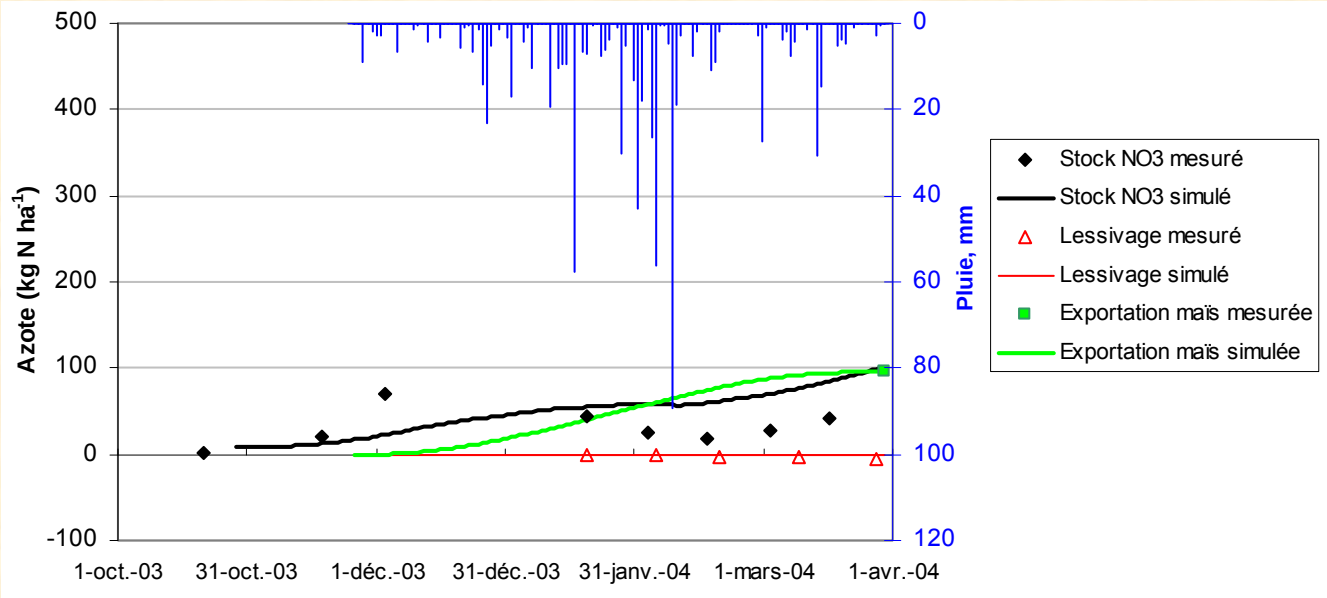


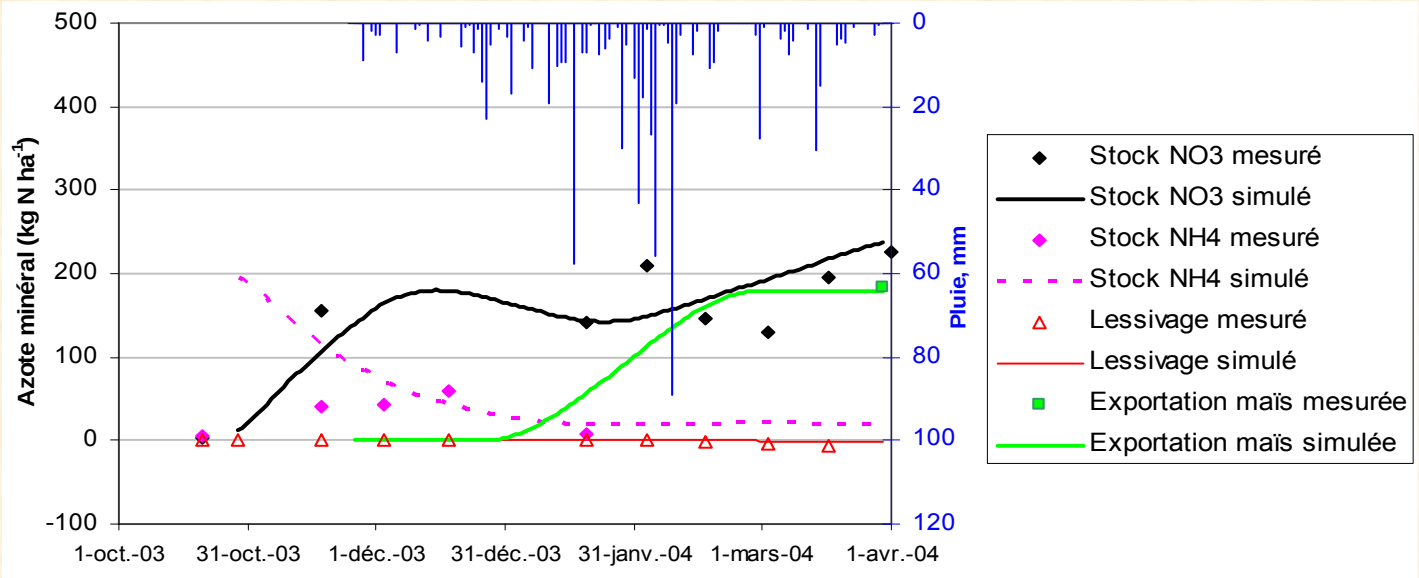
Validation du modèle sur la saison 2003/04

Résultats de la validation : Bilan hydrique – parcelle lisier



Résultats de la validation : Bilan d'azote minéral





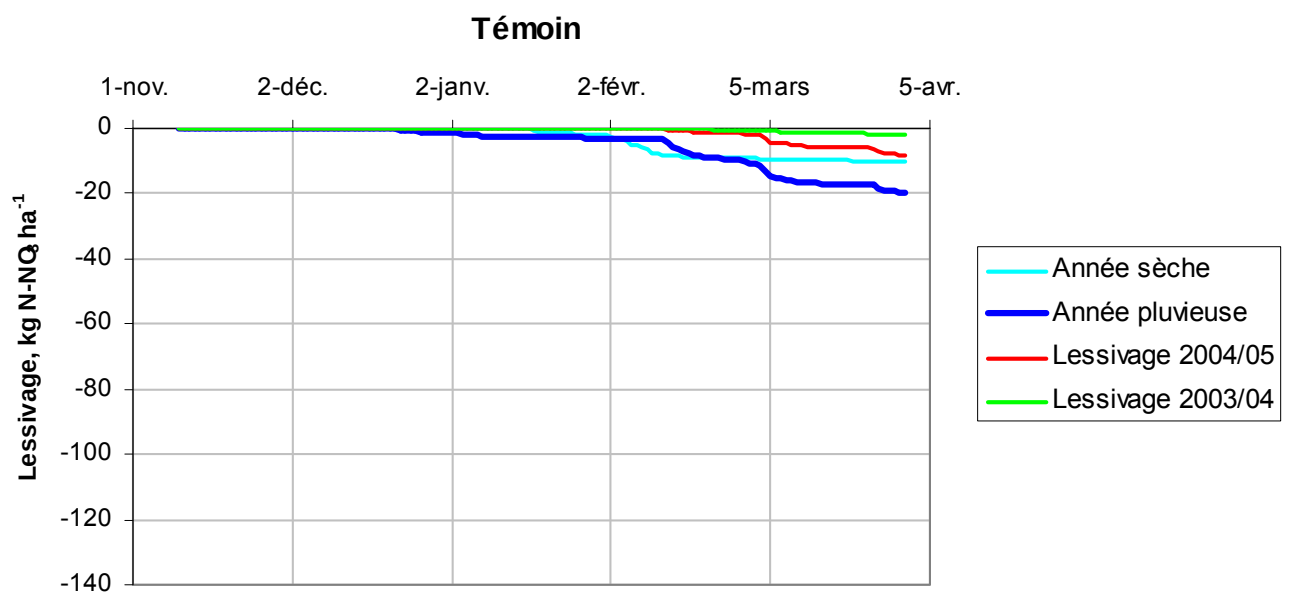
Réalisation de scénarios

- But : réaliser une étude prospective des risques de lixiviation des nitrates au delà de la zone racinaire

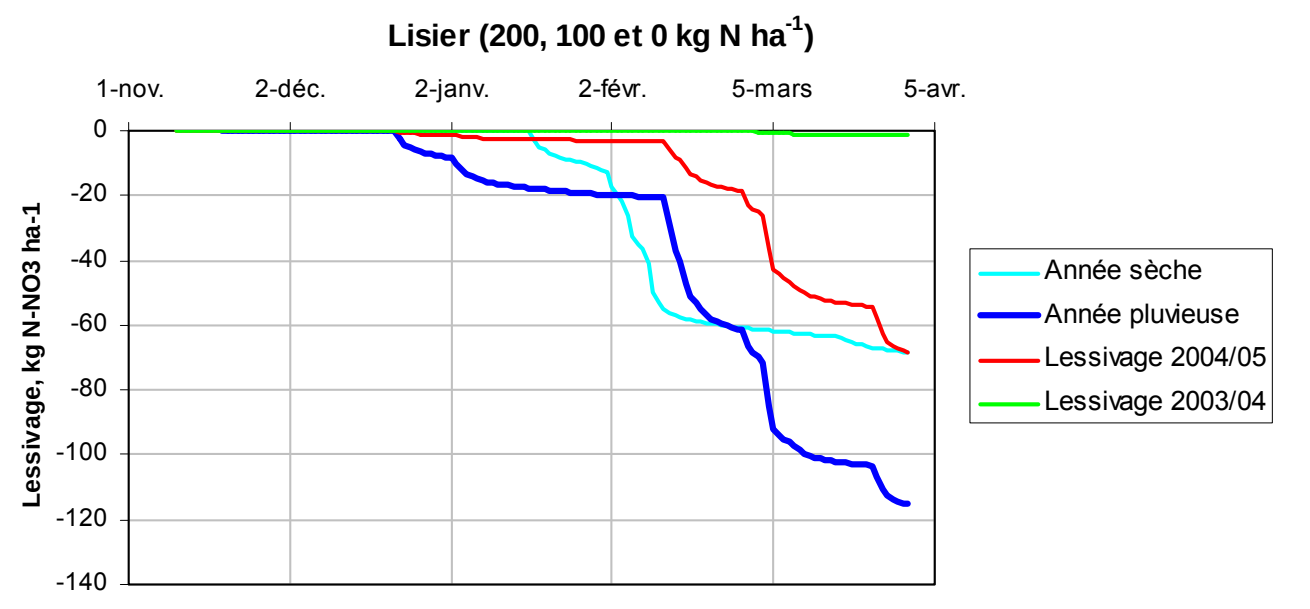
- Simulation fictive de la saison 2005/06
  - avec différents apports de lisier (0, 100 et 200 kg N ha^{-1})
  - En conditions climatiques sèche (03/04) et humide (04/05)

Résultat de la simulation des scénarios

Parcelle témoin



Parcelle lisier



Conclusions générales

- ➔ **Risque réel de pollution des nappes par les nitrates après l'épandage de lisier sur un sol cultivé**
- ➔ **Importance de suivre les flux d'eau et de nitrate dans le sol et le sous-sol**
- ➔ **Généralisation des résultats : utilisation de la modélisation**

CARACTÉRISATION DU RISQUE

Inventaire quantitatif et qualitatif des substances potentiellement dangereuses

Nitrates

Cible impactée : la nappe profonde

ALÉA

Identification des réponses

Caractérisation des réponses :

- Relation dose - réponse
- Conditions, modalités et probabilité d'occurrence

X

VULNÉRABILITÉ

Caractérisation de la cible :

- Évaluation de sa variabilité
- Évaluation de sa sensibilité

Évaluation de l'exposition

= **CARACTÉRISATION DU RISQUE**

Conseil, aide à la décision, modification de pratiques

CARACTÉRISATION DU RISQUE

Inventaire quantitatif et qualitatif des substances potentiellement dangereuses

Nitrates

Cible impactée : la nappe profonde

ALÉA

Mécanismes de formation des nitrates : connus

Relation dose – réponse : modélisée

Propriétés des sols conditionnant l'adsorption : identifiées

X

VULNÉRABILITÉ

Caractérisation de la cible :

- Évaluation de sa variabilité

- Évaluation de sa sensibilité

Évaluation de l'exposition

= **CARACTÉRISATION DU RISQUE**

Conseil, aide à la décision, modification de pratiques

CARACTÉRISATION DU RISQUE

Inventaire quantitatif et qualitatif des substances potentiellement dangereuses

Nitrates

Cible impactée : la nappe profonde

ALÉA

Mécanismes de formation des nitrates : connus

Relation dose – réponse : modélisée

Propriétés des sols conditionnant l'adsorption : identifiées

X

VULNÉRABILITÉ

Caractérisation de la cible :

- Évaluation de sa variabilité

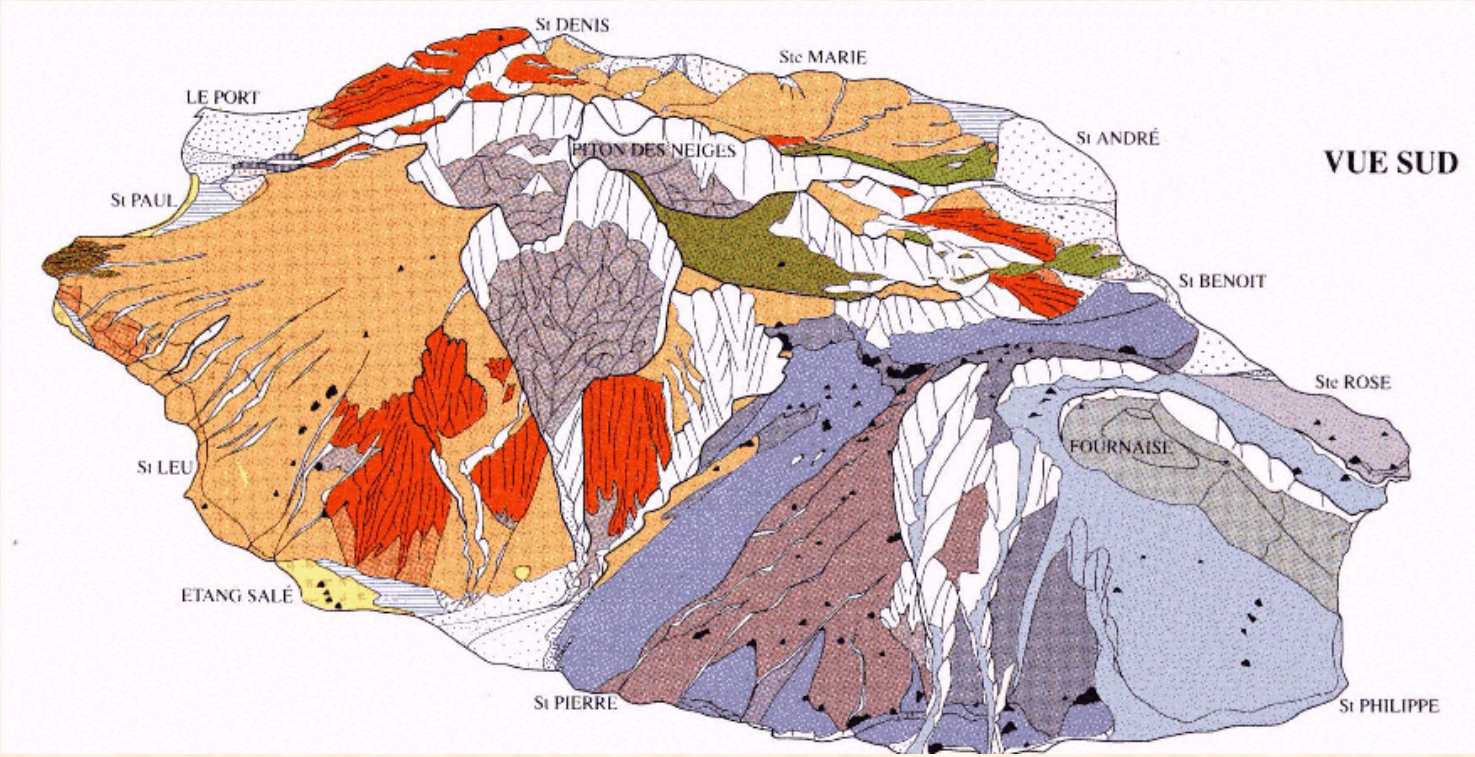
- Évaluation de sa sensibilité

Évaluation de l'exposition

= **CARACTÉRISATION DU RISQUE**

Conseil, aide à la décision, modification de pratiques

Vulnérabilité de la nappe : les transferts de nitrates dans les différents sols

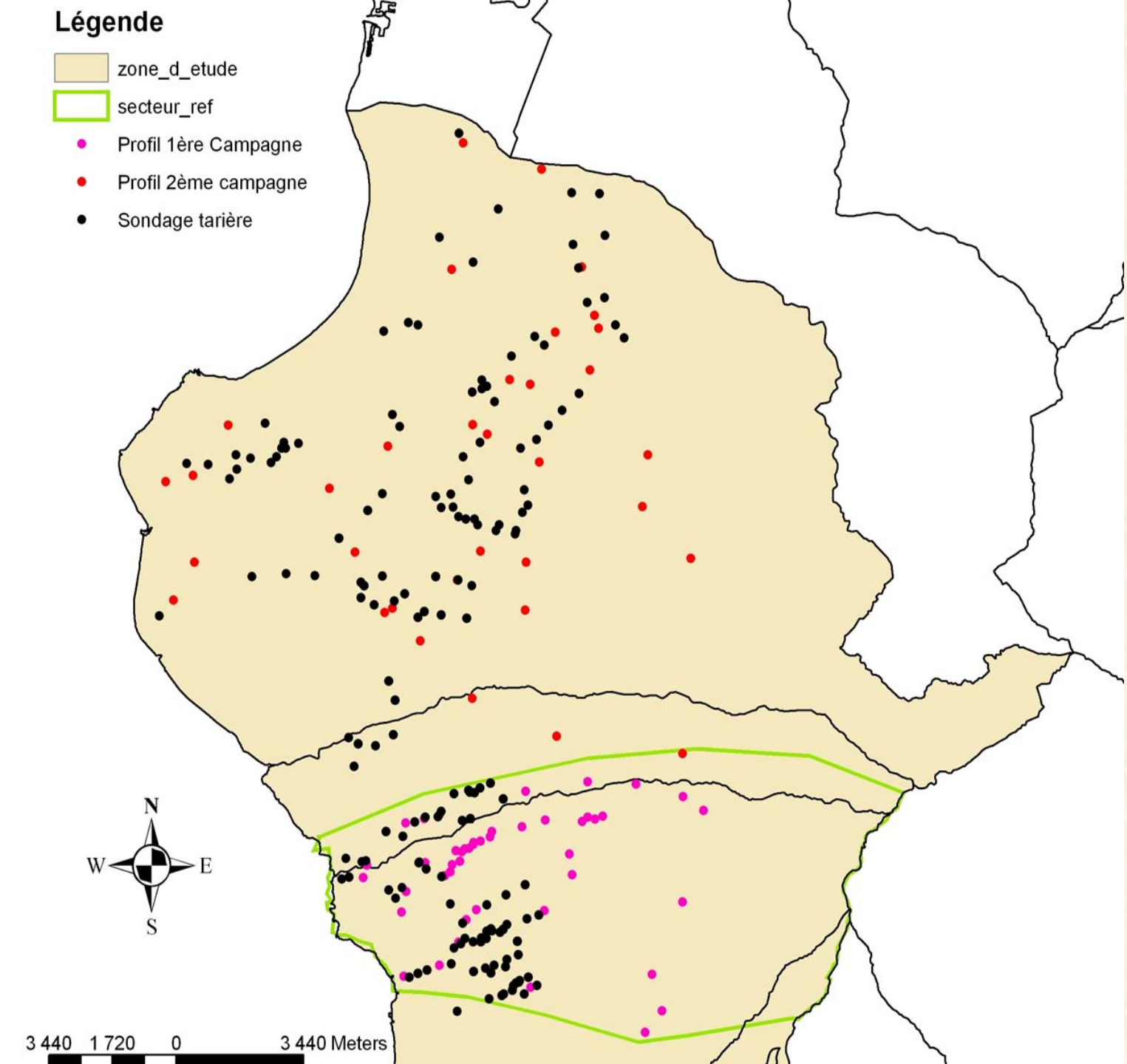


Méthode employée

- Evaluation de la vulnérabilité (vis-à-vis du sol) passe par la connaissance des critères déterminants liés aux transferts à travers les sols.

- Les définitions et données des cartes ne sont pas bien adaptées à la problématique : nécessité d'un retour sur le terrain pour récupérer des données pertinentes sur les propriétés des sols

=> Reconstruction d'une carte pédologique avec des informations pertinentes


Légende
zone_d_etude
secteur_ref
Profil 1ère Campagne
Profil 2ème campagne
Sondage tarière
N
W
E
S
3 440 1 720 0 3 440 Meters

Matériels et Méthodes

- Mesure de conductivité hydraulique (méthode Beerkan)
- Pour chaque horizon de chaque profil, deux types d'échantillons : un pour archivage et un autre pour les analyses
  - pH_{eau}, pH_{KCl} et pH_{NaF}
  - $C_{org.}$, MO, $N_{tot.}$
  - Rétention des phosphates
  - Extraction au CBD et à l'oxalate de Si, Fe et Al
  - Extraction au pyrophosphate de Fe et Al
  - Complexe d'échange anionique, cationique et acidité d'échange
  - Granulométrie
  - Densité optique de l'extrait à l'oxalate

Réalisation de la carte

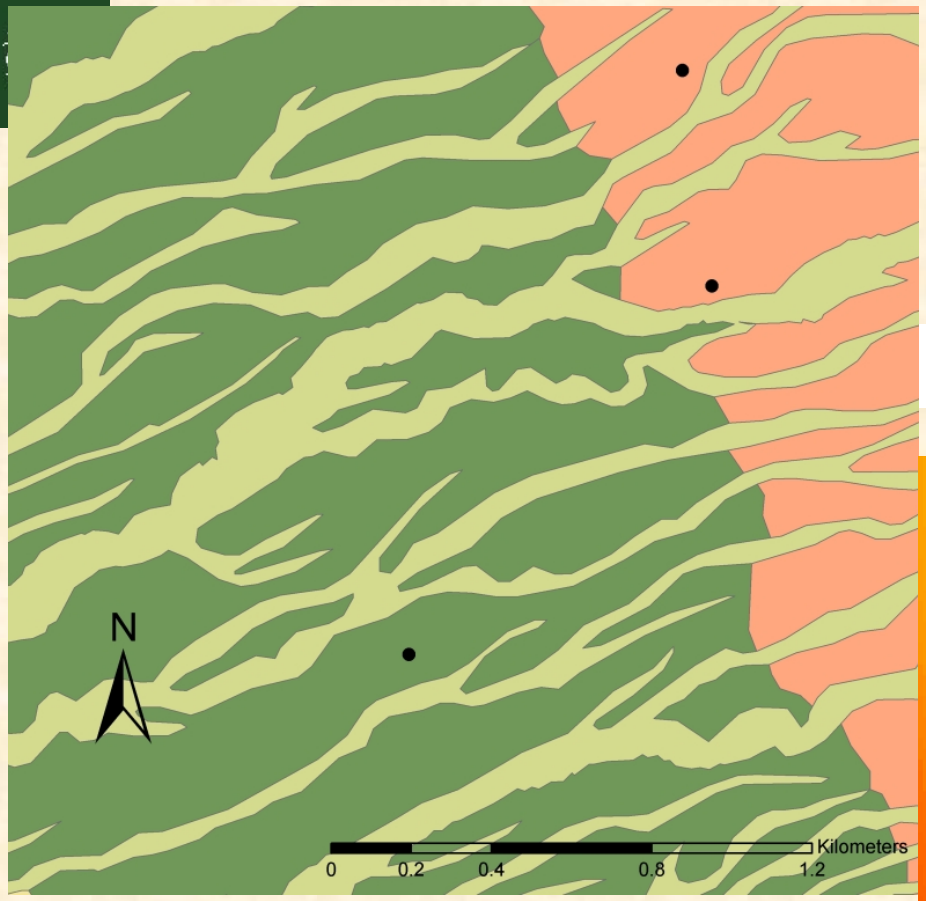
But d'une carte : utilisation au mieux des résultats d'analyses de sols obtenus pour évaluer la vulnérabilité des nappes

Il existe 2 approches :

- Utilisation des données pour la reconstruction d'une carte
- Utilisation des données ponctuelles de chaque fosse pour réaliser des extrapolations pour chaque variable => obtention de cartes pour chaque variable à agréger dans un modèle.

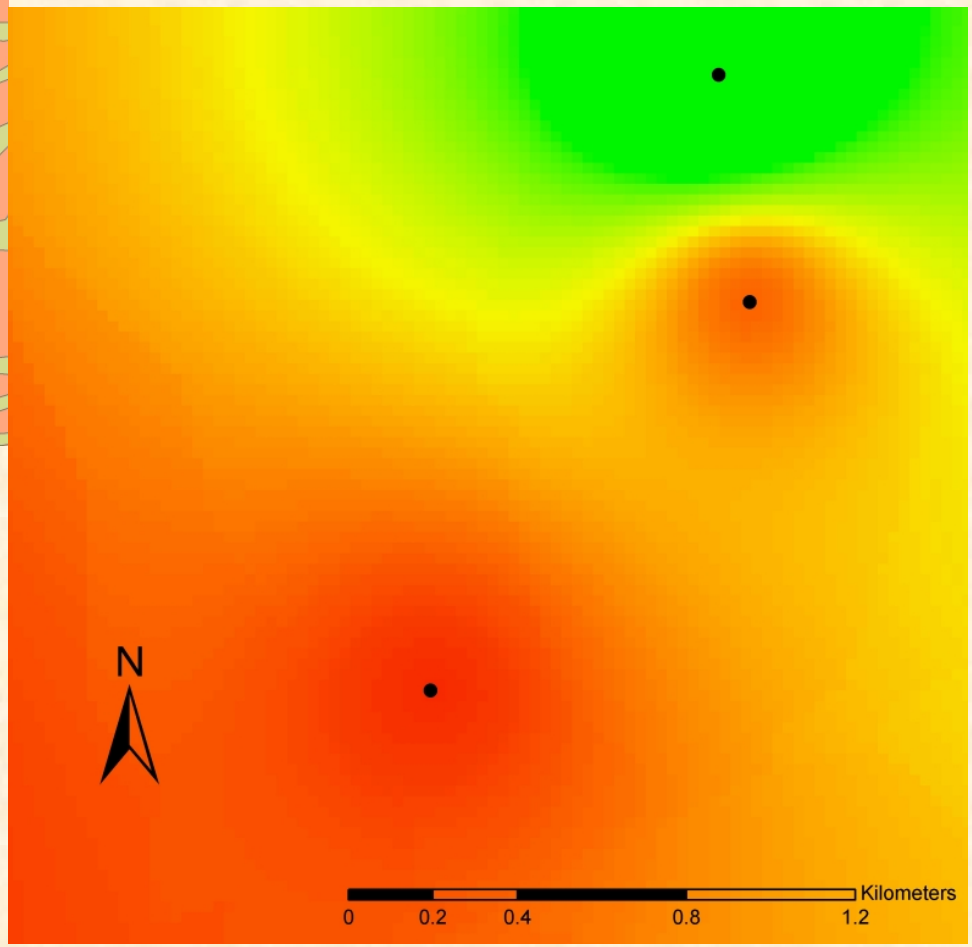
La reconstruction de la carte est une approche plus réaliste.

La cartographie extrapolée propose des changements plus diffus dans les propriétés, ce qui ne reflète pas la réalité du terrain.



Approche cartographie des sols

Approche interpolation des données



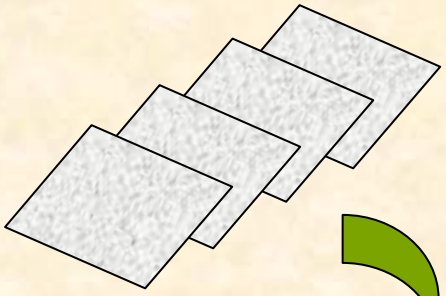
Données issues de la campagne de prospection (fosses et tarières)

SIG

Réalisation de la carte pédologique

Extraction de cartes thématiques

(pour chaque propriété)



SIG + Modèle SOL_Class

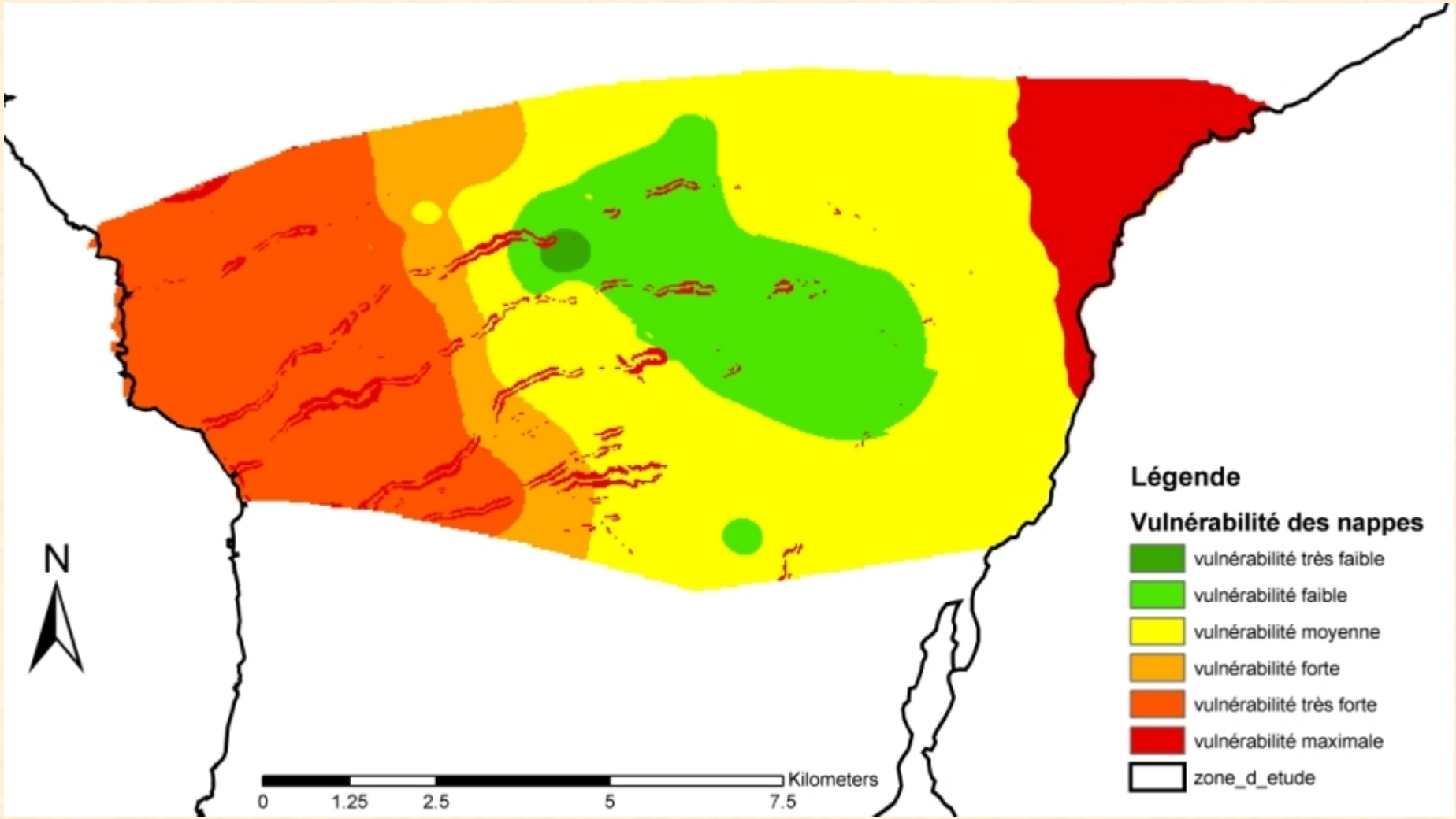
Carte de la sensibilité des sols

Deux grands types de propriétés régissent le transfert de polluant à travers les sols (les nitrates en particulier) :

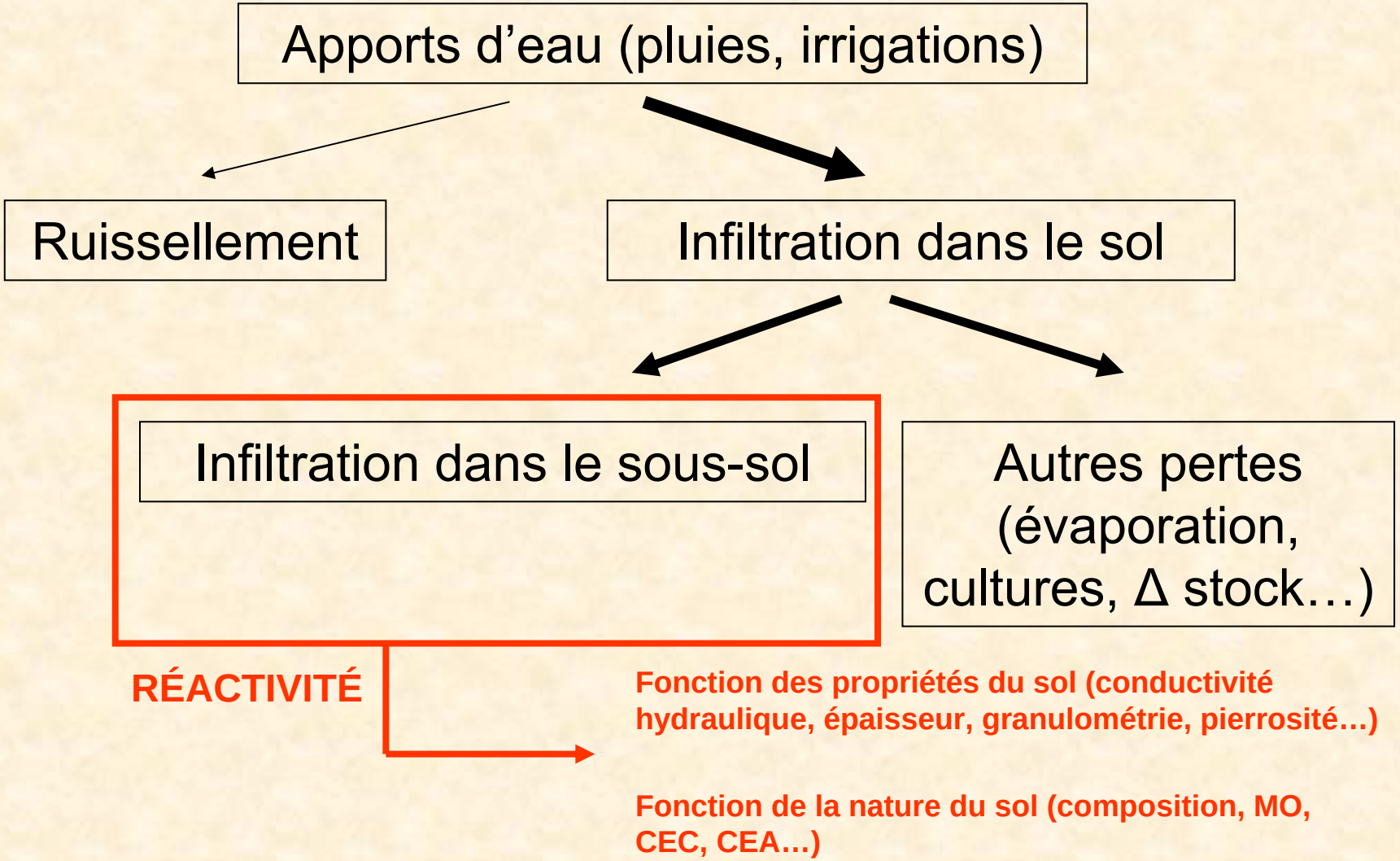
- **Propriétés d'ordre physique** : moteur du transfert de nitrates = mouvement de l'eau :
  - Conductivité Hydraulique
  - Taux de matière organique
  - Texture

- **Propriétés d'ordre chimique** : fonction d'atténuation, favorisant la rétention des nitrates :
  - pH
  - CEA
  - Extraction à l'oxalate

Vulnérabilité des nappes



Hiérarchisation des propriétés définissant la vulnérabilité



CARACTÉRISATION DU RISQUE

Inventaire quantitatif et qualitatif des substances potentiellement dangereuses

Nitrates

Cible impactée : la nappe profonde

ALÉA

Mécanismes de formation des nitrates : connus

Relation dose – réponse : modélisée

Propriétés des sols conditionnant l'adsorption : identifiées

X

VULNÉRABILITÉ

Caractérisation de la cible :

- Évaluation de sa variabilité

- Évaluation de sa sensibilité

Évaluation de l'exposition

= **CARACTÉRISATION DU RISQUE**

Conseil, aide à la décision, modification de pratiques

CARACTÉRISATION DU RISQUE

Inventaire quantitatif et qualitatif des substances potentiellement dangereuses

Nitrates

Cible impactée : la nappe profonde

ALÉA

Mécanismes de formation des nitrates : connus

Relation dose – réponse : modélisée

Propriétés des sols conditionnant l'adsorption : identifiées

X

VULNÉRABILITÉ

Caractérisation de la cible sol : faite

Évaluation de l'exposition de la nappe : première approche réalisée

= **CARACTÉRISATION DU RISQUE**

Conseil, aide à la décision, modification de pratiques

CARACTÉRISATION DU RISQUE

Inventaire quantitatif et qualitatif des substances potentiellement dangereuses

Nitrates

Cible impactée : la nappe profonde

ALÉA

Dose très élevée

Pluviométrie importante

X

VULNÉRABILITÉ

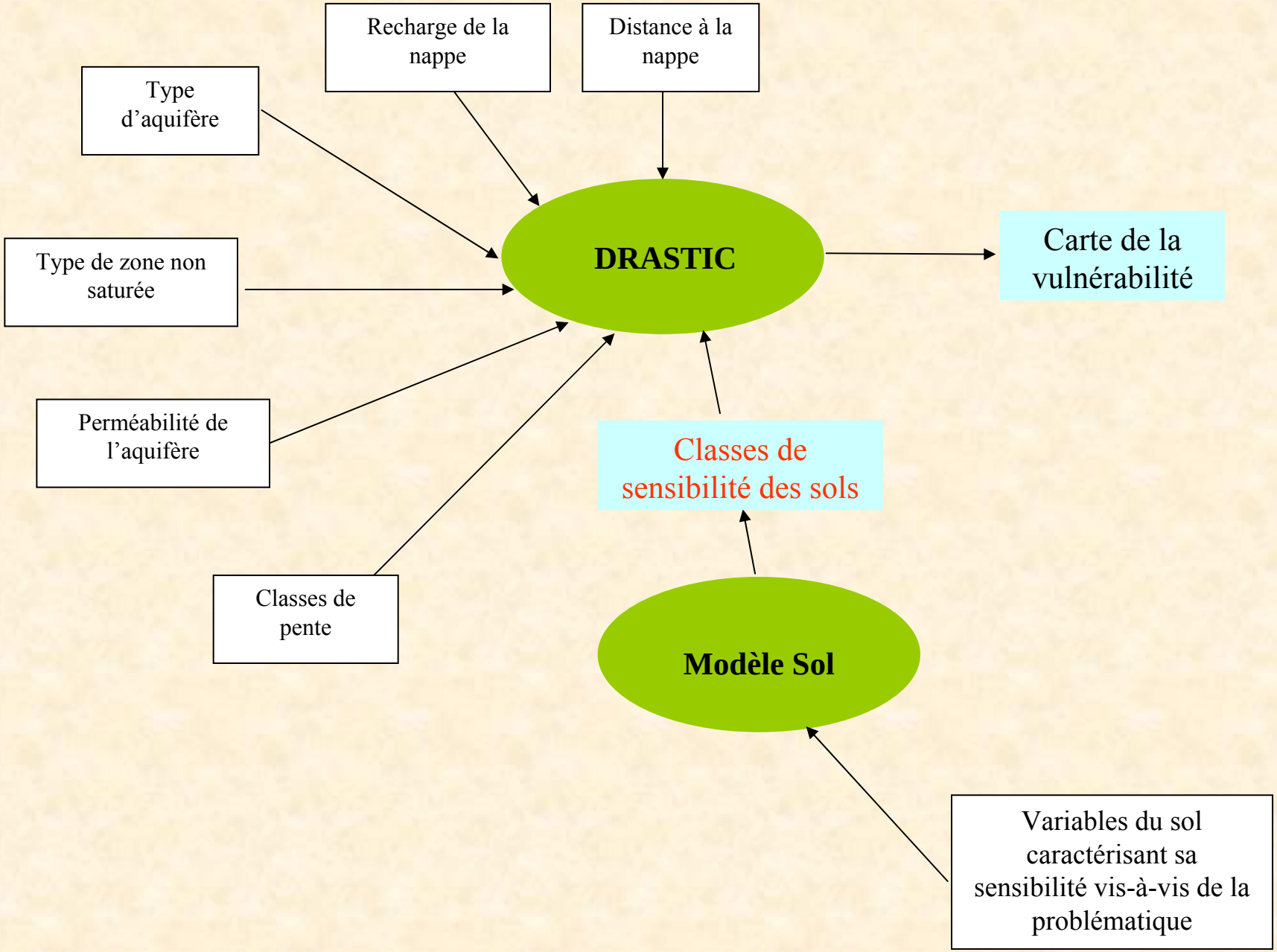
Sol « perméable »

ou

Sol « adsorbant »

= **CARACTÉRISATION DU RISQUE**

Conseil, aide à la décision, modification de pratiques


Recharge de la nappe
Distance à la nappe
Type d'aquifère
Type de zone non saturée
DRASTIC
Carte de la vulnérabilité
Perméabilité de l'aquifère
Classes de sensibilité des sols
Classes de pente
Modèle Sol
Variables du sol caractérisant sa sensibilité vis-à-vis de la problématique

RISQUES AGRO-ENVIRONNEMENTAUX LIES AUX MATIERES ORGANIQUES

Illustration par le cas des nitrates à La Réunion

Merci de votre attention