



# Processus de contamination des eaux par les produits phytosanitaires

Lise Ponchant

*Emmanuel Maillet*

Formation DPR2 - 2026

[chambres-agriculture-bretagne.fr](http://chambres-agriculture-bretagne.fr)



**INRAE**



**CHAMBRE  
D'AGRICULTURE  
BRETAGNE**



# Sommaire

1. Les objectifs de qualité de l'eau
2. La dispersion dans l'environnement
3. Les distributions des produits phytosanitaires à l'échelle du BV
4. Les caractéristiques des sols
5. Le processus de ruissellement
6. Le processus de transfert via la nappe
7. Synthèse

# ➤ 1. LES OBJECTIFS DE QUALITÉ DES EAUX

---

- Santé humaine : les concentrations
  - eaux distribuées (eau potable)
    - < 0,1 µg/l : 1 matière active présente
    - < 0,5 µg/l : somme des matières actives
  - eaux brutes (qui peuvent être traitées pour être distribuées)
    - < 2 µg/l : 1 matière active présente (2 µg/l : valeur OMS)
    - < 5 µg/l : somme des matières actives
- Santé des écosystèmes aquatiques : toxicité aquatique (exposition)
  - Toxicité aiguë : test de toxicité et d'écotoxicité
  - Toxicité chronique : les flux et les concentrations

# 1. LES OBJECTIFS DE QUALITÉ DES EAUX

- DREAL – Comité Indicateurs Ecophyto 11 décembre 2024

## Résultats qualité de l'eau du réseau CORPEP



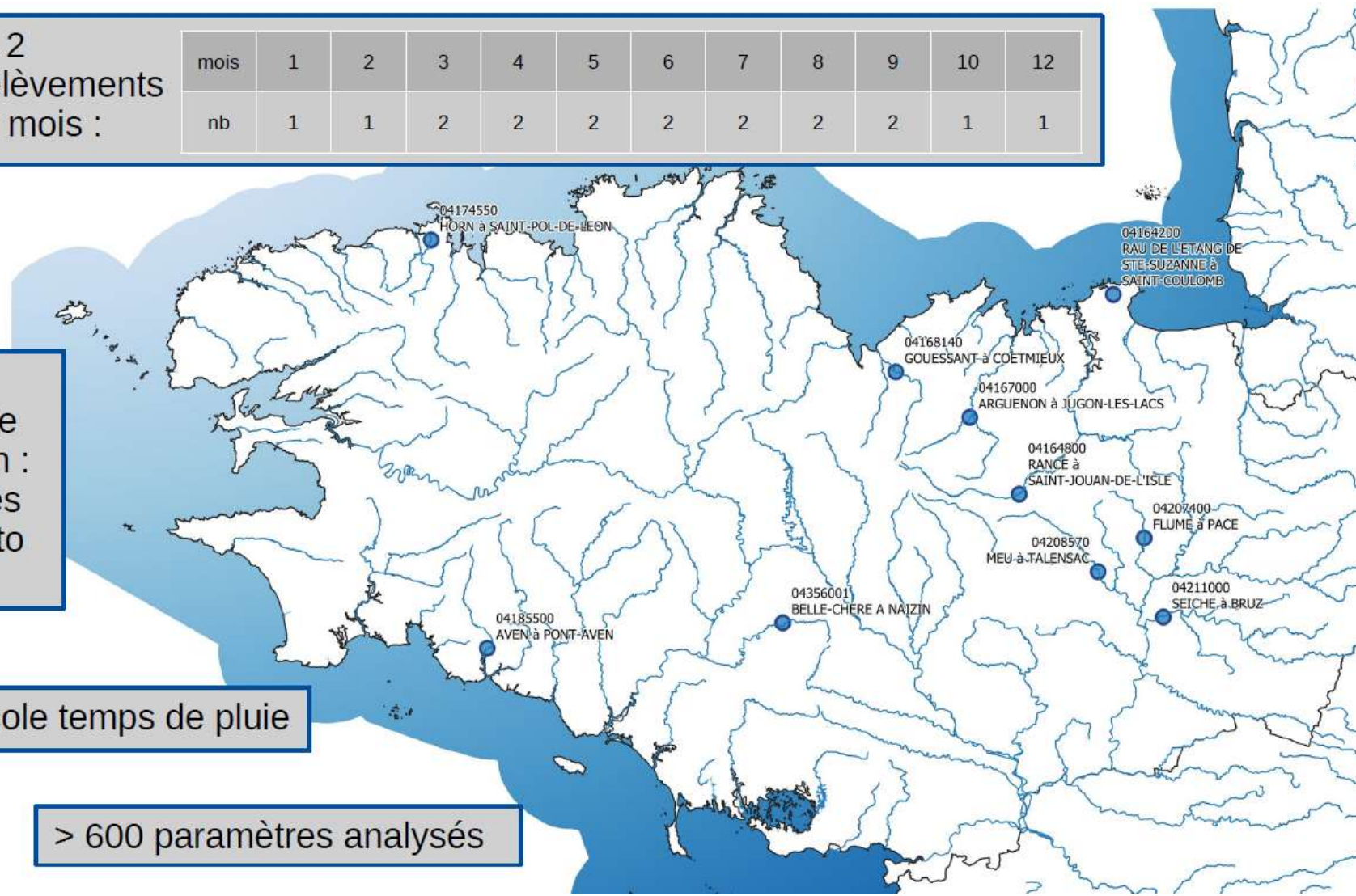
1 à 2  
Prélèvements  
par mois :

mois	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12
nb	1	1	2	2	2	2	2	2	2	1	1

10 stations  
réparties sur le  
territoire breton :  
représentatives  
pressions phyto  
existantes

Protocole temps de pluie

> 600 paramètres analysés



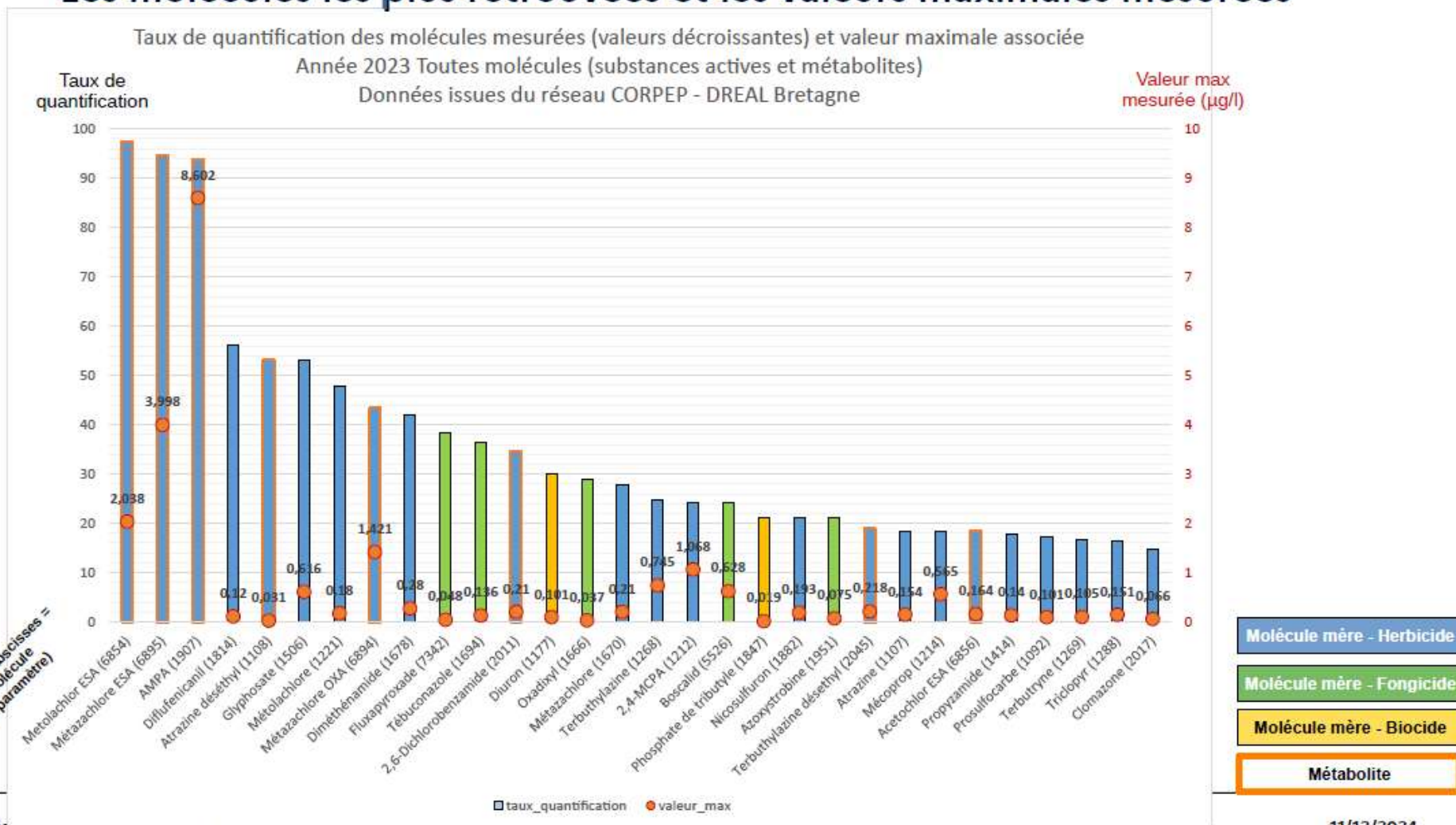
# 1. LES OBJECTIFS DE QUALITÉ DES EAUX

- DREAL – Comité Indicateurs Ecophyto 11 décembre 2024

## Résultats qualité de l'eau du réseau CORPEP



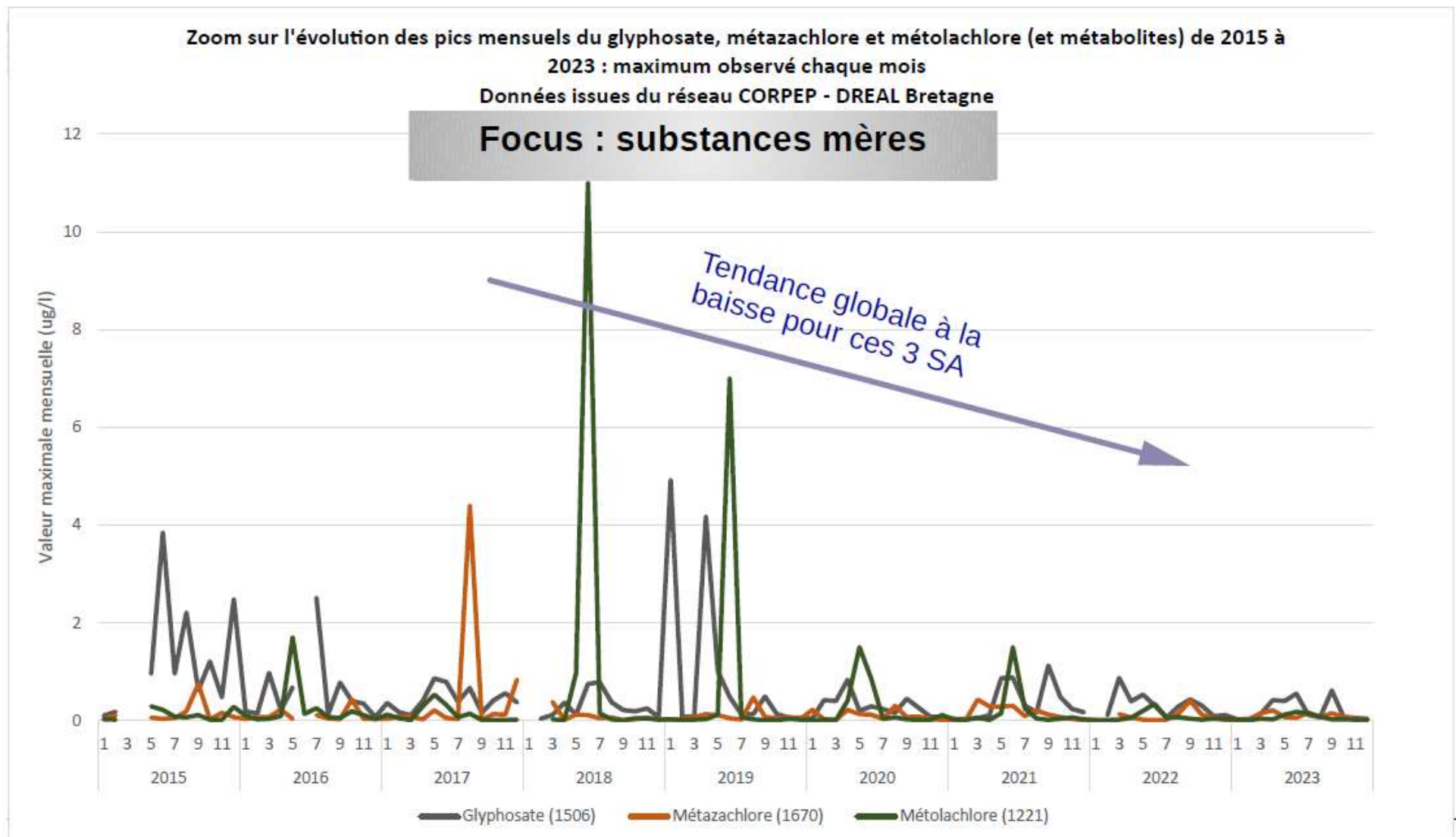
### Les molécules les plus retrouvées et les valeurs maximales mesurées



# 1. LES OBJECTIFS DE QUALITÉ DES EAUX

- DREAL – Comité Indicateurs Ecophyto 11 décembre 2024

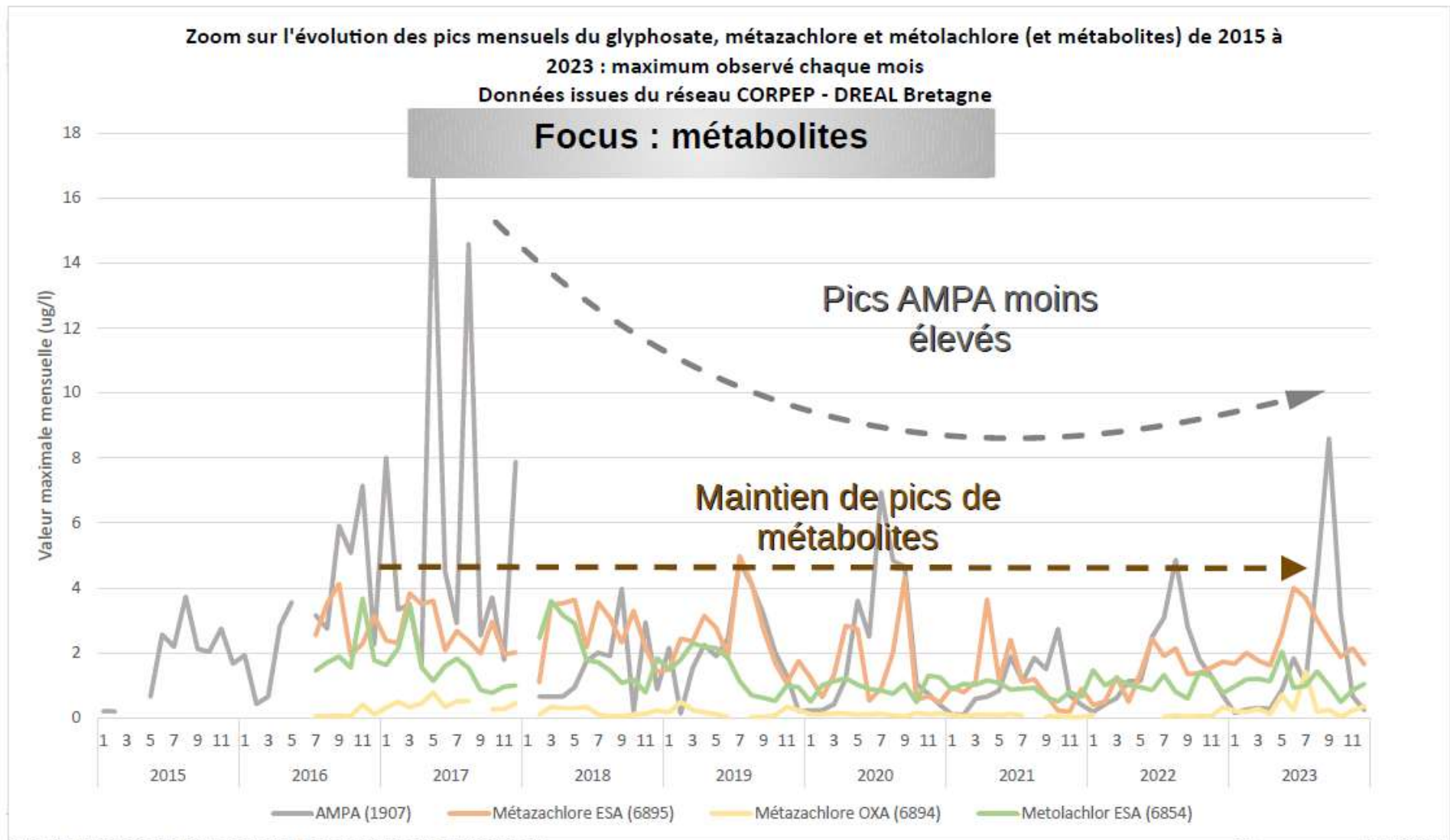
## Résultats qualité de l'eau du réseau CORPEP



# 1. LES OBJECTIFS DE QUALITÉ DES EAUX

- DREAL – Comité Indicateurs Ecophyto 11 décembre 2024

## Résultats qualité de l'eau du réseau CORPEP



# 1. LES OBJECTIFS DE QUALITÉ DES EAUX

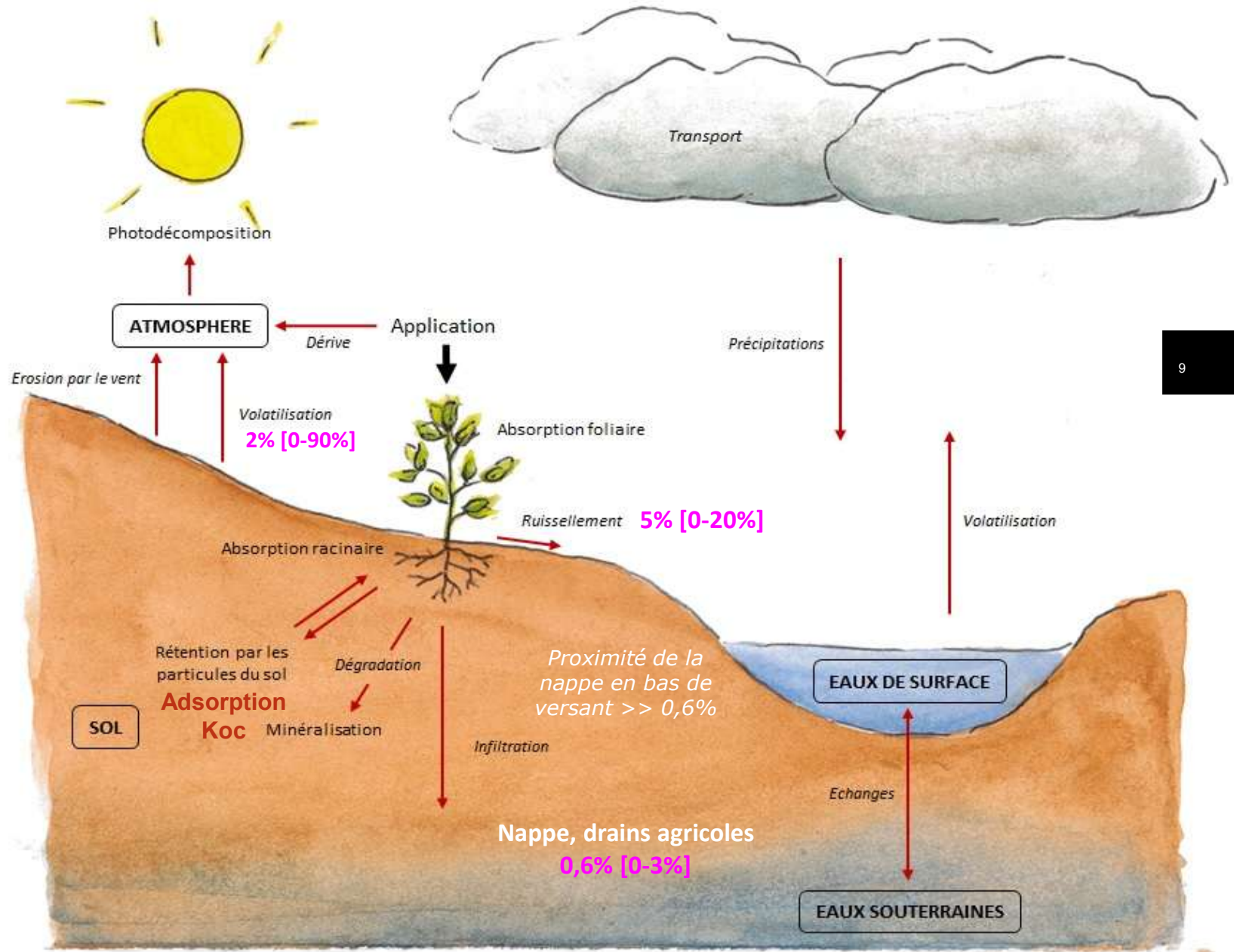
---

- DREAL – Comité Indicateurs Ecophyto 11 décembre 2024: analyse réseau CORPEP 2023
  - Une forte diversité de molécules, des pics de concentration
  - Un TOP 5 : 4 HERBICIDES + 1 FONGICIDE céréales
    - H : Diflufénicanil, Glyphosate, S-métolachlore, DMTA-P (céréales, maïs, jachères-cultures intermédiaires)
    - F : Fluxapyroxade (rouilles, oïdium), Tébuconazole (rouille, fusariose)
  - Des métabolites aux taux de quantification (fréquence) très élevés
  - Herbicides principalement retrouvés, quelques fongicides

## 2. LA DISPERSION DANS L'ENVIRONNEMENT

Tous les compartiments de l'environnement sont touchés:

Eau – Sol - Air



Devenirs des MA :

**Adsorption**

**Dégradation**

**Transport** (Transfert)

Transfert **dissout**

Transfert **solide**, MA

adsorbées sur MES

(érosion)

Adsorption : Koc

## 2. LA DISPERSION DANS L'ENVIRONNEMENT

---

- Deux repères à l'échelle parcelle

- **CAS n°1 : TRANSFERT PAR LA NAPPE**

Traitement de 500 g/ha

Pluviométrie de 800 mm/an et ETP de 400 mm/an = une lame infiltrée de 400 mm/an

Quantité potentiellement transférée en  $\mu\text{g}$  par litre d'eau infiltrée =

dose  $((\text{g/ha}) * 10^6)$  en  $\mu\text{g/ha}$  / lame  $((\text{mm}) * 10^4)$  en l/ha

- Si 100% transféré → 125  $\mu\text{g}$  par litre d'eau infiltrée
- Si 1% transféré → 1,25  $\mu\text{g}$  par litre d'eau infiltrée
- Si 0,1% transféré → 0,125  $\mu\text{g}$  par litre d'eau infiltrée

Rappel : 1 mm = 1 L/m<sup>2</sup>

## 2. LA DISPERSION DANS L'ENVIRONNEMENT

---

- Deux repères à l'échelle parcelle

- **CAS n°2 : TRANSFERT PAR RUISSELLEMENT**

Traitement de 500 g/ha

Matière active fortement adsorbée sur la fraction solide du sol et répartie dans le 1<sup>er</sup> cm du sol à une teneur en eau de 40 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>

Q ma solide = 487 g/ha (Q ma eau = 13 g/ha)

On suppose une pluie de 10 mm qui transporte par ruissellement le pesticide contenu dans les 2 premiers cm du sol

La concentration de ces 10 mm d'eau qui ruissellent est de 24 µg/l  
( $\gg 0,1 \mu\text{g/l} - 2 \mu\text{g/l}$ )

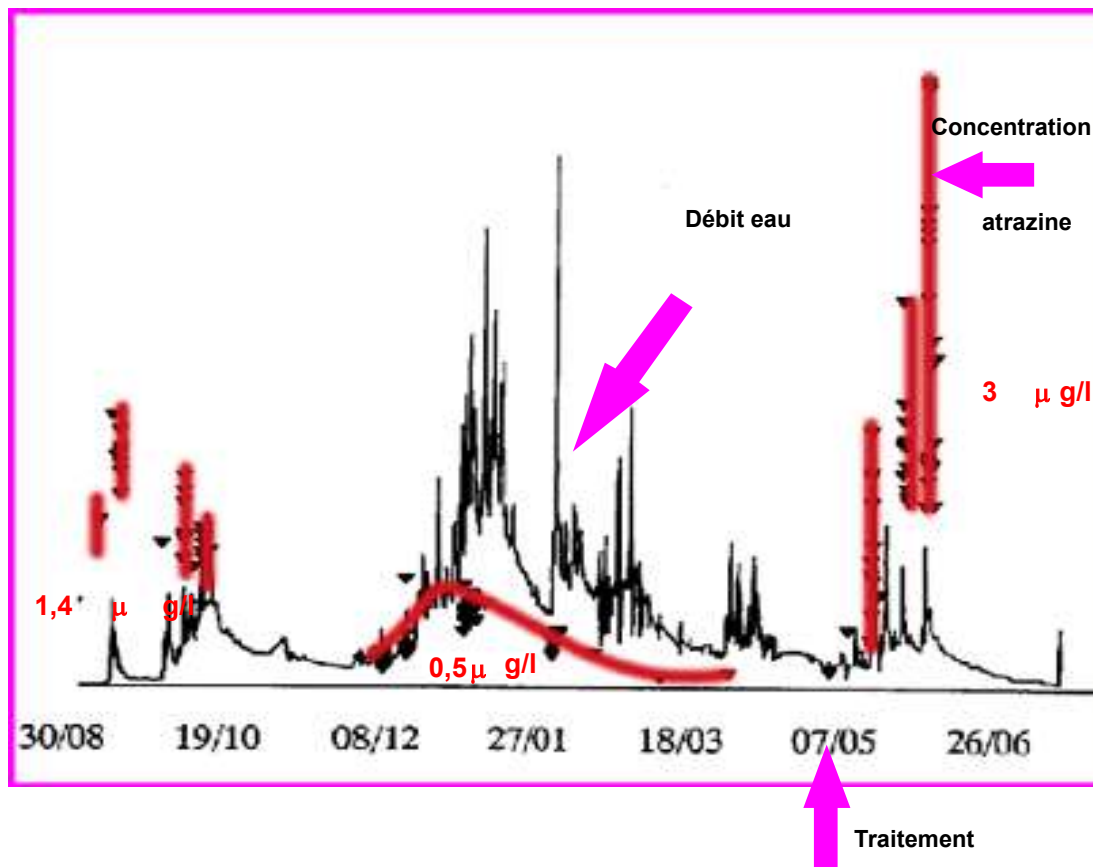
Produits phytosanitaires: une petite « fuite » a un impact fort !

➔ Mettre en œuvre une combinaison de leviers d'actions

### 3. DISTRIBUTION DES PRODUITS PHYTOSANITAIRES A L'ECHELLE DU BV

- Concentration en Atrazine (Naizin, sur une année)

source : IRSTEA



- pertes : quelques %

- en crue : 70%

- hors crue : 30%

- les fortes concentrations sont en crue

Bilan sur quelques années :  
Fuites = 1% des applications

70% liées aux pluies et 30% à la connexion de la nappe au cours d'eau  
Des pertes faibles (1%) mais suffisent au dépassement des normes

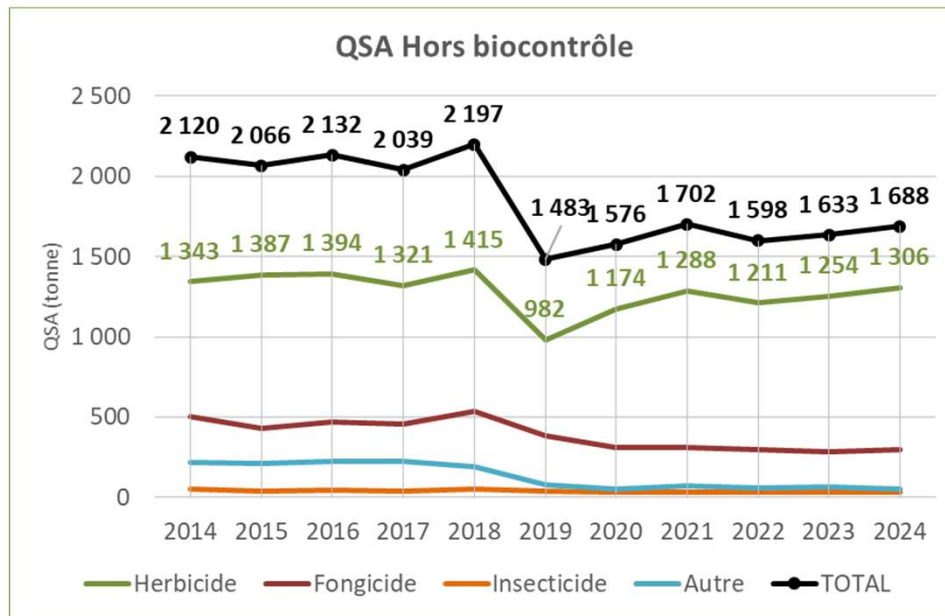
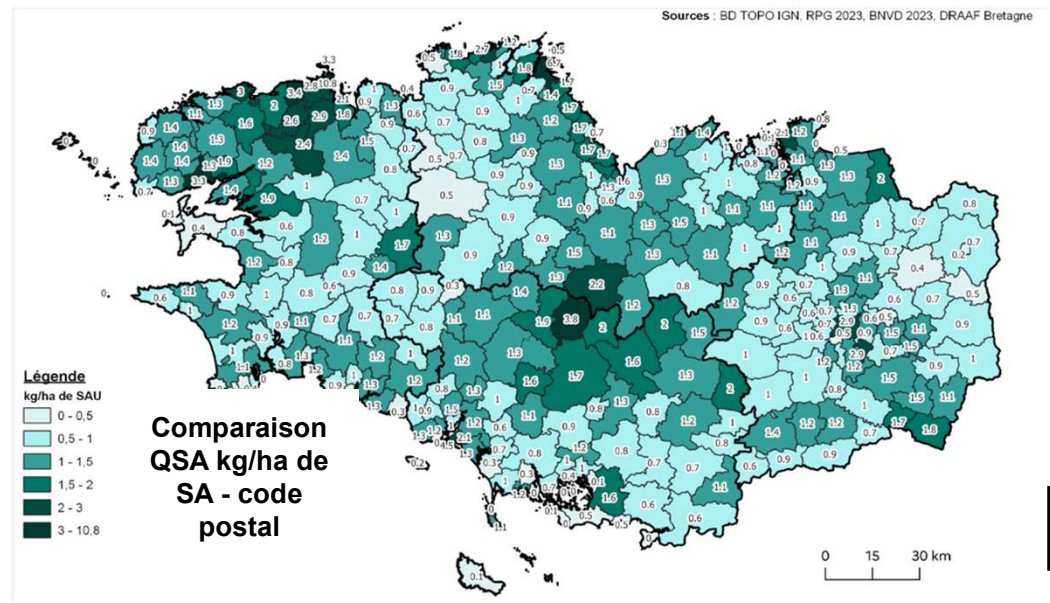
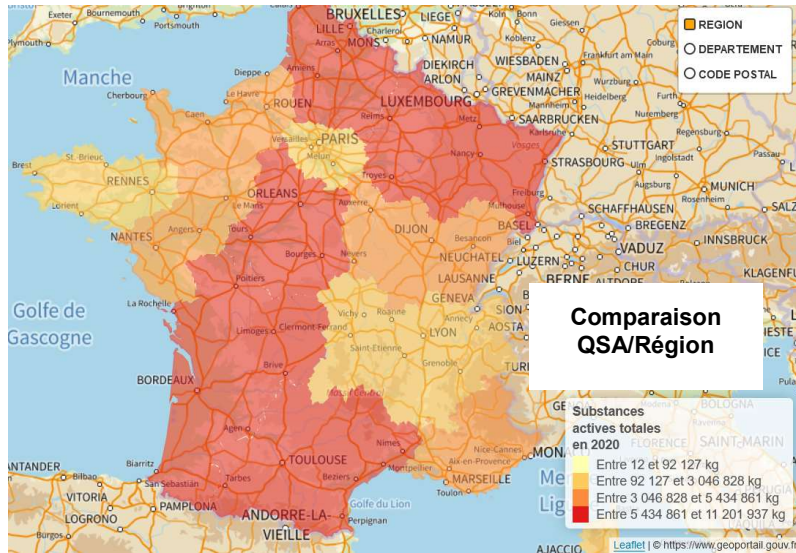
## 3. DISTRIBUTION DES PRODUITS PHYTOSANITAIRES A L'ECHELLE DU BV

---

### LES FACTEURS CLES DE LA CONTAMINATION DES EAUX

1. Les **quantités appliquées** dans l'année sur le territoire (BV, Région, France...)
2. Les **propriétés des matières actives** : mobilité, persistance
3. L'importance du **ruissellement**
  - *Caractéristiques du sol : MO (battance), hydromorphie.*
  - *Climat*
4. La **recharge à la nappe** : écoulements rapides
  - *Caractéristique du sol : hydromorphie à faible profondeur.*
  - *Climat*
  - *Drainage agricole : faible épaisseur de la Zone Non Saturée*
5. La **rétenion et la dégradation** des matières actives
  - *Caractéristiques de l'horizon cultivé. Pratiques agricoles*
6. La **protection du cours d'eau** (jachère, Bande Enherbée ou zone tampon, haie etc.)

# 3. DISTRIBUTION DES PRODUITS PHYTOSANITAIRES A L'ECHELLE DU BV

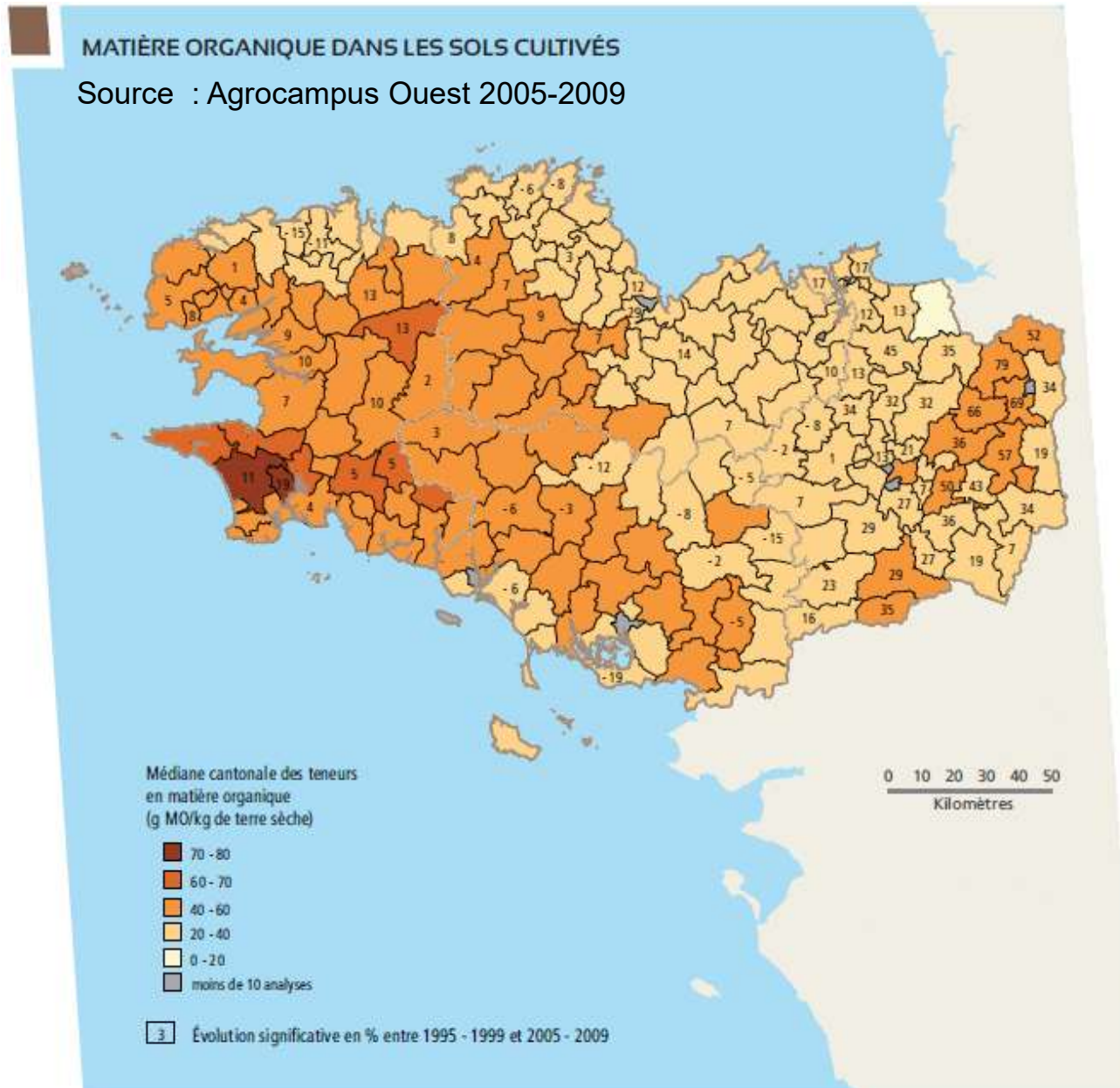


Ventes en Bretagne : 2 « plateaux avant et après 2019, quasi stables depuis 2021.

CAE – Ecophyto, novembre 2024

Les données ventes ne reflètent pas directement les usages : importance des surfaces agricoles et nature des cultures.

## 4. LES CARACTERISTIQUES DES SOLS



### Les caractéristiques des sols

Teneurs en Matière Organique des sols de Bretagne : de 19 à 77 g.kg<sup>-1</sup>

## 4. LES CARACTERISTIQUES DES SOLS

Les stocks de carbone organique dans la partie superficielle des sols métropolitains



**Note** : 1 kg/m<sup>2</sup> équivaut à 10 t/ha.

**Source** : Gis Sol, 2013 – d'après Meersmans *et al.*, 2012. Traitements : SOeS, 2013

### Les caractéristiques des sols

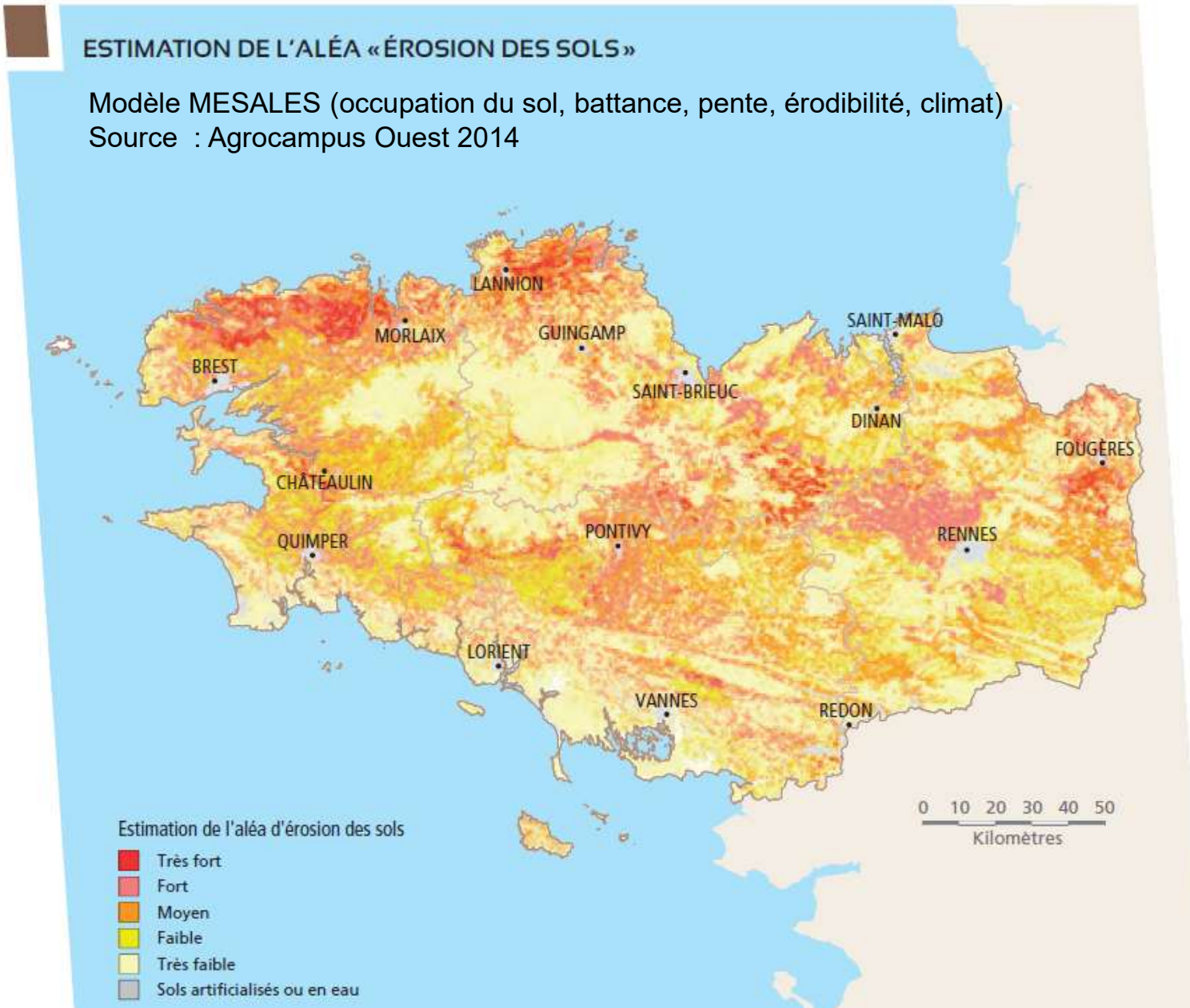
Carbone Organique  
des sols

# 4. LES CARACTERISTIQUES DES SOLS

## ESTIMATION DE L'ALÉA « ÉROSION DES SOLS »

Modèle MESALES (occupation du sol, battance, pente, érodibilité, climat)

Source : Agrocampus Ouest 2014



## L'érosion

Assez diffuse et peu perceptible.

Aléa

- faible pour 59% du territoire

- élevé à très élevé pour 18% du territoire

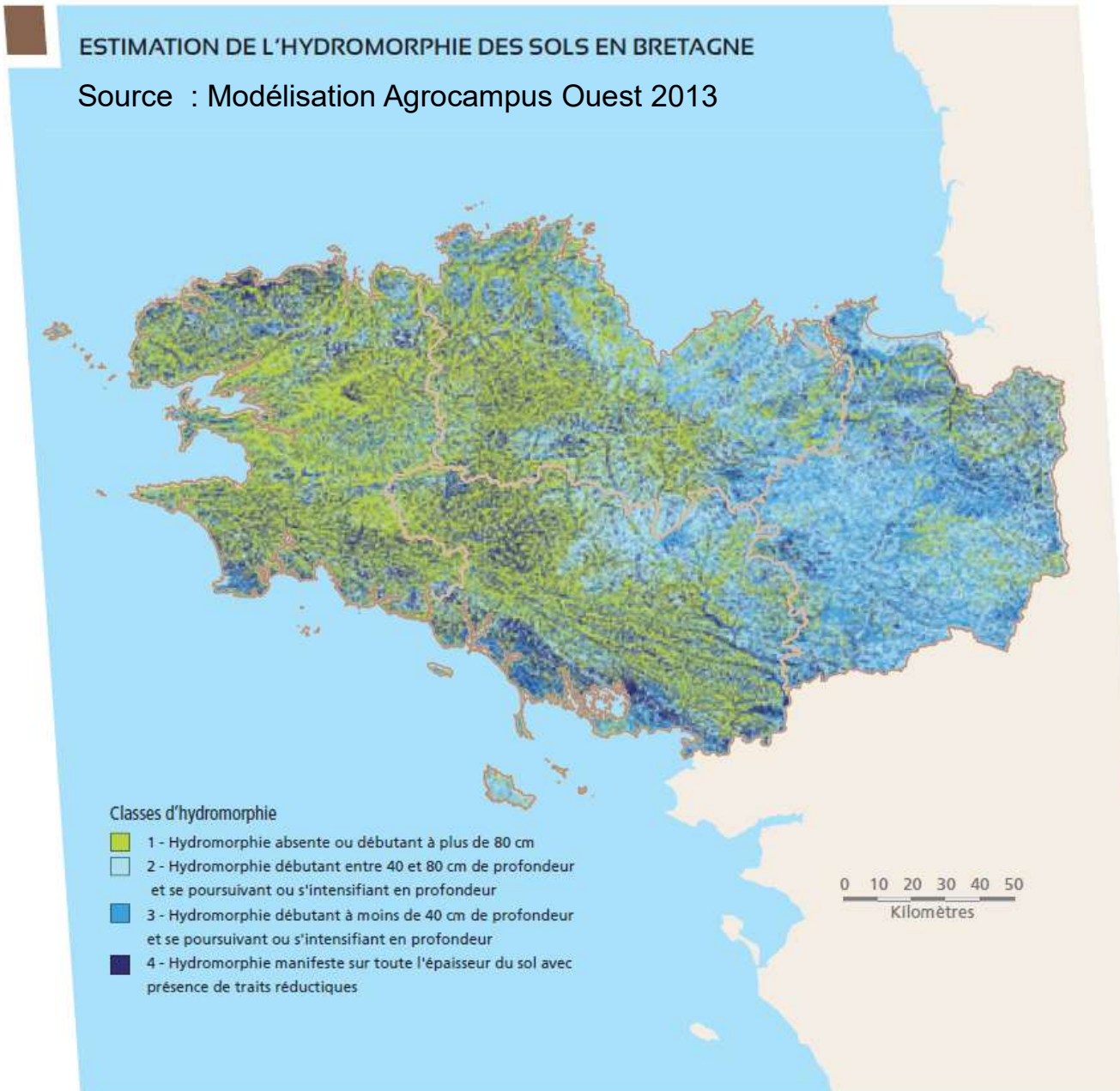
Culture de maïs :  
**300 kg/ha/an** (Cros Cayot, 1996)

**Quelques kg à quelques centaines de kg** sur des petits bassins versants (Lefrançois, 2007).

# 4. LES CARACTERISTIQUES DES SOLS

ESTIMATION DE L'HYDROMORPHIE DES SOLS EN BRETAGNE

Source : Modélisation Agrocampus Ouest 2013



## L'hydromorphie

Sols saturés en eau pendant une période ou toute l'année

→ Importance pour identifier les zones humides

Légende :

**Vert** = absence d'hydromorphie sur 80 cm d'épaisseur

**Bleu** : présence d'hydromorphie entre 80 et 0 cm d'épaisseur

## ➤ 5. LES PROCESSUS DE RUISSELLEMENT

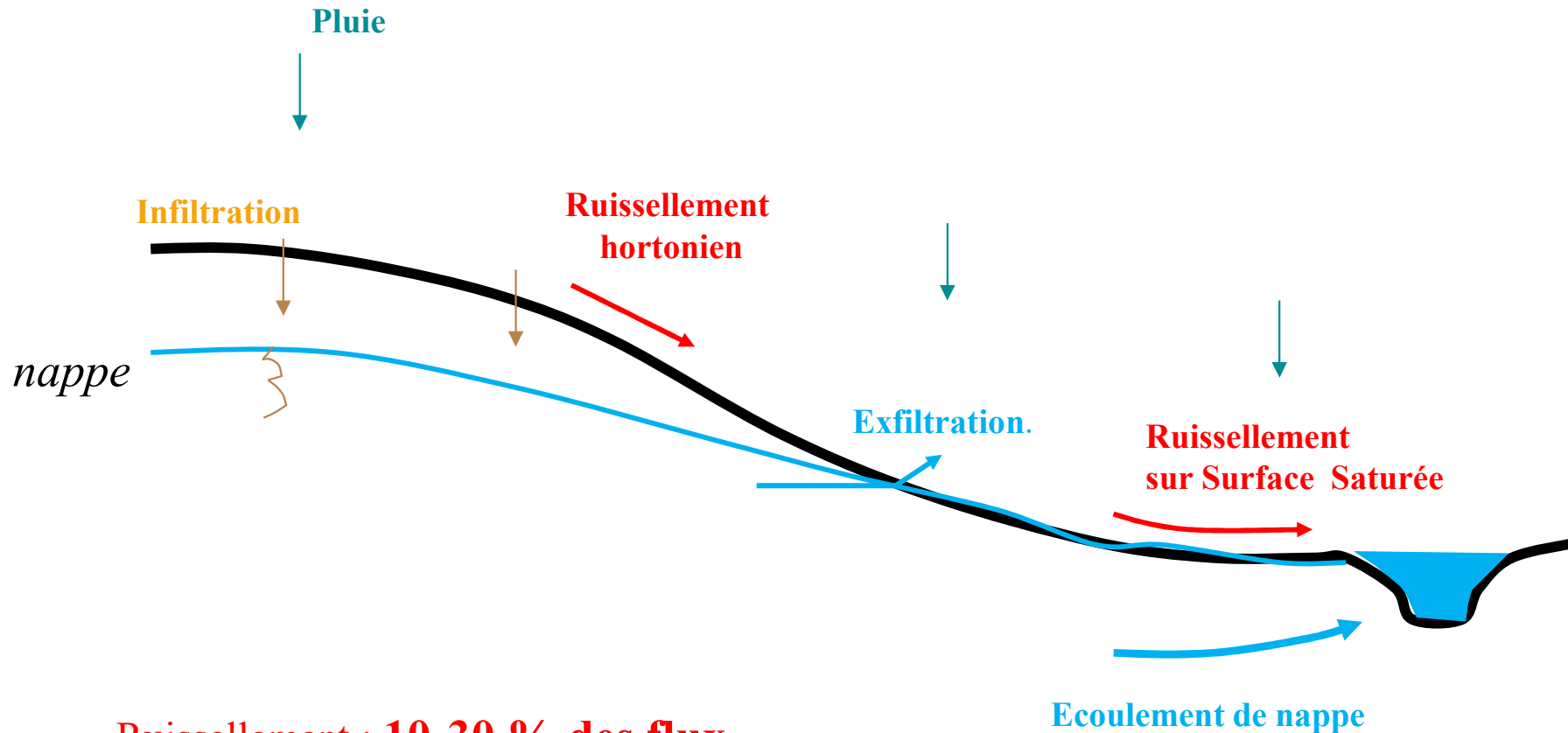
---

### ▪ Quelques définitions :

- **Ruissellement** : écoulement des eaux de surface
- **Erosion** : pertes des particules fines en surface des sols, voies hydrique ou éolienne
- **Lessivage** : transport d'éléments par l'infiltration de l'eau de pluie vers la nappe à travers les horizons de sol

# 5. LES PROCESSUS DE RUISSELLEMENT

## Genèse du ruissellement



20

**Ruissellement : 10-30 % des flux**  
**Ecoulement de base : 90-70 % des flux**

## 5. LES PROCESSUS DE RUISSELLEMENT

### Ruissellement Hortonien (1933)

*Quand l'intensité de la pluie dépasse la capacité d'infiltration du sol ...*

Pluie de forte intensité (mm/h) (orage de printemps,...)

Conductivité hydraulique faible du sol (mm/h)  
= capacité d'infiltration  
(croûte de battance)

Quelques évènements par an  
Ruissellement de versant  
Sol bien drainé

**Contrôle par l'état de surface des sols**

### Ruissellement sur surface saturée

Pluie de fort cumul (train d'averse, pluie continue...)

Capacité de stockage en eau faible des sols, sols saturés, devenus « imperméables »  
(sol peu épais, bas fonds humides, nappe proche de la surface, présence d'une semelle de labour,...)

Ruissellement de « bas-fond »  
**Contrôle par le profil hydrique**

## ➤ 5. LES PROCESSUS DE RUISSELLEMENT

### Ruissellement hortonien et développement d'une croûte de battance à la surface du sol

Naizin, versant de Kerolland

Sommet de versant



Photo aval-amont

ruisseau



Photo amont-aval

22

- ☐ réduction de la capacité d'infiltration du sol
- ☐ augmentation du ruissellement diffus
- ☐ apparition de ruissellement canalisé et d'érosion importante

# 5. LES PROCESSUS DE RUISSELLEMENT

**Ruissellement sur surface saturée :** se produit sur les sols dont tout le profil de sol est saturé, les pluies tombant sur ces surfaces ne peuvent pas s'infiltrer et ruissellent vers la rivière

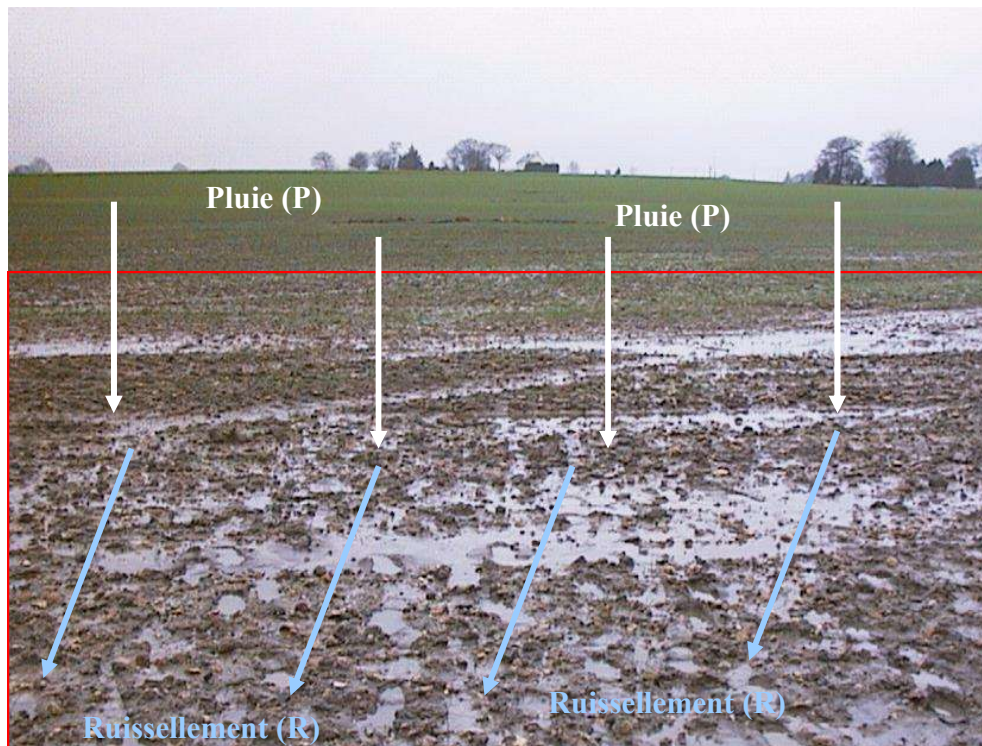


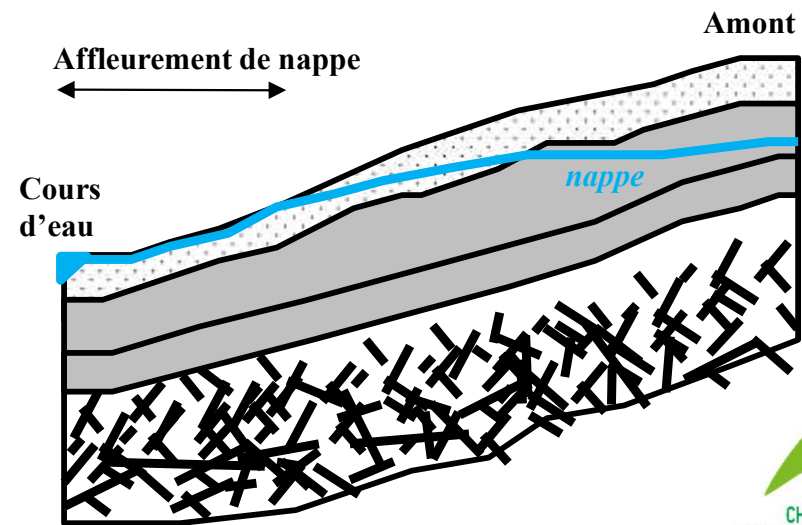
Figure : Photo (en haut) et coupe (à droite) d'un versant montrant l'effet de la présence d'une nappe sur le ruissellement.

## Zone affleurement de nappe:

- zones humides de fond de vallée
- zones ripariennes
- zones tampon

**Sur les surfaces saturées :**  
Ruissellement (mm) = Pluie (mm)  
Pas d'infiltration

23



## 5. LES PROCESSUS DE RUISSELLEMENT

---

### Massif Armoricaïn, quelques chiffres

- Capacités d'infiltration des sols (ou Conductivité hydraulique) > 10 mm/h
- Intensité horaire moyenne des pluies (2000-2002)
  - Rennes (35) : 2 fois/996 > 10 mm/h
  - Naizin (56) : 1 fois/1169 > 10 mm/h
  - Plomelin (29) : 3 fois/1523 > 10 mm/h

→ A priori le ruissellement hortonien est peu fréquent sur les sols du massif armoricaïn sauf si ...

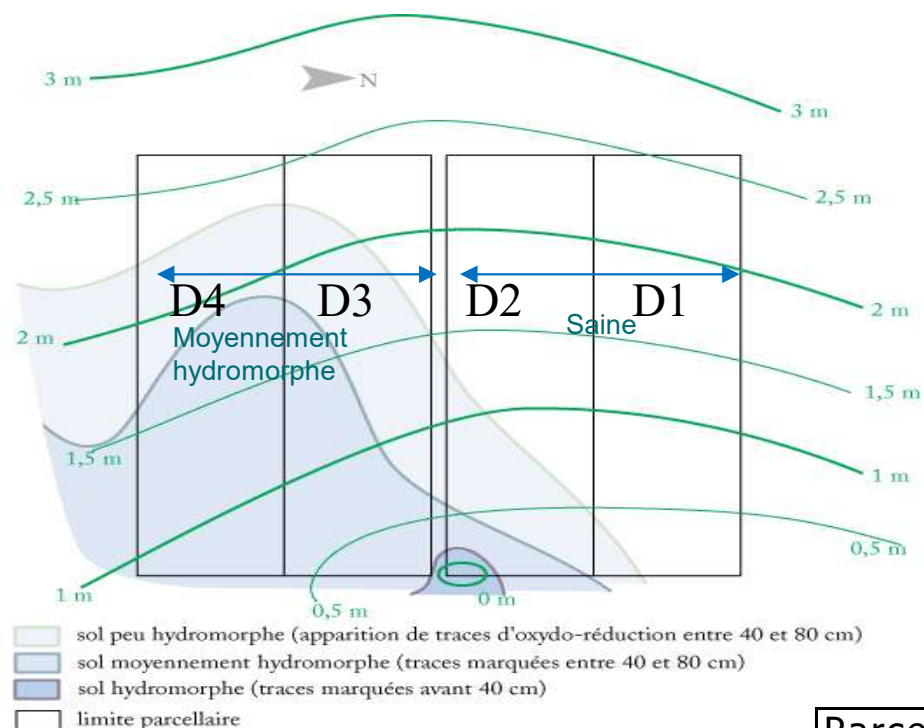
- Pluie d'orage, tempête, ayant une intensité forte sur quelques minutes

#### Exemples d'intensité de pluie sur 6 min

- Rennes (35) : 40 mm/h en octobre 2000 – 81 fois/996 > 10mm/h)
- Naizin (56) : 70 mm/h en juillet 2000 – 96 fois/1169 > 10 mm/h
- Plomelin (29) : 130 mm/h en août 2001 – 124 fois/1523 > 10 mm/h)
- Surfaces imperméabilisées (routes, parkings etc.)
- Développement de croûtes de battance

→ Une centaine de pluies « ruisselantes » par an en Bretagne (pluies de fortes intensités), des ruissellements toute l'année

## 6. LES PROCESSUS DE TRANSFERT VIA LA NAPPE



25

Matières actives :  
 - concentrations assez élevées  
 - présence prolongée

	Parcelle saine		Parcelle hydromorphe	
	IPU	Dff	IPU	DFF
05-mars	ND	ND	0,18 µg/l	ND
12-mars	0,1 µg/l	ND	0,38 µg/l	ND
16-mars	ND	0,1 µg/l	0,14 µg/l	0,2 µg/l
21-mars	ND	ND	0,33 µg/l	0,33 µg/l

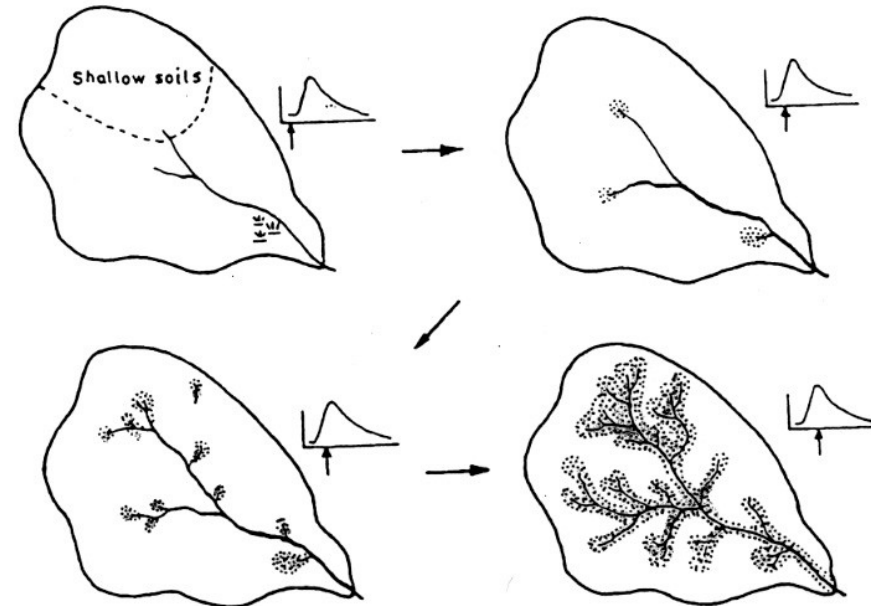
ND : inférieur au seuil de détection

- 1) La contamination des eaux des drains est importante
- 2) Les drains interceptent la partie superficielle de la nappe présente dans les zones hydromorphes

## 6. LES PROCESSUS DE TRANSFERT VIA LA NAPPE

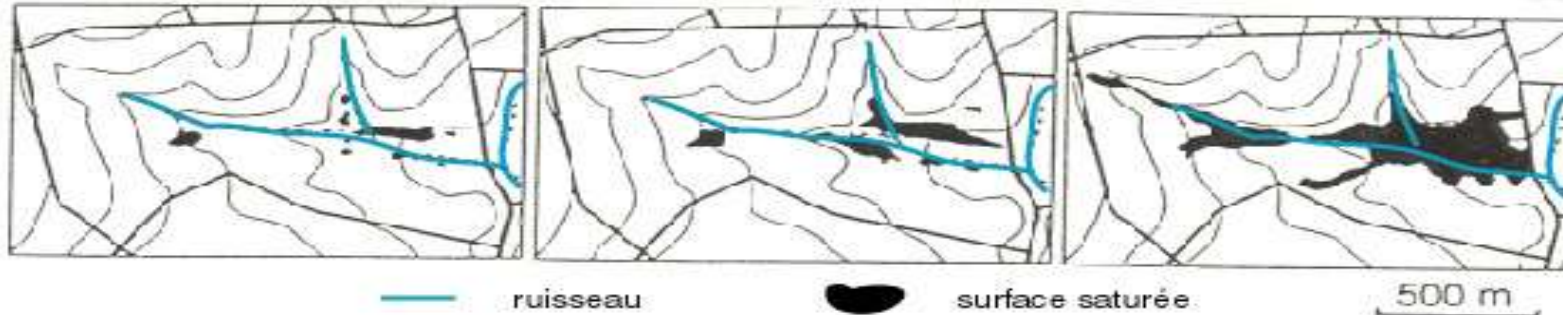
### Extension des surfaces saturées et relation avec le débit de crue:

**Figure :** exemple de variation d'extension des surfaces saturées contributives et du réseau de drainage au cours d'une crue (Ambroise, 2000 d'après Chorley, 1978).



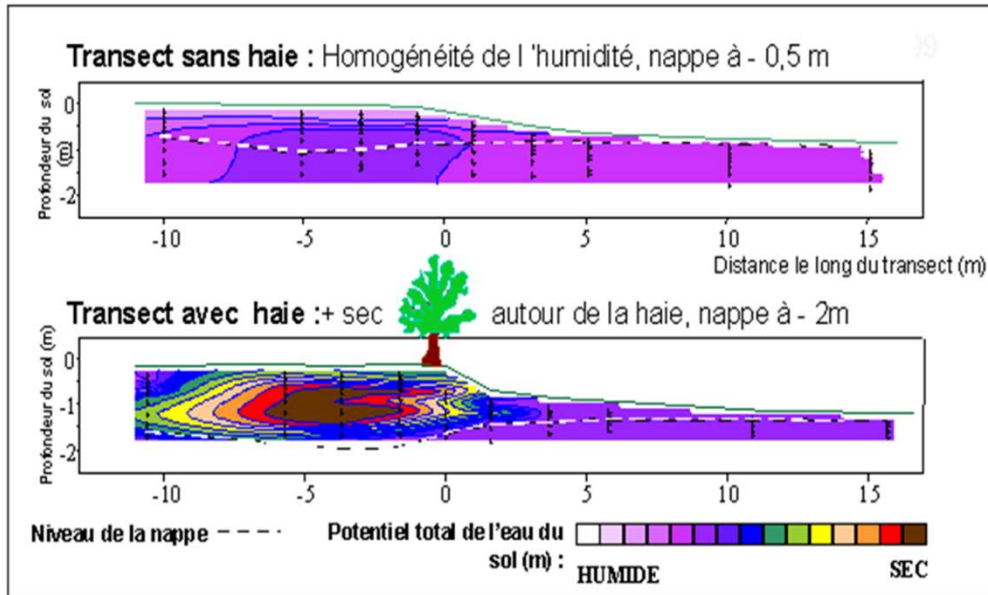
**Figure:** Variation de l'extension de la zone saturée, site du Mercy, bassin versant de Kervidy-Naizin.  
D'après Gascuel et al., (1999)  
Equipe SOLEAU, UMR SAS, INRA Rennes

20% des surfaces saturées + réseau de drainage lors de la crue

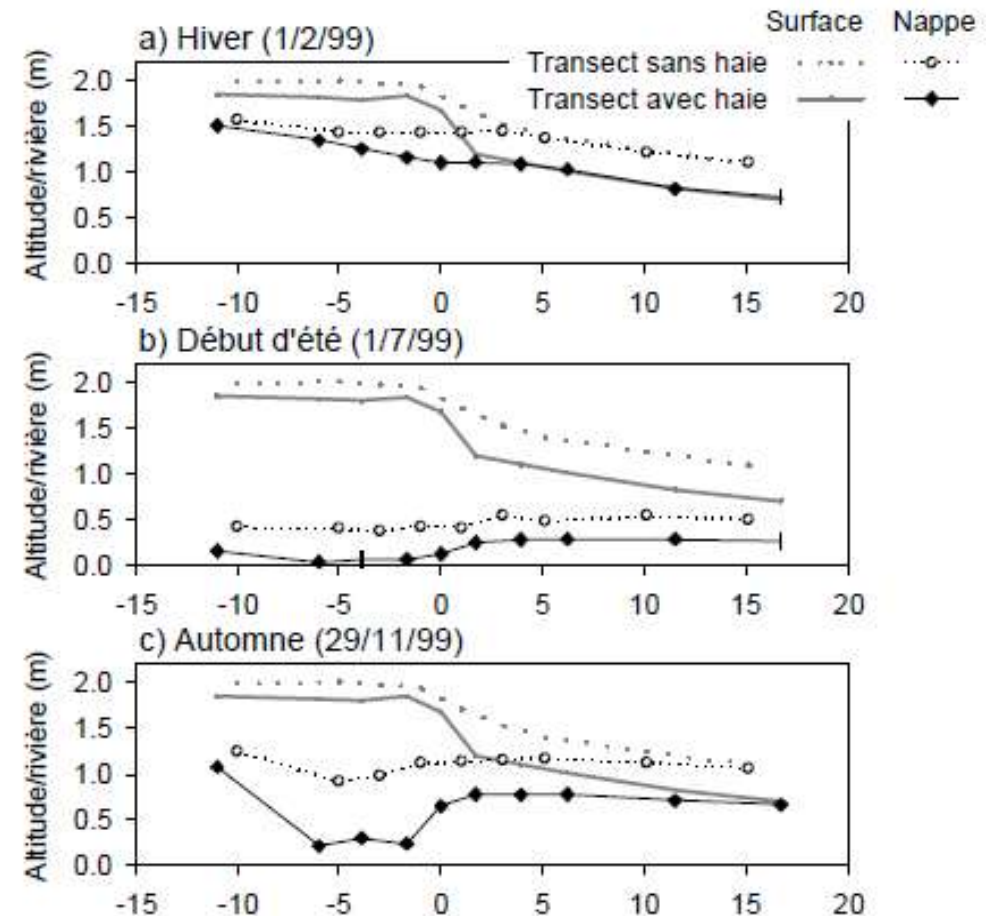


# 6. LES PROCESSUS DE TRANSFERT VIA LA NAPPE

## Rôle de la haie de ceinture dans l'extension des surfaces saturées



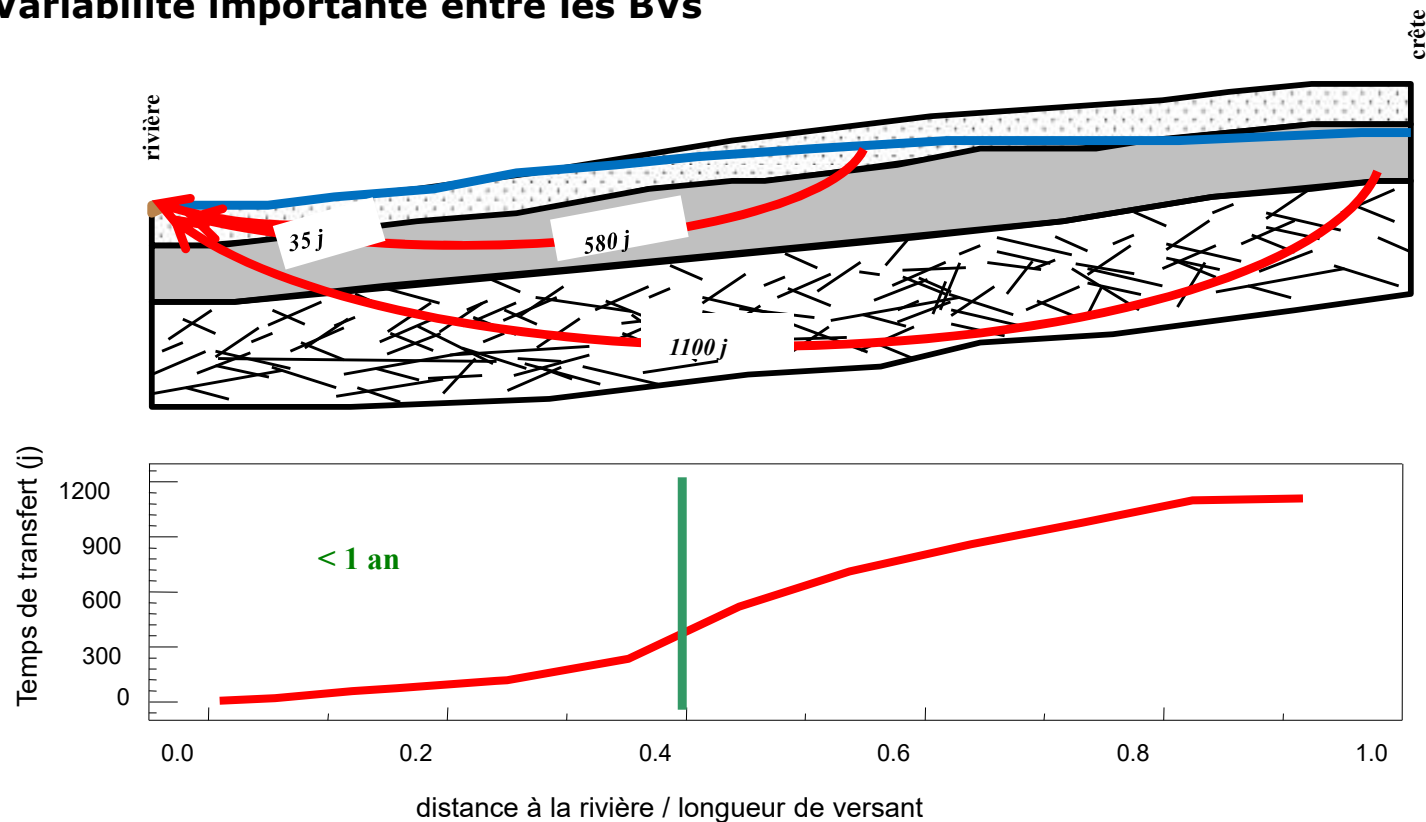
**Variation du toit de la nappe le long de transects avec haie et sans haie (Caubel, 2001)**



## 6. LES PROCESSUS DE TRANSFERT VIA LA NAPPE

### Temps de transfert dans la nappe du bassin versant de Kervidy-Naizin (56)

- forte variabilité des temps de transfert au sein d'un BV
- Variabilité importante entre les BVs



28

La distance à la rivière (=longueur de versant) influe sur les temps de transfert.

→ Seules les zones à proximité du cours d'eau peuvent transférer l'eau qu'elles reçoivent dans l'année

## 7. SYNTHÈSE SUR LES VOIES DE TRANSFERT

---

- 2 grands processus de transfert des PP dans les bassins versants :
  - **Le ruissellement**, en lien avec l'application et la rétention des produits dans les premiers cm du sol
  - **La nappe**, en lien avec la contamination de la frange supérieure de la nappe, là où le « toit » de la nappe est proche de la surface du sol (nappe affleurante)

### **Par ruissellement**

*Concentrations fortes et variables,  
dynamiques rapides,  
transferts dissout et particulaire (débits de crues)*

### **Par la nappe**

*Concentrations « faibles » mais tout le long de l'année,  
dynamiques lentes,  
transfert dissout (débits de base et débits de crues)*

## Liens utiles pour en savoir plus

---

- Propriétés physiques et chimiques, toxicité, écotoxicité, devenir dans l'environnement – Pesticides Properties Database

<https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/atoz.htm>

- Territ'eau : migration du site web en cours