

3<sup>ème</sup> Journée Thématique Sol

# Préservation de la qualité physique des sols et présentation du SOERE-INRA

7 novembre 2017 – Estrées-Mons



Avec le soutien financier de :



Journée organisée par :



En collaboration avec :



# Constater les dégâts, évaluer les risques, proposer des solutions de lutte contre l' érosion hydrique

Xavier Morvan, Michel-Pierre Faucon, Romain Armand, Aurore Degré



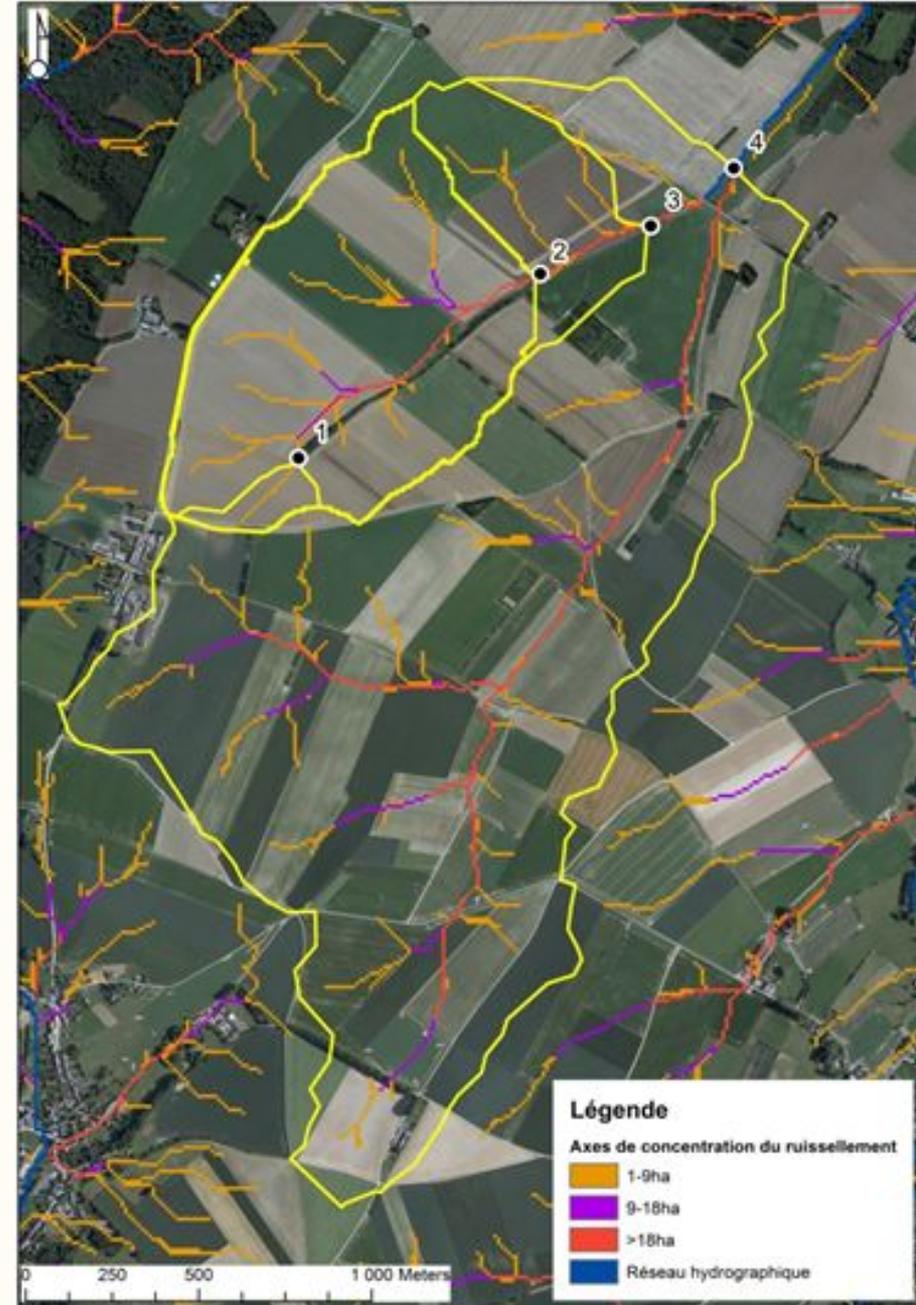
# Des constats

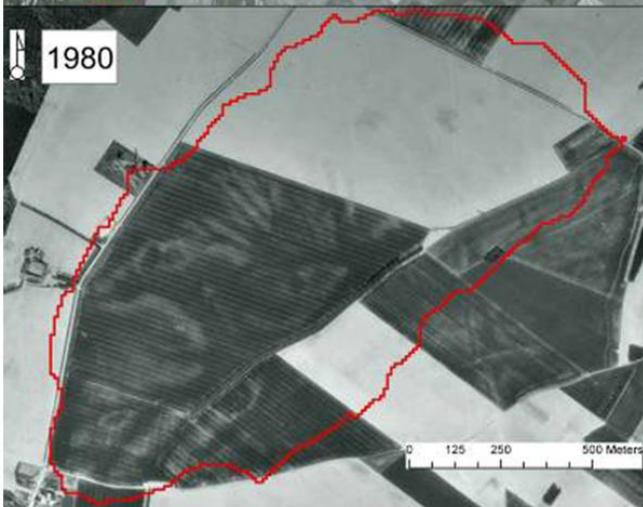
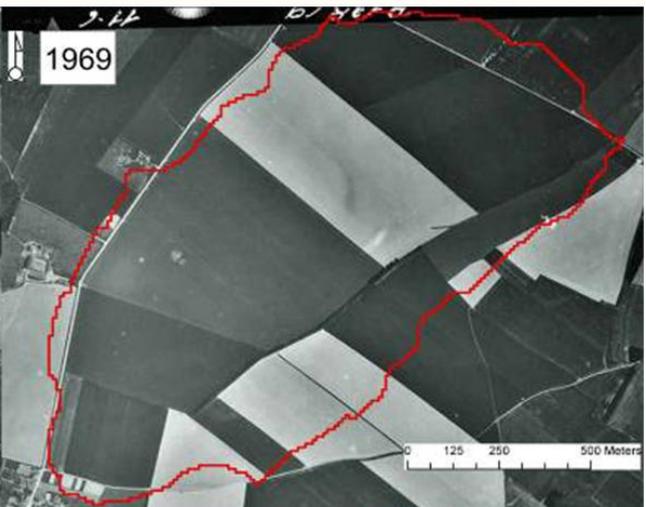


Erosion diffuse ou concentrée,  
Méthodes d'observation, de quantification dans le temps et dans l'espace

# Un bassin versant expérimental

- station météo
- mesures de ruissellement en 4 points
- prélèvement des sédiments durant les crues
- suivi des pratiques agricoles/des états de surface
- vols de drone chaque hiver depuis 2012
- re-cartographie des sols (1956-2014)

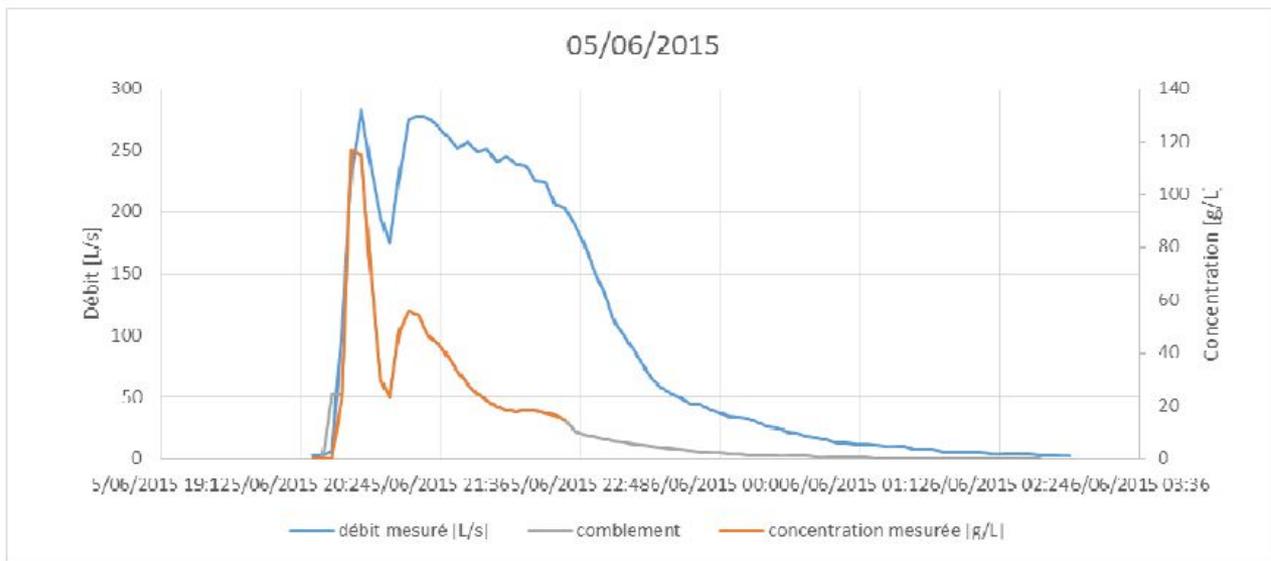




# Instrumentation

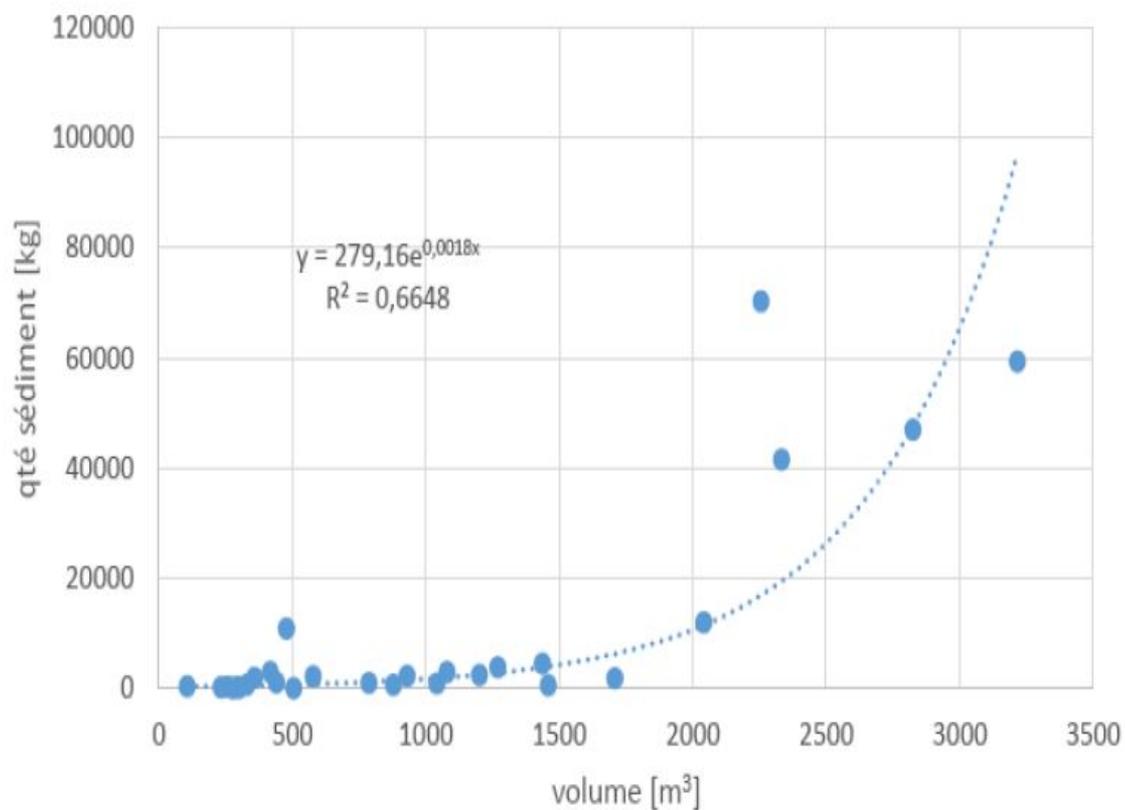
mesures de pluie, débit ruisselé après 4ha,  
85ha, 120 ha et 400 ha

prélèvement des matières en suspension



exemple d'observation du débit (bleu) et de la concentration en sédiments  
(orange) lors d'une crue

# Suivi à l'exutoire



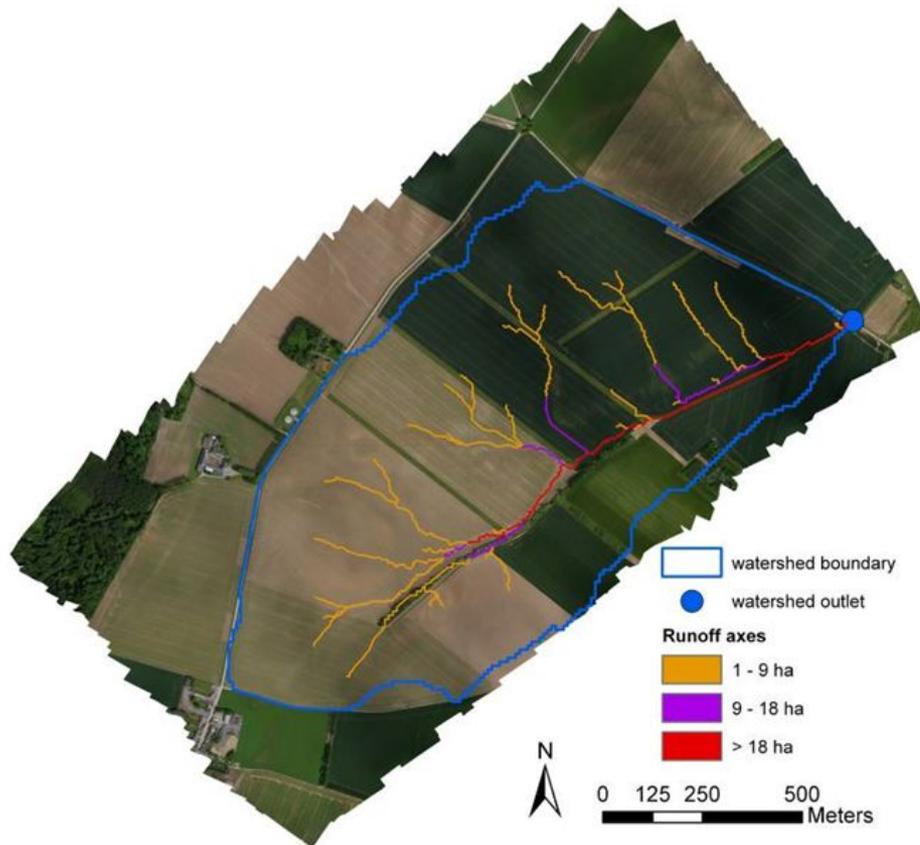
relation quantité de sédiments exportés vs volume de crue

# Exportations nettes du BV (érosion-dépôt)



# Acquisition de MNS par drone

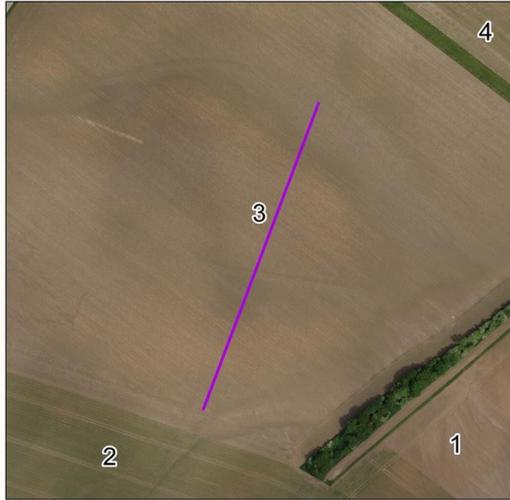
Tous les hivers depuis 2012, sur sols nus  
Analyse des différences d'altitude



# Comparaison aux observations de terrain



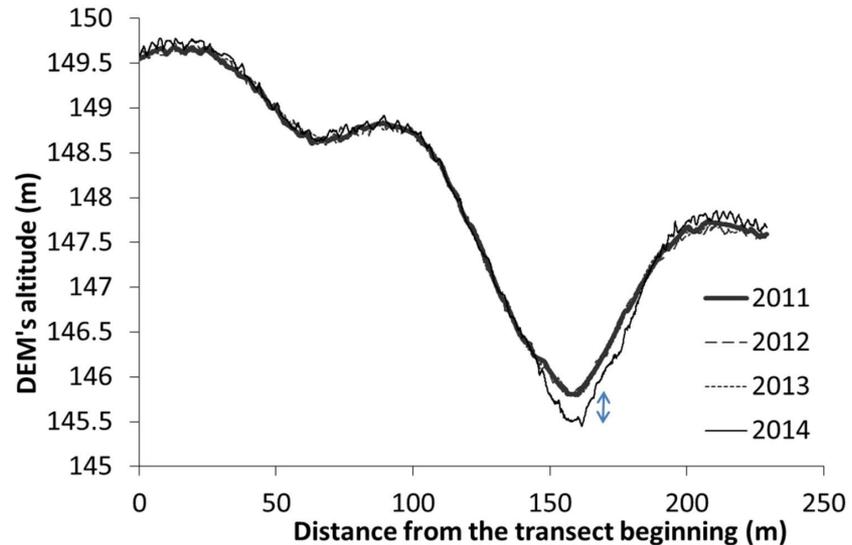
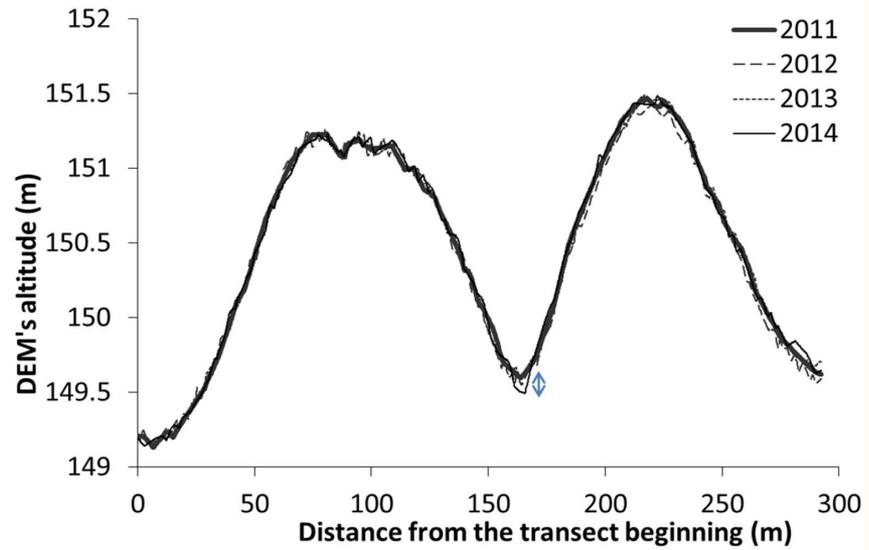
# Les vallées dans les MNS successifs



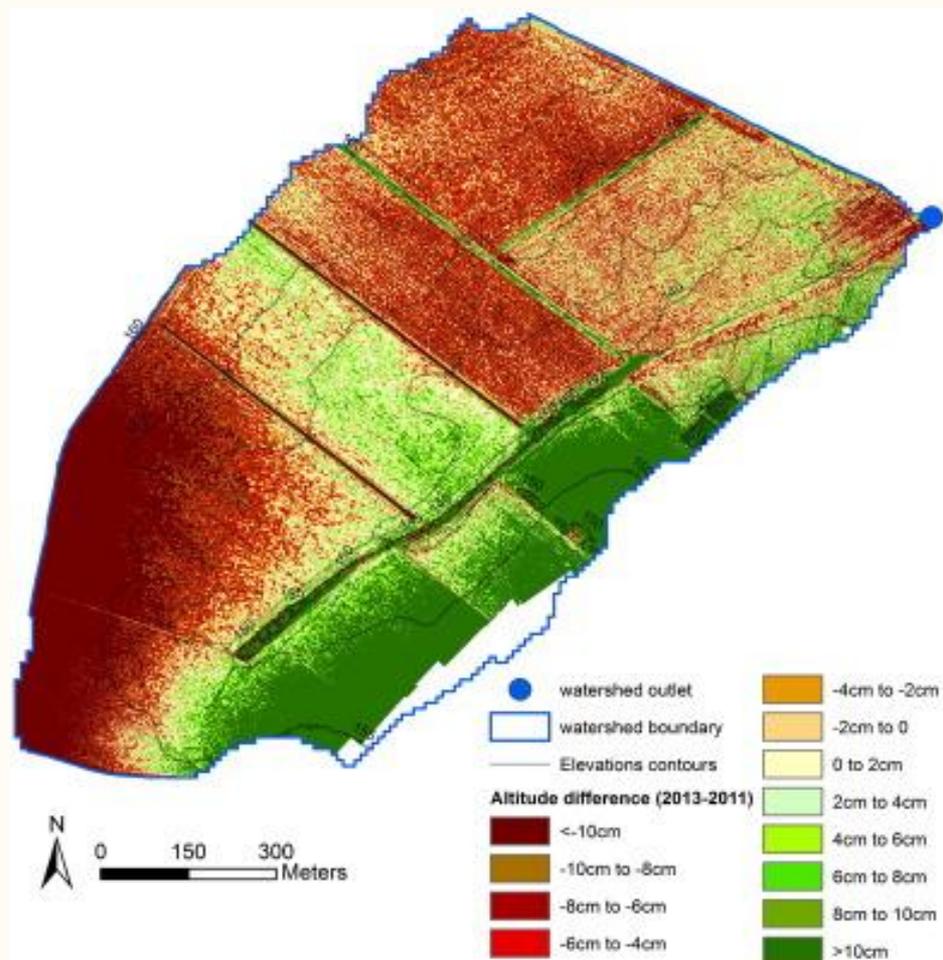
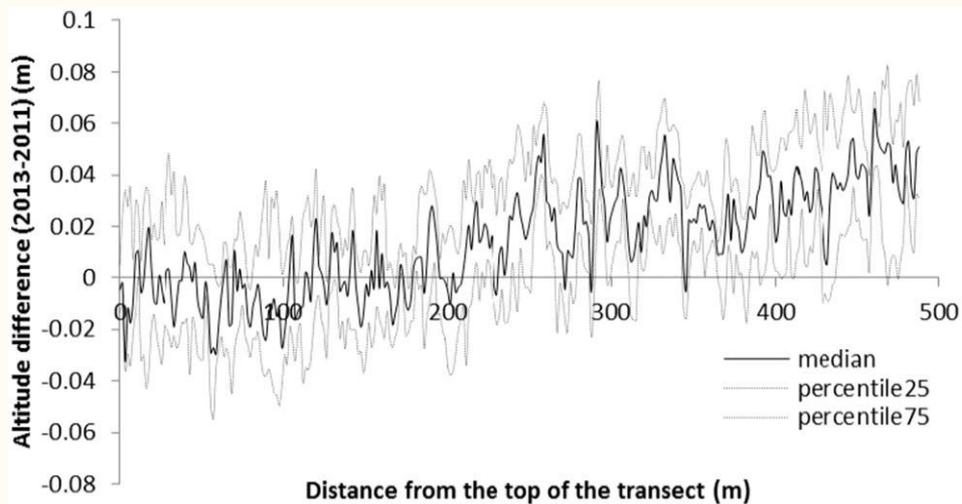
0 50 100 Meters — transect



0 25 50 Meters — transect



# Différences d'altitude après 2 années culturales

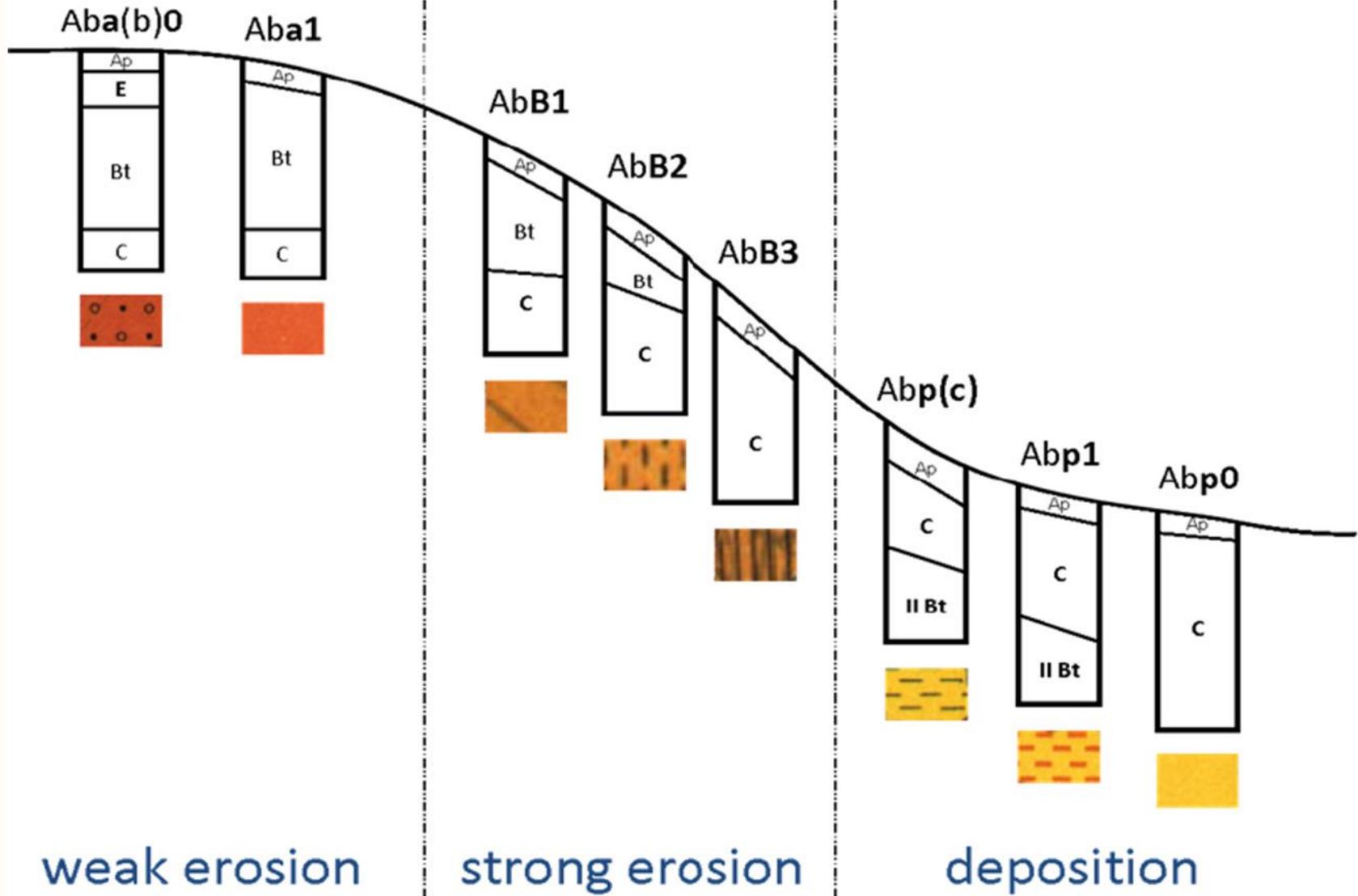




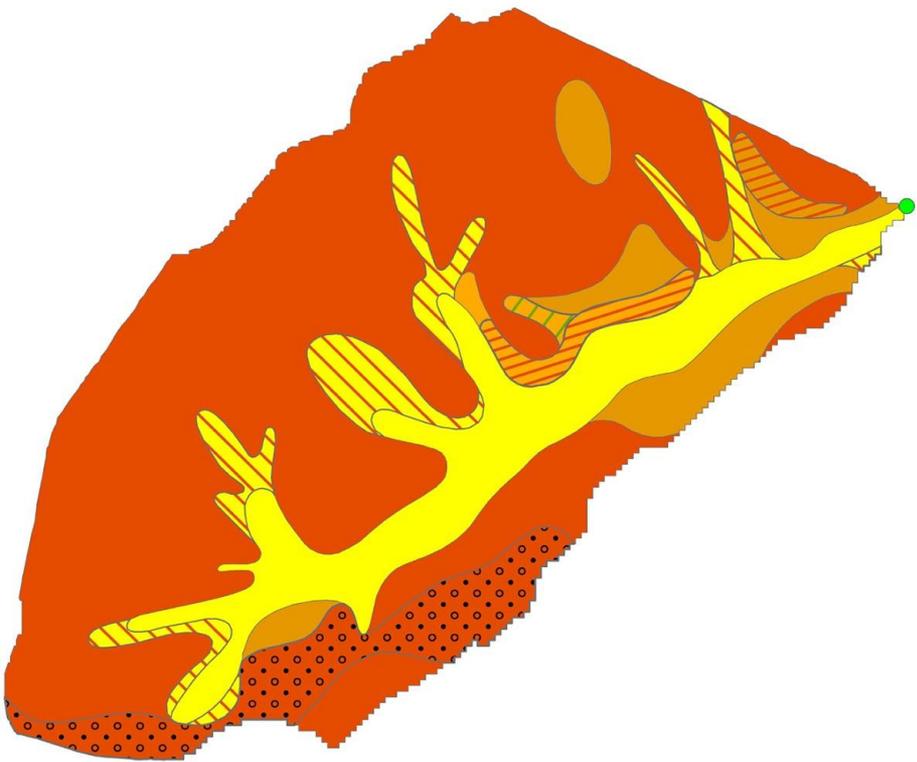
# Luvisols

# Cambisols

# Colluvic Regosols



# 1956 vs 2015

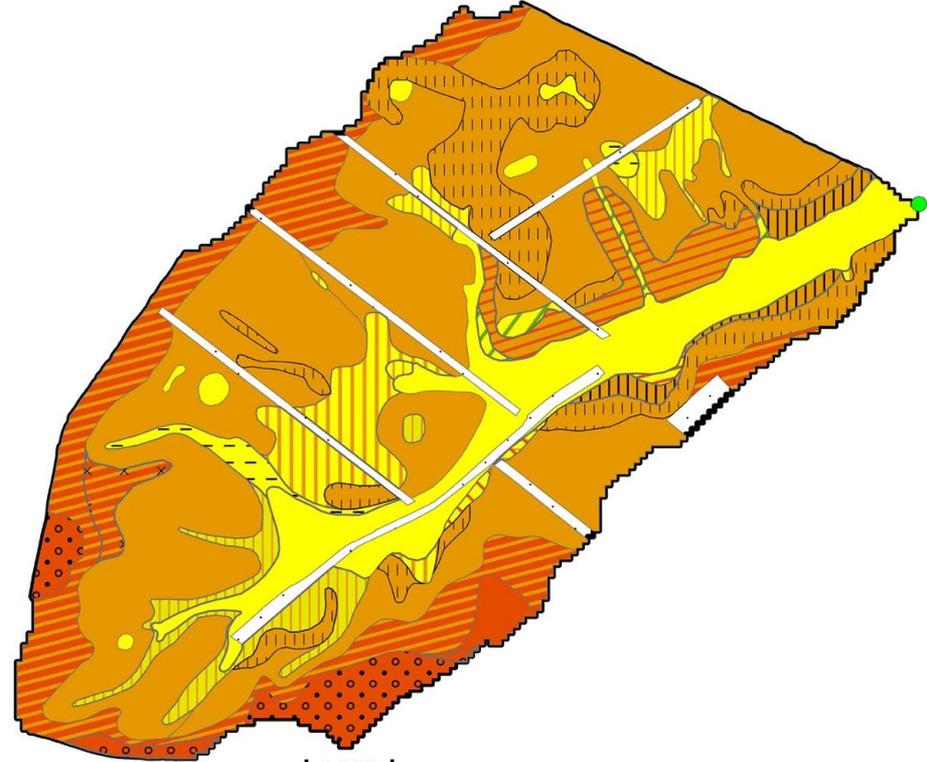


## Legend

no erosion	erosion	deposition
Aba(b)0	AbB	Abp(c)
Aba(b)1	(x)Aba	Abp0
	(x)-Lba	Acp0
	sLba2_3	<b>outlet</b>
	wLba2_3	outlet



0 250 500  
Meters



## Legend

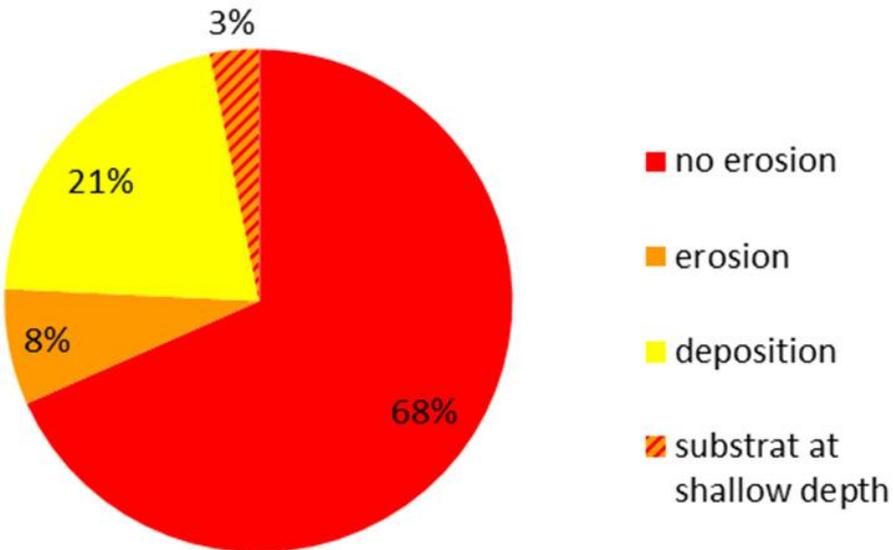
no erosion	erosion	erosion-deposition	deposition
Aba(b)0	AbB1a	(l)Abp(c)	Abp(c)
Aba0	AbB1b	(l)Acp	Abp1
Aba1	AbB2a	(l)Abp	Abp0
AbB0a	AbB3	lAbp2a	<b>non measured</b>
AbB0b	wAbx2_3	wAbp2	NC
	sAbp2	outlet	outlet



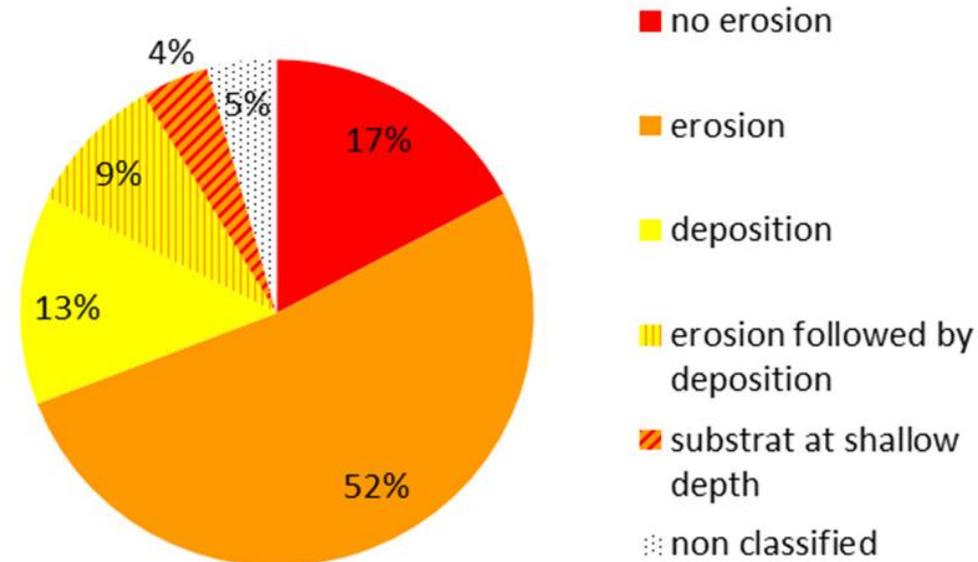
0 250 500  
Meters

# Surfaces relatives et état érosif

1956

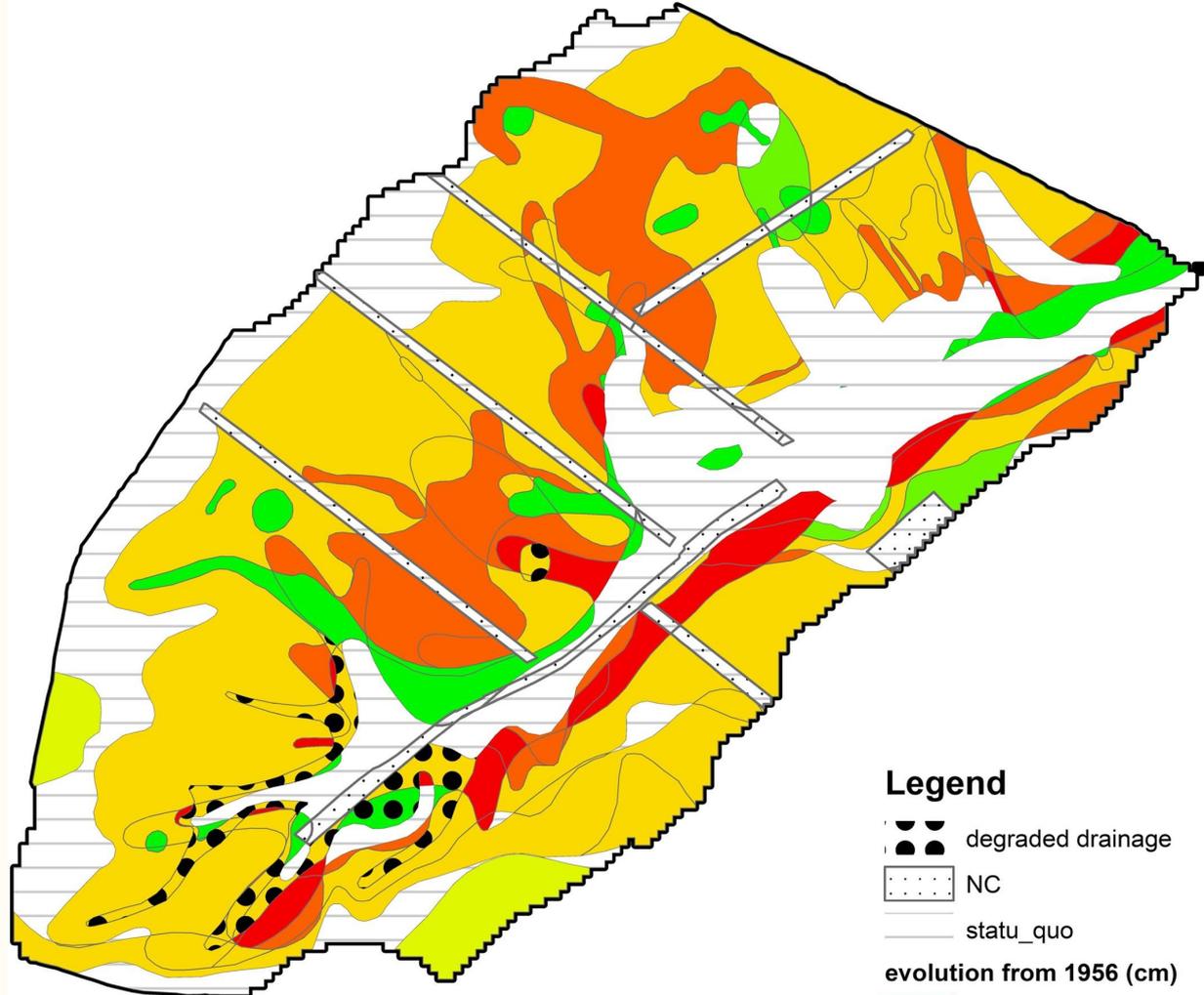


2015

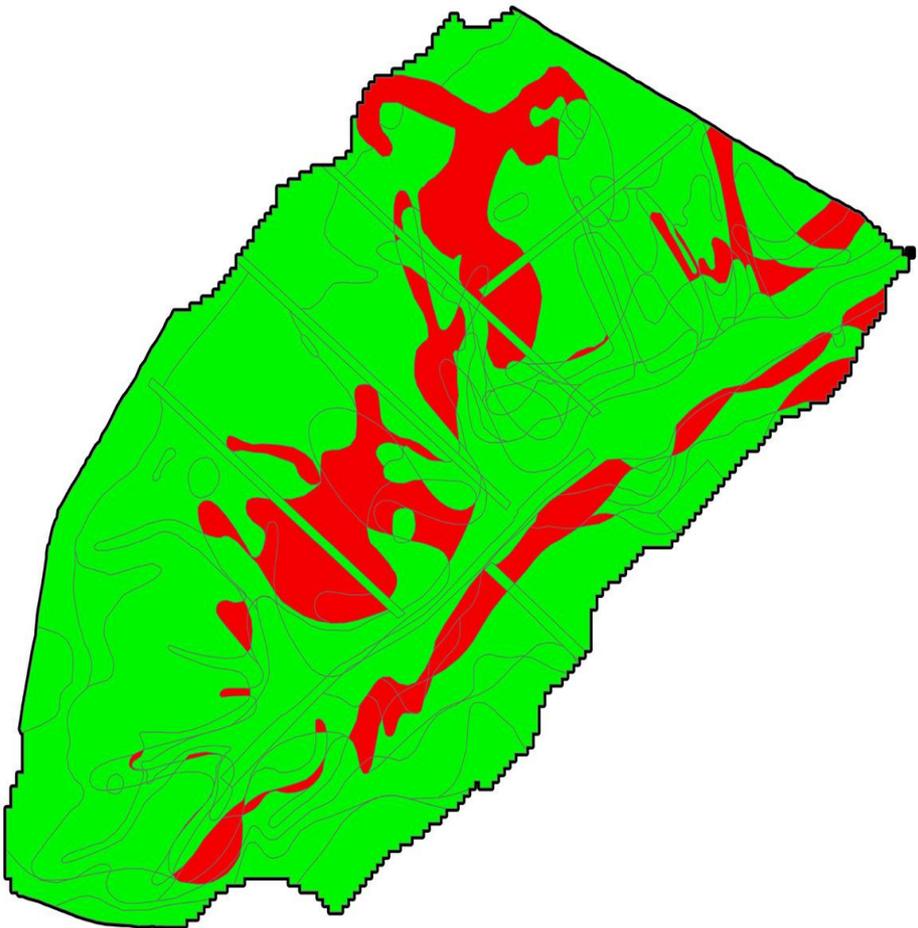


# Différences de niveau

Considérant les incertitudes altimétriques du lever historique, 2 scénarios ont été produits. Les résultats du scénario "optimiste" sont présentés ici



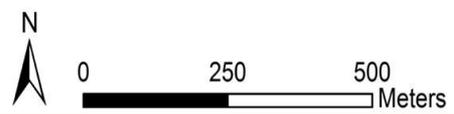
0 250 500 Meters



si on considère  
 "tolérable" un taux  
 annuel de 12.5t/ha

**Legend**

- tolerable erosion value: favourable scenario
- >12.5t/ha.an
  - <12.5t/ha.an



Seuil d'intervention  
 du JRC

**Legend**

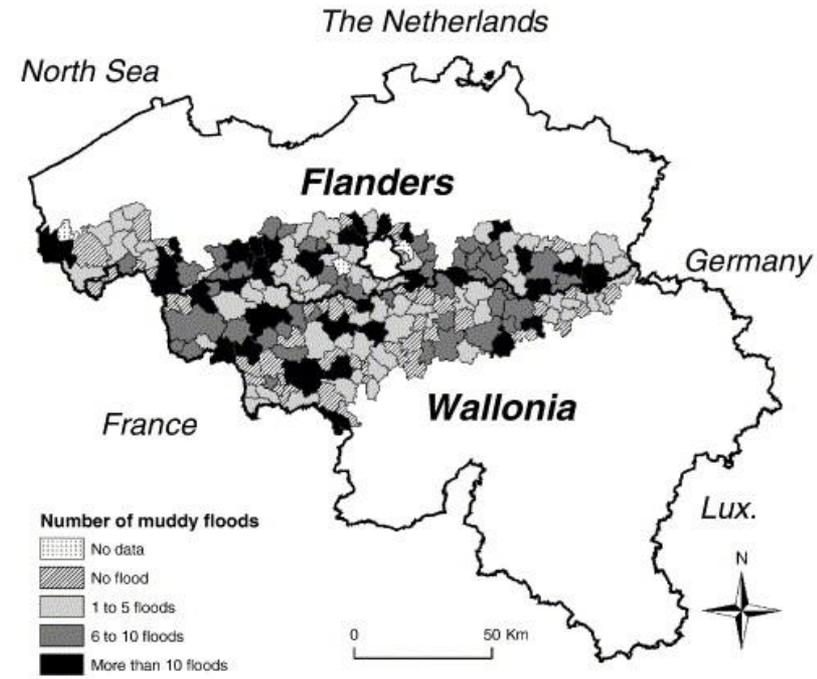
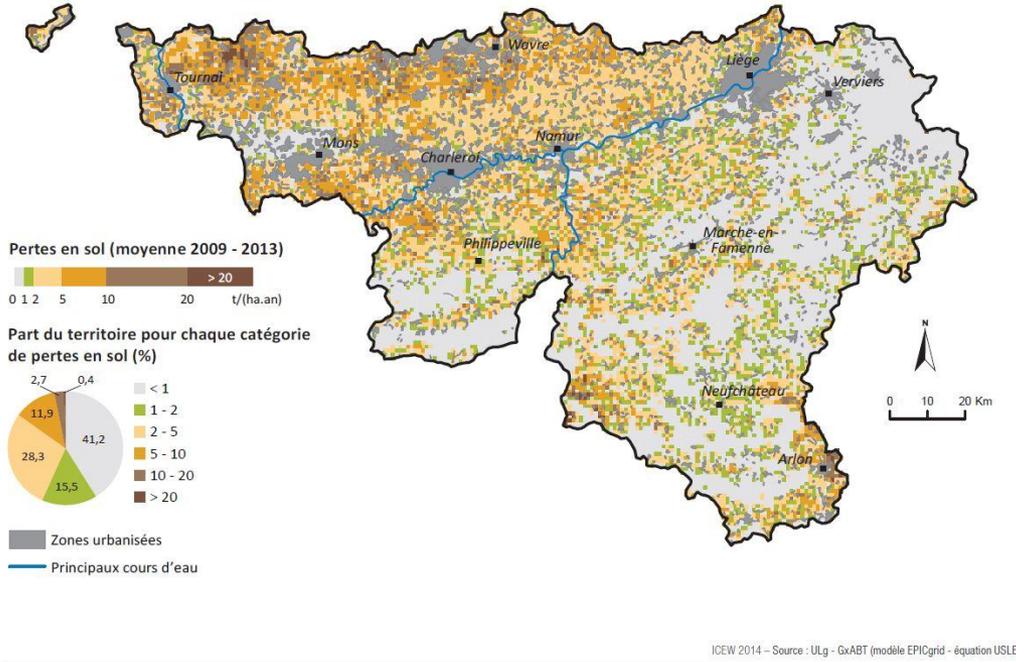
- tolerable erosion value: favourable scenario
- < 2t/ha.an
  - > 2t/ha.an



# Dégâts aux infrastructures, pertes de matière première dans les terres agricoles

PERTES ESTIMÉES EN SOL PAR ÉROSION HYDRIQUE

→ Voir fiche 11-3



## Pertes de phosphore dans les terres agricoles :

- 0,1 à 5 kg P/ha (Sharpley 1995 ; Sharpley et al. 2001 ; Verbree et al. 2010) en climat océanique.
- A l'échelle de la France entière, 43,3 kt P/an de perte par ruissellement et érosion des sols (Senthikulmar et al. 2012)



# La lutte contre l'érosion des sols

## Les solutions agronomiques et hydrauliques

# Spécificités de la lutte contre l'érosion des sols

Travail au long cours:

- Variabilité temporelle (et spatiale)
- Dimensionnement (période de retour)
- Pérennité des ouvrages ou des changements

Expertise nécessaire pour proposer des solutions durables et adaptées au territoire



# Deux types de solution

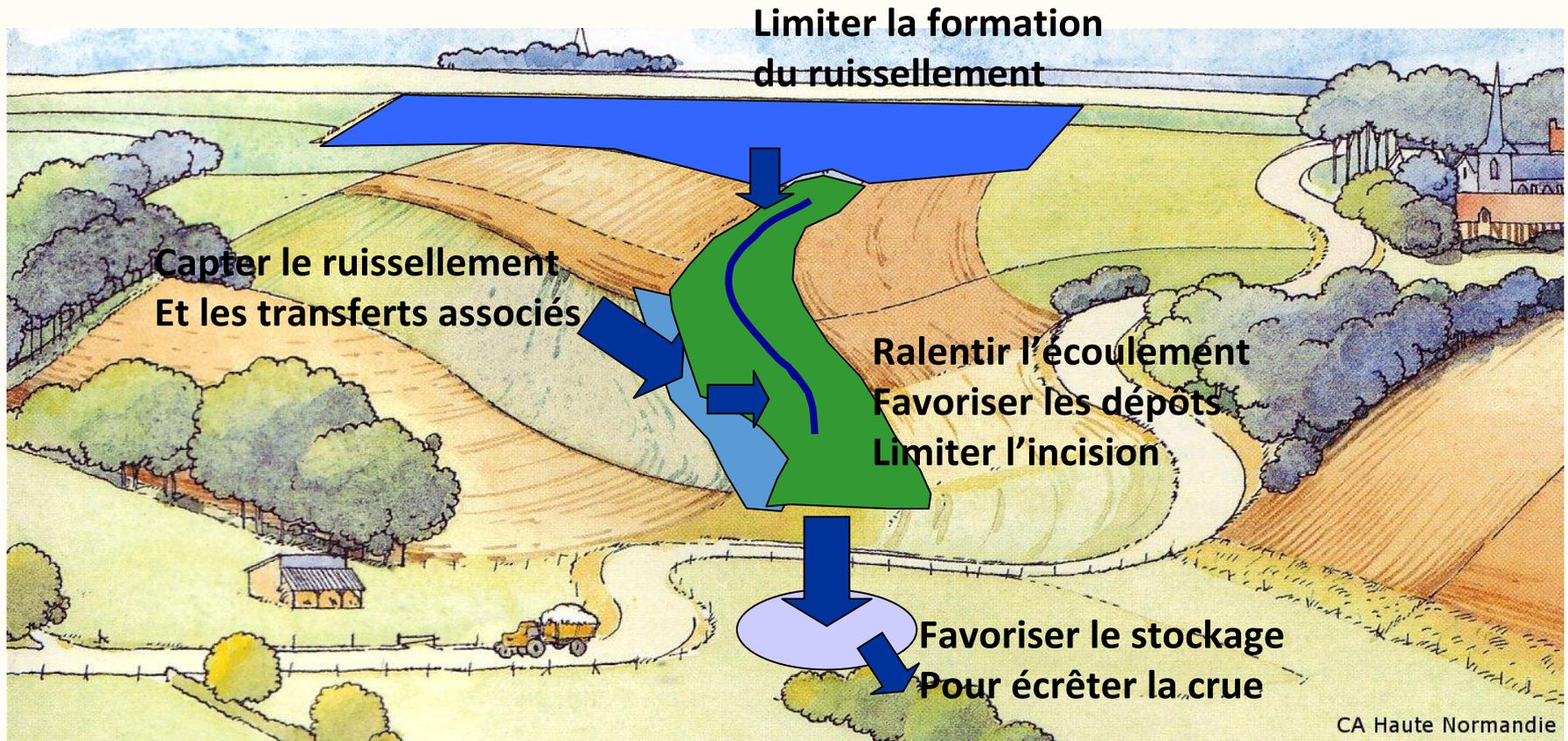
## Agronomiques

- Préventif
- Intra-parcellaire
  - couverture du sol (permanent/temporaire)
  - pratiques cultiurales
  - sens de travail du sol
- Inter-parcellaire
  - assolement concerté

## Aménagements/ouvrages

- Curatif
  - Protection de zones
- Génie civil / génie végétal
  - Hydraulique douce

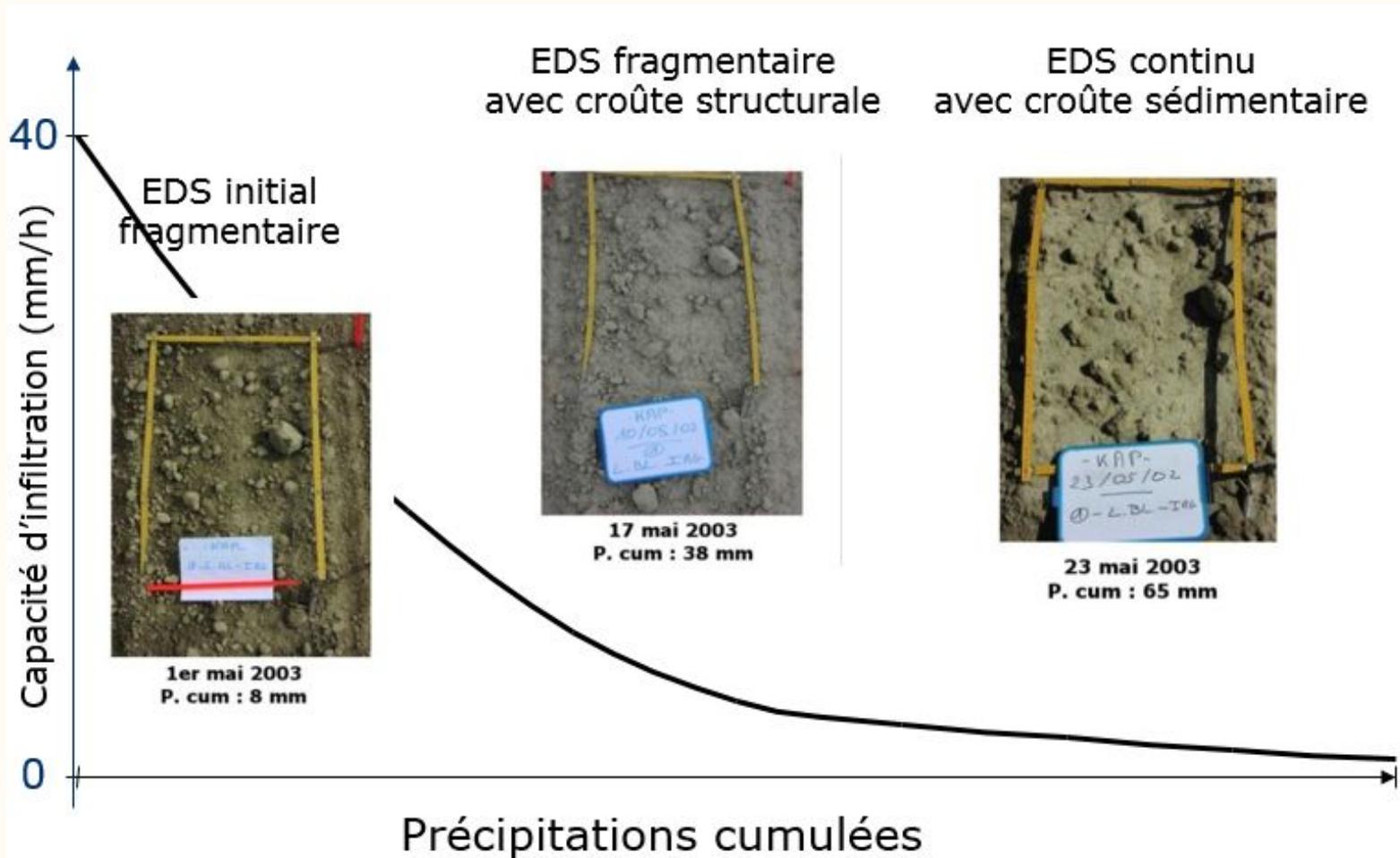
# Sur quels processus agir ?



# Effet du travail du sol sur le ruissellement et le transport de sédiment

Romain ARMAND

# Influence des propriétés de la surface sur la capacité d'infiltration



# Quels facteurs influent sur le ruissellement en non-labour?

- La littérature souligne que les TSL sont plus efficaces pour réduire l'érosion que le ruissellement
  - Essais de longue durée
- Le **profil** de sol présente souvent une infiltrabilité élevée
- La **surface** est moins étudiée en détails
- Différence de temporalité

# Application à l'Alsace

- Sols limoneux
- Maïs grain
- Erosion survenant au printemps
  - Orages locaux parfois violents (forte intensité)
- Sites expérimentaux comparant :
  - Labour
  - Techniques sans labour
  - Semis direct

# Méthodes de suivis

- Mai → Juillet sur 3 années
- Descripteurs suivis
  - Mottes
  - Extension des croûtes
  - Microrelief
  - Flaquage potentiel
  - Macroporosité
- Collecte du ruissellement et des MES
- 2 placettes de 22 m<sup>2</sup> / condition



# Comparaison visuelle

- Kappelen (68), 2003. 50 mm en 30 à 40 mn

P. Cum : +/- 0 mm



P. Cum : 118,5 mm

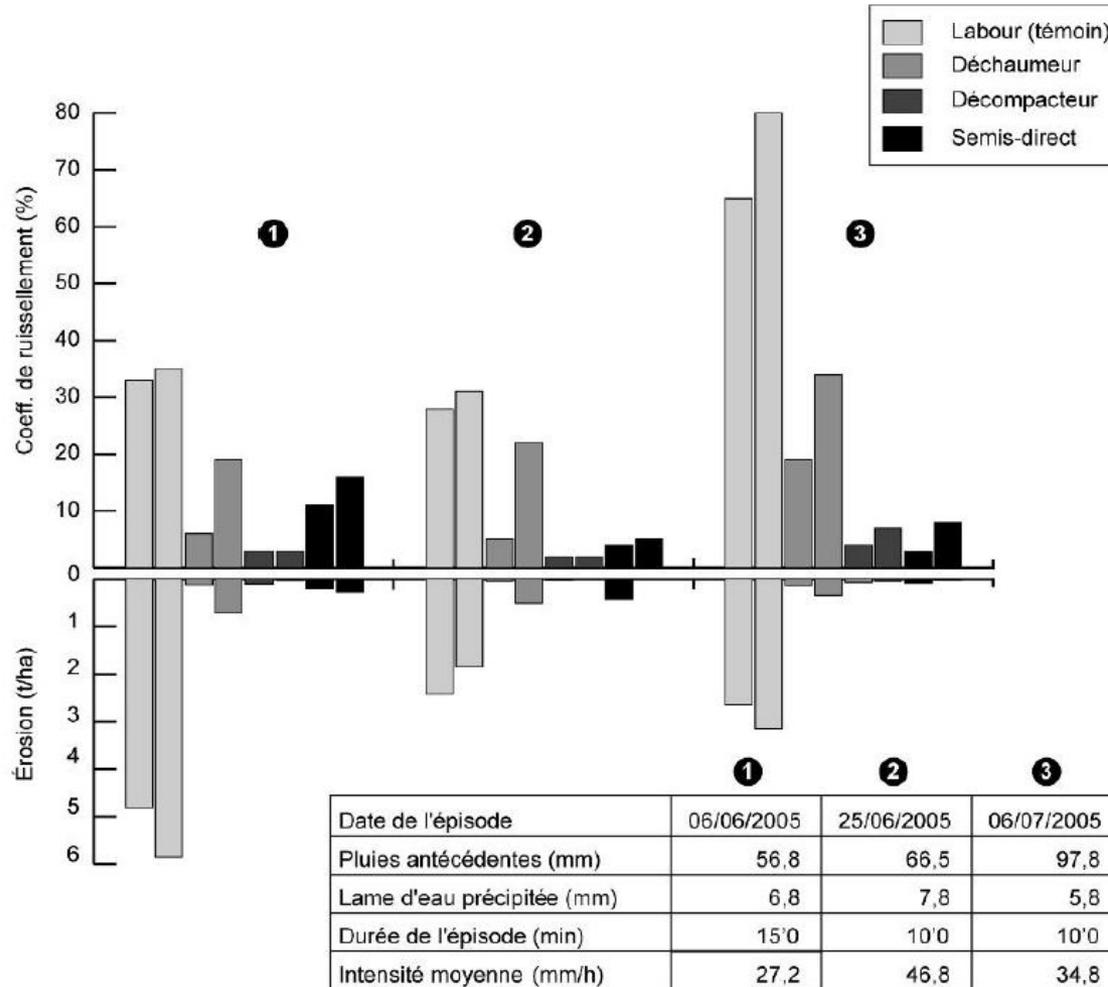


Labour

Chisel

Semis direct

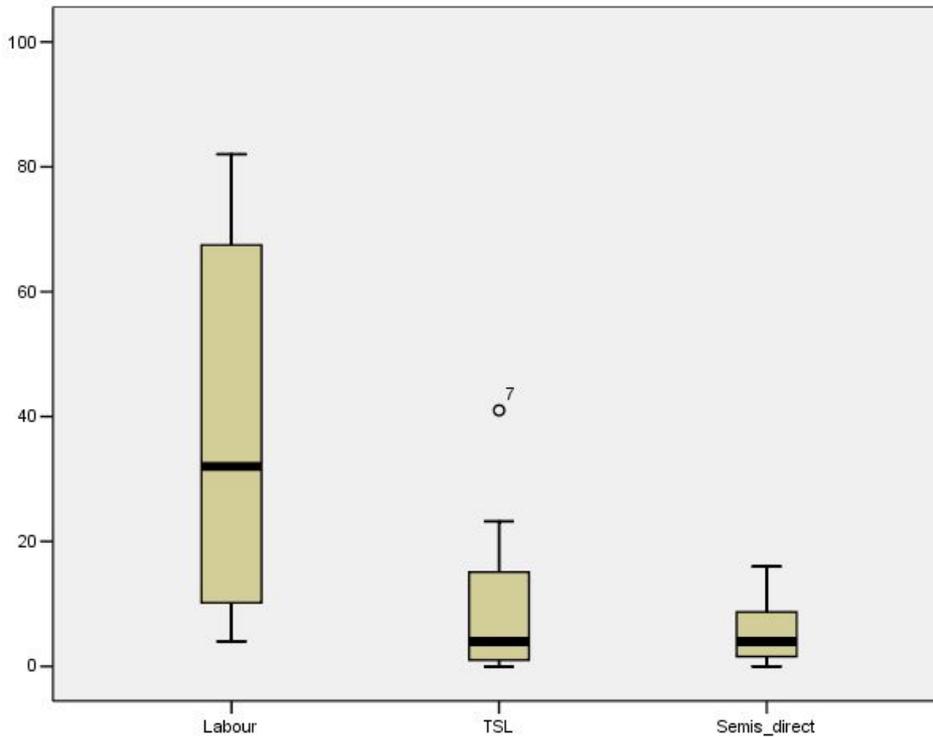
# Les effets constatés



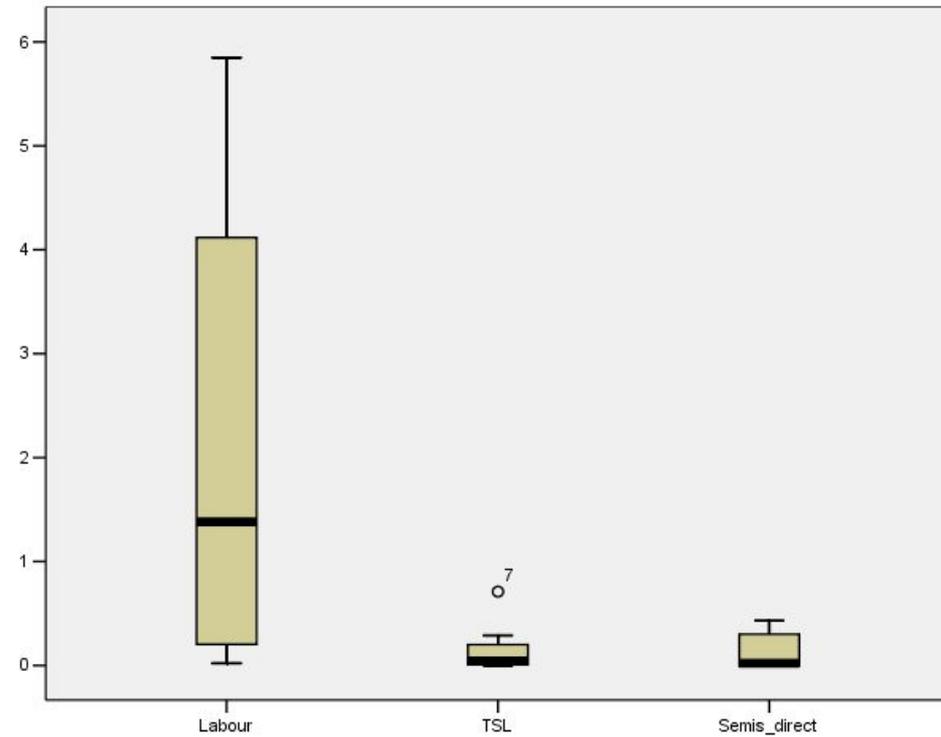
Armand

Figure 4.2 – Ruissellement et pertes en terre sur le site de Neewiller sur la saison 2005

# Synthèse des mesures



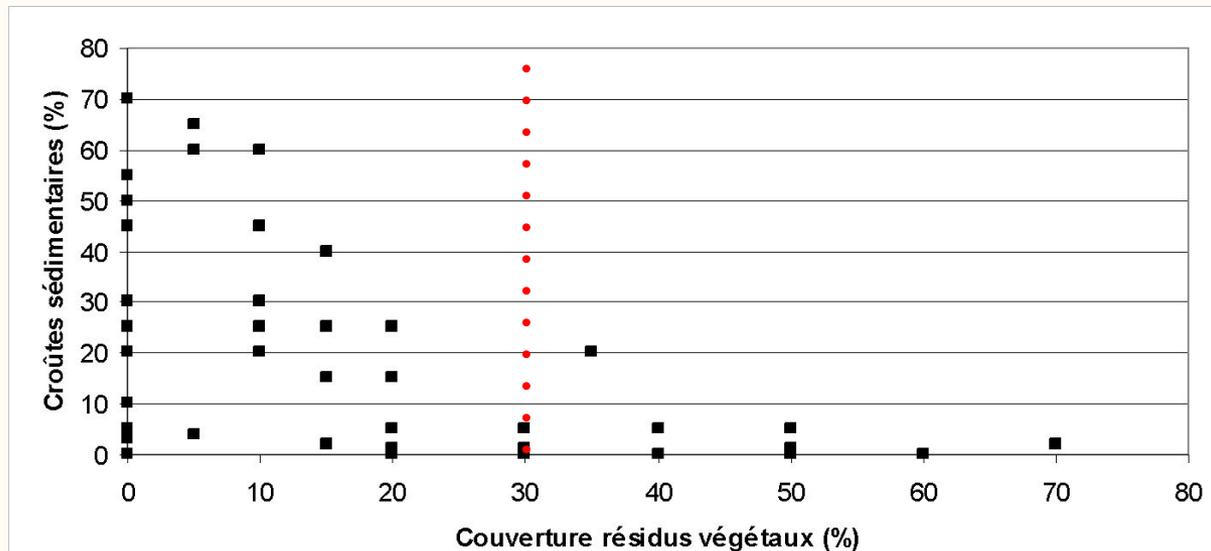
Coefficients de ruissellement (%)



Pertes en terre (t/ha)

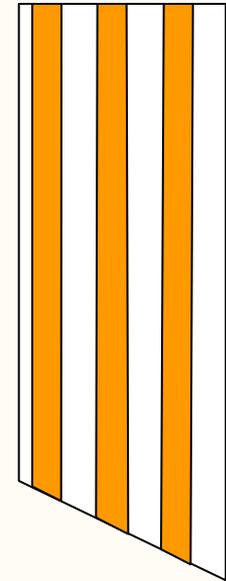
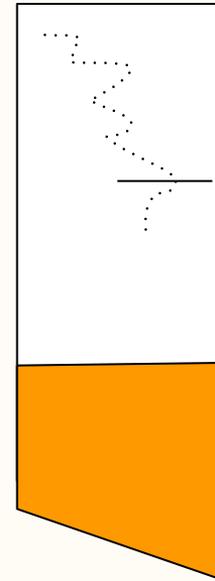
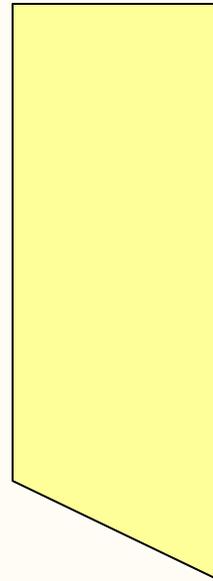
# Les variables contrôlant le ruissellement

- Extension des croûtes sédimentaires
- Variable négativement corrélée
  - Les résidus végétaux et le microrelief

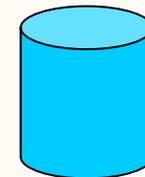
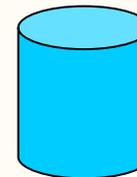
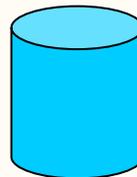


- La croissance du couvert végétal ne réduit pas les coefficients de ruissellement

# Qu'est-ce qui est mesuré ?

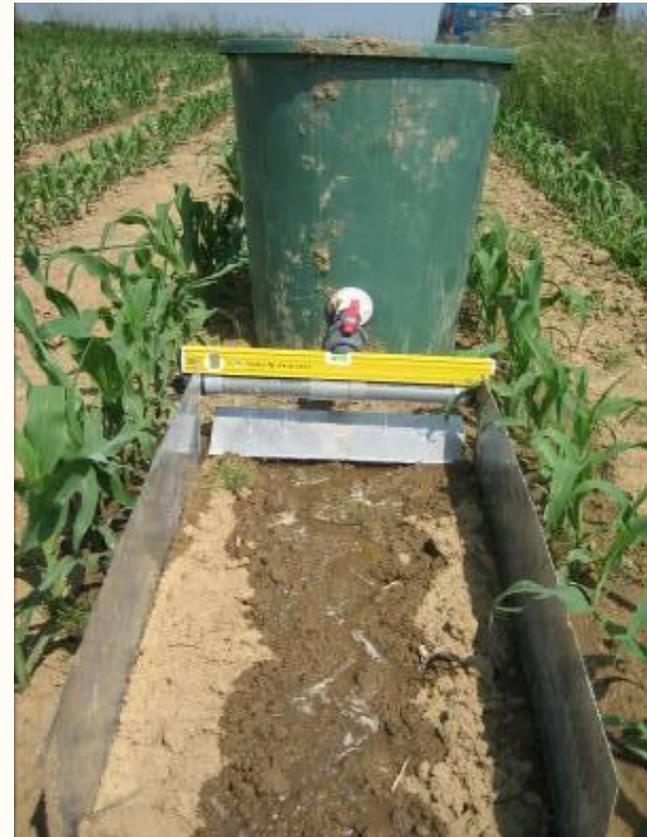


Coeff ruiss. : 50%

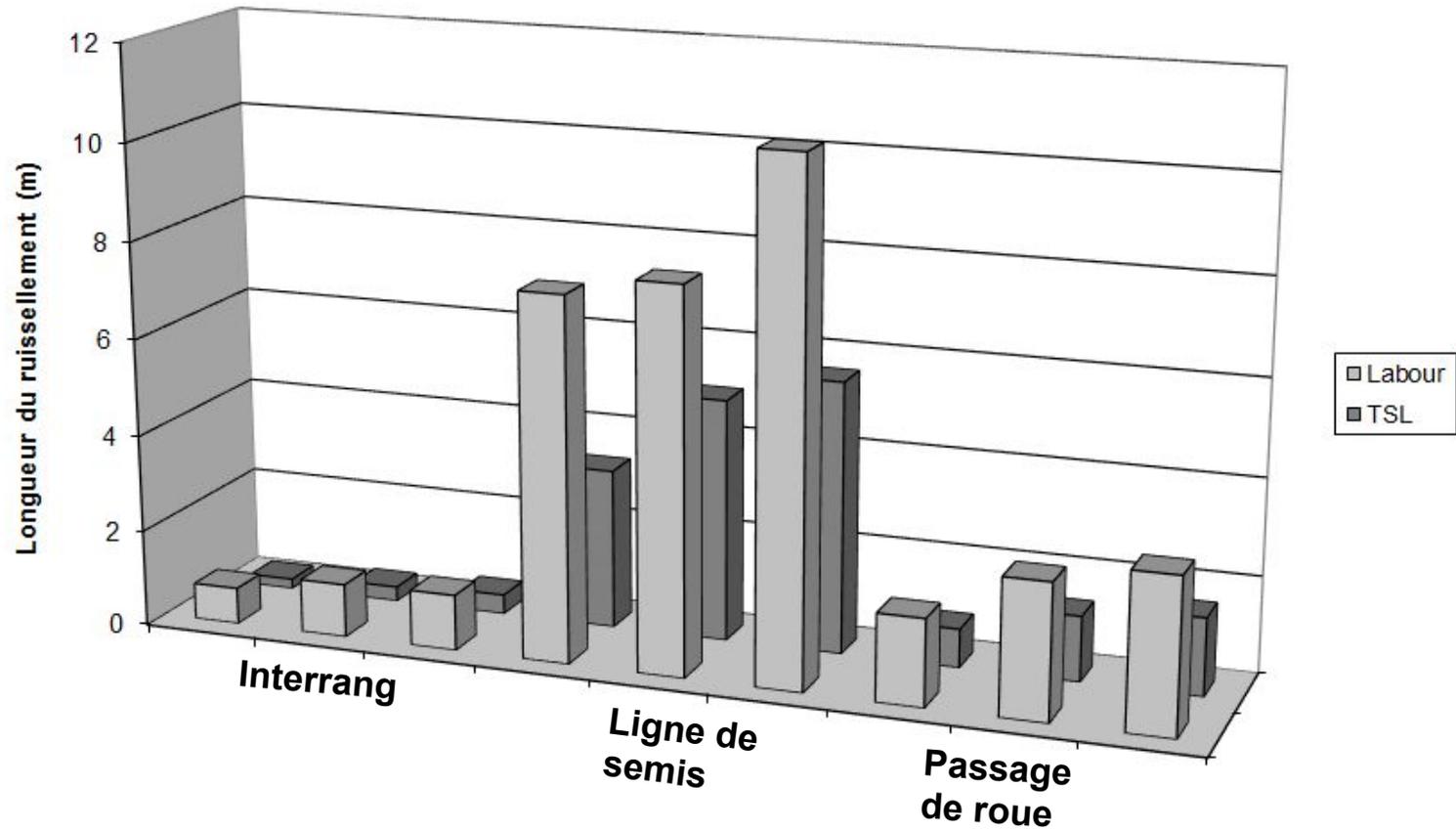


# Mise en évidence d'une variabilité intraparcellaire

- Mettre en évidence l'aptitude de la surface à propager le ruissellement
- Travail sur interrang, ligne de semis et passage de roue
- 3 répétitions
- 3 étapes successives



# Résultats (p. cum. = 120 mm)



# Conclusion 1/2

- En TSL pour des « petits » épisodes pluvieux, les réductions observées :
  - Facteur 2 à 5 pour le ruissellement
  - Facteur 5 à 10 pour l'érosion
- Ruissellement en présence de végétation développée (surprise)
- Existence d'une variabilité spatiale intraparcellaire

# Conclusion 2/2

- Acquisition de données sur des petites surfaces (20 m<sup>2</sup>) et suite à de “petits” épisodes pluvieux
- Or les épisodes violents comptent beaucoup dans le bilan sédimentaire total des BV

# Influence de la structure du couvert végétal sur le ruissellement et l'érosion dans les vignobles champenois

Xavier MORVAN, C. NAISSE, O. MALAM ISSA, J.F. DESPRATS, A. COMBAUD, O. CERDAN

*Plus de détails dans Morvan et al., 2014. Soil Use and Management*

# Introduction

## Contexte

Erosion des sols et ruissellement des eaux en surface  
Zones viticoles considérées comme sensibles  
Protection des inter-rangs par mulching et enherbement

## Objectifs

Etude de l'influence de la densité d'enherbement dans  
l'inter-rang de vigne

## Démarche

Simulations de pluie à différentes intensités sur différentes  
pratiques agricoles et sur des inter-rangs +/- densément  
enherbés

# Matériel et méthodes

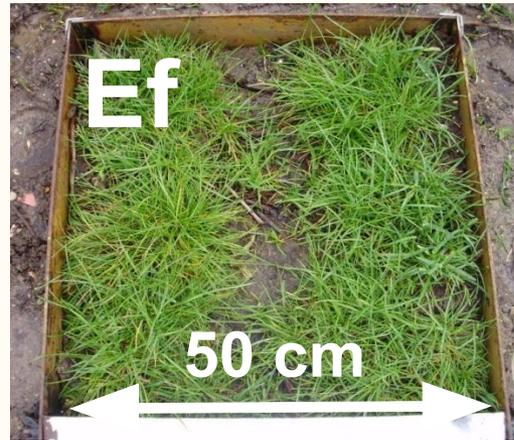
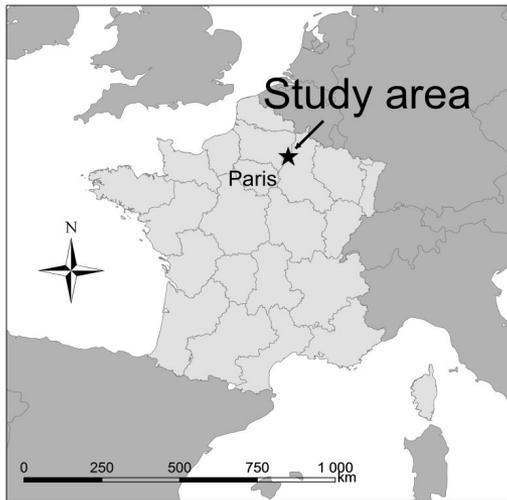
## Site d'étude

Sur 3 pratiques agricoles dans l'inter-rang :

- Sol nu (SN)
- Mulch (M)
- Enherbement dense (>80%)

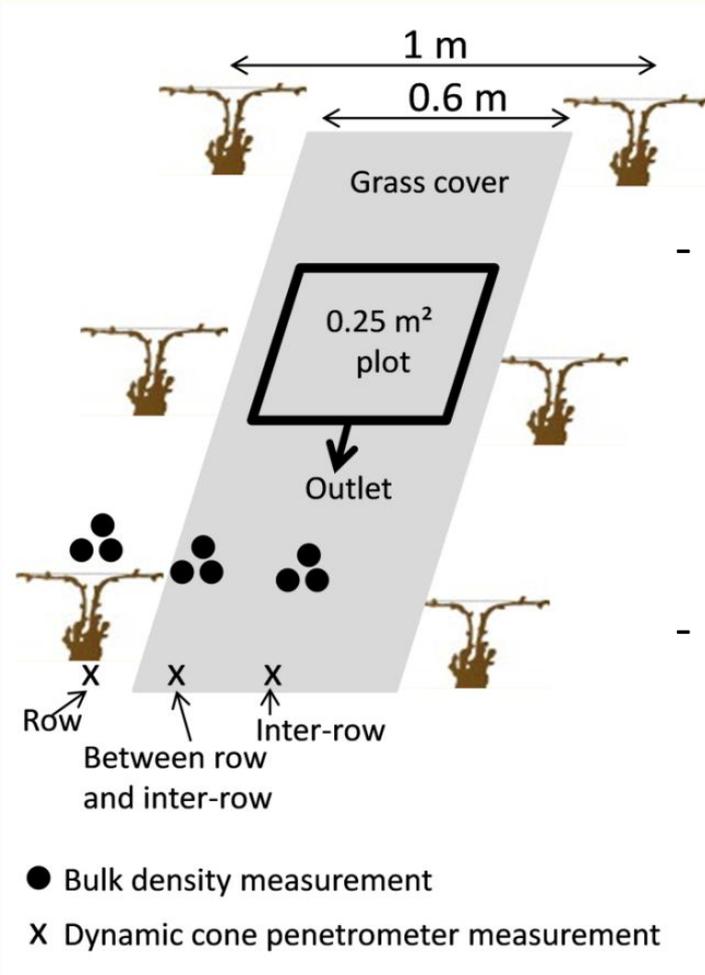
Enherbement dense dans les traces de roues (Ed)

Enherbement faible dans les traces de roues (Ef)



- Rendosol / calcosol
- Pente similaire entre 5 et 7%
- Rang de vigne séparés d'1m et plantés parallèle à la pente

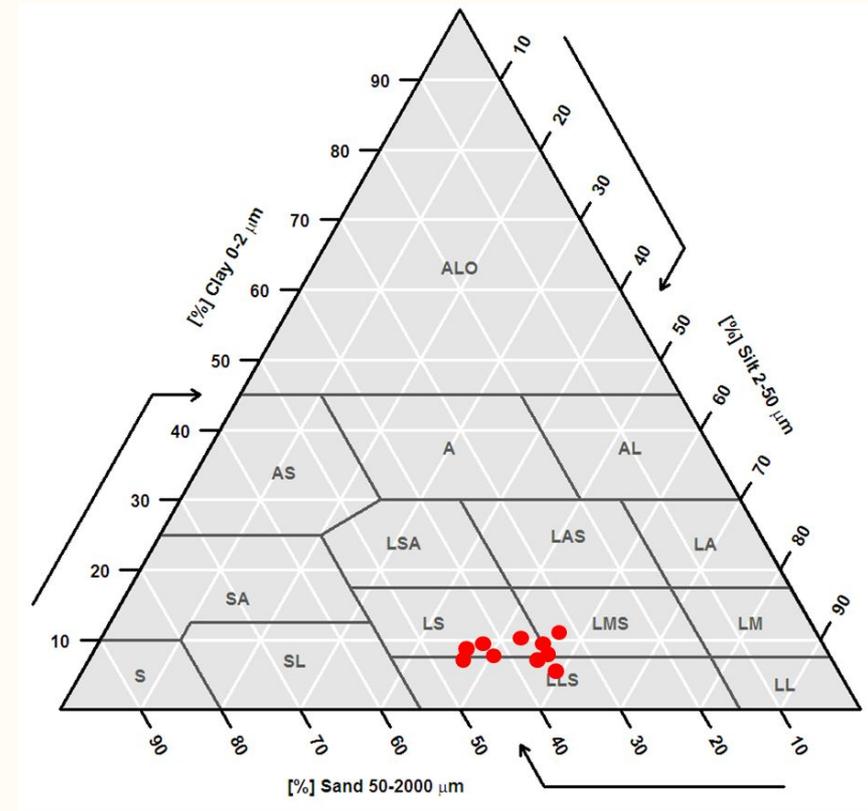
# Expérimentations



- Mesure de densité apparente et pénétrométrie dans le rang, l'inter-rang et entre le rang et l'inter-rang
  - Da : Triplicats sur des cylindres de 34 cm<sup>3</sup>
  - Pénétrométrie avec un appareil PANDA
- Simulations de pluie
  - Sur des placettes de 0,25 m<sup>2</sup>
  - À différentes intensités de pluie (20-30 mm/h, 40-50 mm/h et 75 mm/h)

# Caractérisation du sol

- Texture comprise entre LS, LMS et LLS
- $\text{CaCO}_3$  compris entre 22 et 102 g/kg
- CO compris entre 22,8 et 47,8 g/kg



# Résultats et discussion

## Densité apparente et pénétrométrie

Mise en évidence une zone plus compacte au niveau de l'inter-rang quel que soit la pratique culturale.

Le passage des engins agricoles créent une zone de ruissellement préférentiel dans le centre de l'inter-rang.



Intérêt d'étudier l'enherbement au niveau des zones plus compactées

# Simulations de pluie

Plot	LAI (%)	Intensité (mm/h)	Coefficient ruissellement (%)	Sol érodé (g/m <sup>2</sup> /h)
SN	-	26	80,0	7,4
M1	-	25	4,0	<1
M2	-	50	3,9	<1
M3	-	53	1,3	<1
Ed1	75	20	5,2	<1
Ed2	91	30	0,8	<1
Ed3	85	40	0,4	<1
Ed4	82	55	1,1	<1
Ed5	91	76	1,0	<1
Ef1	90	32	17,0	3,5
Ef2	89	41	48,0	4,3
Ef3	86	48	77,0	13,4

- Sol nu :  
CR max malgré intensité faible, érosion mesurable
- Mulch :  
homogène, faible CR et érosion
- Enherbement :  
LAI homogène résultats hétérogènes pour CR et érosion

Dans d'autres études, variabilité des CR expliquée par :

- Différentes intensités de pluie, teneur en eau initiale, teneur en argile (fente dessiccation) (Joel *et al.*, 2002)

➡ **Intensités suffisantes pour générer du ruissellement**  
**Teneurs en eau initiales identiques proche de la capacité au champ**  
**Aucune fente de dessiccation observée dans les placettes**

- Création de flux préférentiels dans les traces de roue (zones compactées, Quiquerez *et al.*, 2008)

➡ **Zones compactées observées dans toutes les placettes**

- Pratiques culturales (De la Rosa *et al.*, 2005 ; Raclot *et al.*, 2009)

➡ **Une seule parcelle enherbée étudiée avec une seule pratique agricole**

➡ **Enherbement au niveau des traces de roue permet d'expliquer en partie la variabilité des résultats obtenus sur les placettes enherbées**

Joel *et al.*, 2002. *Hydrol. Proc.*, 16, 1467-1478  
Quiquerez *et al.*, 2008. *Catena*, 73, 89-97

De la Rosa *et al.*, 2005. *Soil Till. Res.*, 82, 19-28  
Raclot *et al.*, 2009. *Agric. Ecosyst. & Env.*, 134, 201-210

# Conclusion

## Occupation du sol dans les inter-rangs de vigne

- Sol nu : ruissellement et érosion les plus forts
- Mulch : résultats homogènes avec faible CR et peu d'érosion
- Enherbement : résultats hétérogènes

## Variabilité des résultats

- pente, type de sol, teneur en eau initiale, teneur en argile, pratique culturale, intensité de pluie n'expliquent pas la variabilité
- Densité d'enherbement au niveau des zones compactées des traces de roue explique en partie la variabilité

**Un enherbement des inter-rangs ne suffit pas à limiter le ruissellement et l'érosion, il faut qu'il soit dense au niveau des traces de roue.**

# **Influence d'une conversion récente à l'agriculture biologique sur la stabilité structurale des sols et ses conséquences sur le ruissellement, l'érosion et la formation de croûtes de surface dans un sol battant de Brie (77)**

**Xavier MORVAN, L. VERBEKE, S. LARATTE, A.R. SCHNEIDER**

# Introduction

## Contexte

Sols limoneux battants dans la Brie qui génèrent des quantités de sol érodé et de volumes d'eau ruisselée importants

## Objectifs

Etude de l'influence d'un changement de pratiques agricoles sur les propriétés physiques du sol

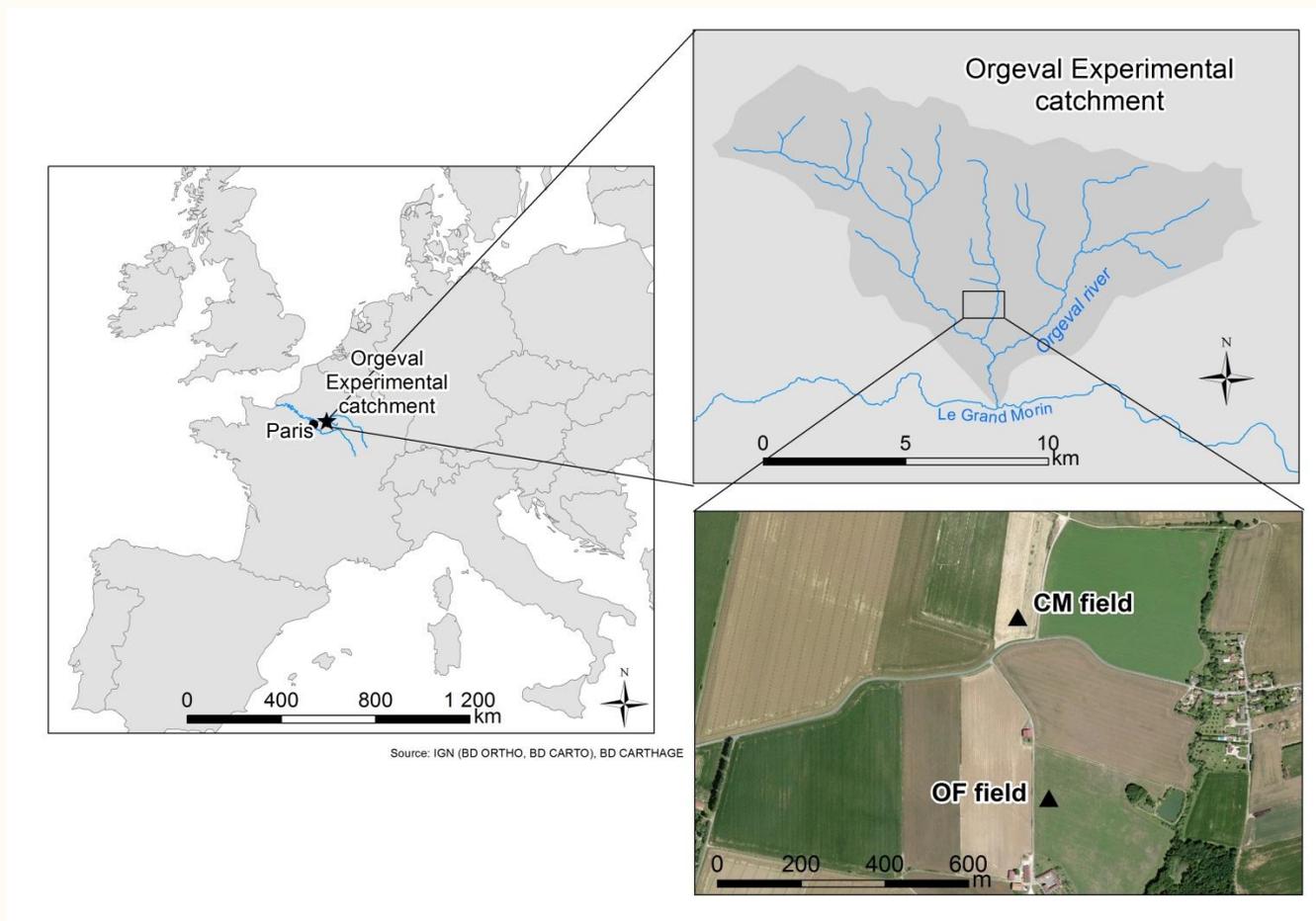
## Démarche

Mesures de la stabilité structurale du sol

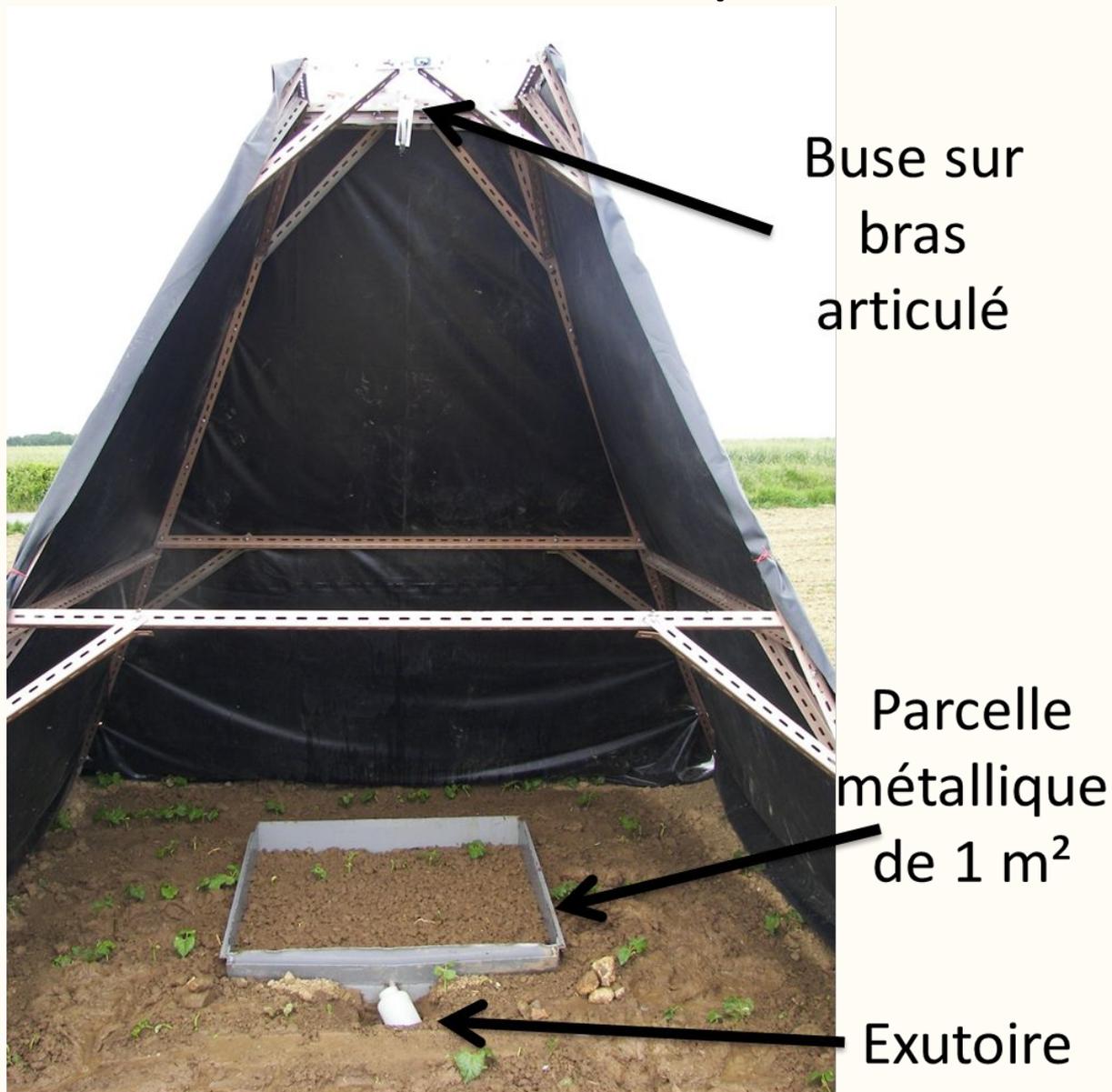
Simulations de pluie à différentes intensités sur différentes pratiques agricoles

# Matériel et méthodes

## Site d'étude



# Simulateur de pluie



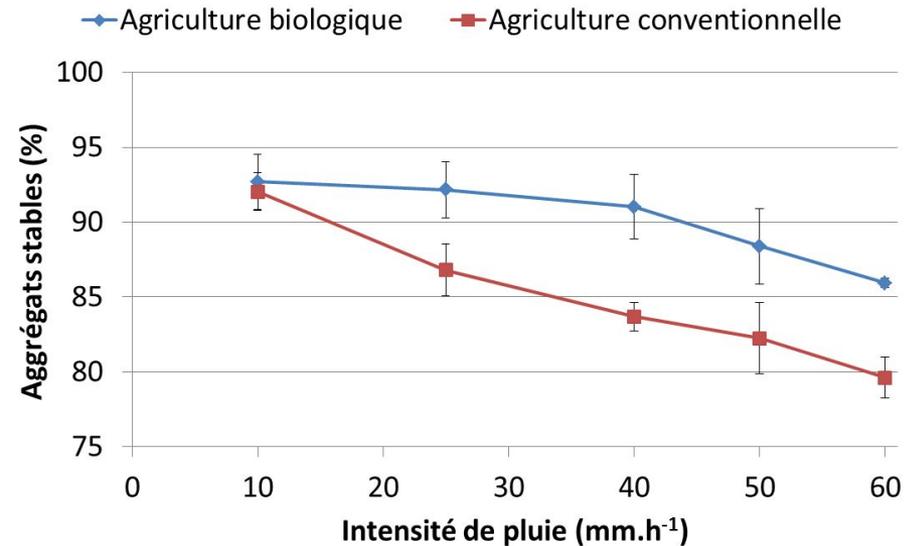
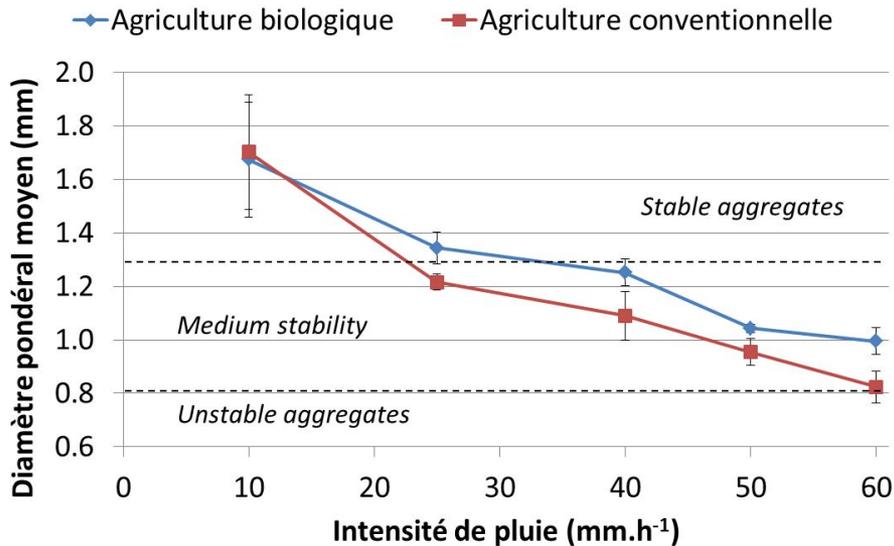
# Caractérisation du sol

	<b>Argile (g kg<sup>-1</sup>)</b>	<b>Limon (g kg<sup>-1</sup>)</b>	<b>Sable (g kg<sup>-1</sup>)</b>	<b>pH</b>	<b>Carbone organique (g kg<sup>-1</sup>)</b>	<b>Carbonates (g kg<sup>-1</sup>)</b>	<b>Densité apparente</b>
<b>Parcelle AB</b>	59 (6)	811 (11)	130 (5)	7.0 (0.1)	13.3 (3.2)	0 (0)	1.39 (0.12)
<b>Parcelle AC</b>	68 (8)	809 (12)	123 (20)	7.2 (0.0)	7.2 (2.8)	0 (0)	1.29 (0.10)

Sols aux caractéristiques très proches

# Résultats

## Stabilité structurale



- ➡ Intensité de pluie = 10 mm.h<sup>-1</sup>, aucune différence significative
- ➡ Pour intensité de pluie > 10 mm.h<sup>-1</sup>, meilleure stabilité structurale du sol AB
- ➡ Conséquences sur ruissellement, érosion et formation de croûtes lors de simulations de pluie

# Simulation de pluie

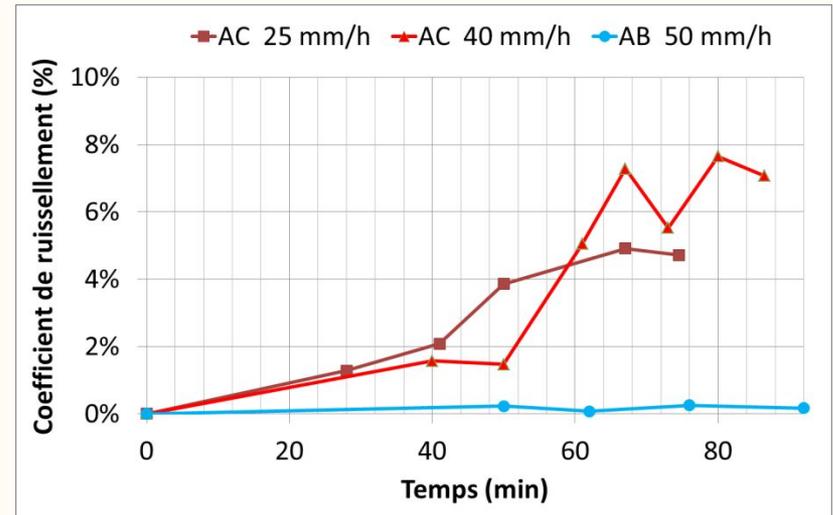
Plots	Intensity (mm.h-1)	Runoff coefficient (%)	Soil loss (g)	Depositional Crust coverage (%)
AC1	10	0.0	0.0	0
AC2	25	4.8	0.1	3
AB1	25	0.0	0.0	0
AC3	40	6.9	0.6	19
AB2	40	0.0	0.0	0
AB3	50	0.3	0.1	2

Aucun ruissellement pour les intensités de pluies de :  
 10 mm/h (sol AC)  
 25 mm/h (sol AB)  
 40 mm/h (sol AB)

Parcelle AC :  
 CR=4,8% à I = 25 mm/h  
 CR=6,9% à I = 40 mm/h

Parcelle AB :  
 CR=0,6% à I = 50 mm/h

➔ moins d'érosion dans parcelle AB que AC



# Evolution de l'état de surface des sols

Agriculture conventionnelle  
Intensité de pluie : 40 mm.h<sup>-1</sup>



Formation d'une croûte structurale

Agriculture biologique  
Intensité de pluie : 50 mm.h<sup>-1</sup>



Agrégats scellés mais encore visibles

Début de  
la  
simulation  
de pluie

Fin de la  
simulation  
de pluie

# Conclusion

## Stabilité structurale

Meilleure stabilité structurale des sols AB

## Ruissellements et érosion

Pour des intensités de pluie similaires :

- ruissellement sol AC > ruissellements sol AB
- érosion sol AC > érosion sol AB

## Etats de surface des sols

Les états de surfaces se dégradent plus rapidement dans un sol AC : fermeture de la porosité du sol avec formation d'une croûte structurale

# Approche fonctionnelle des haies herbacées dans la lutte contre l'érosion des sols



## **Léa KERVROËDAN**

Doctorante en écologie fonctionnelle végétale  
appliquée à l'érosion des sols

Direction de la thèse : Michel-Pierre Faucon  
Codirection: Romain Armand

**AREAS**

**UniLaSalle**  
Terre & Sciences

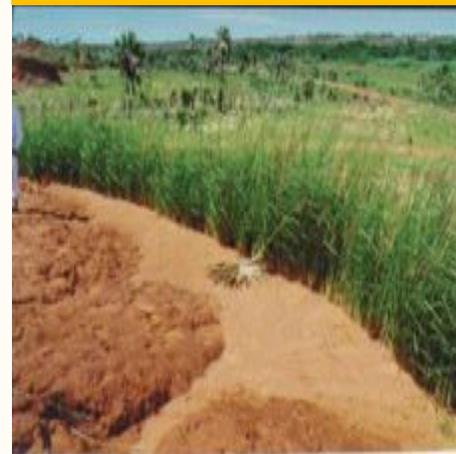
## Haies arbustives et arborescentes



## Fascines



## Haies herbacées



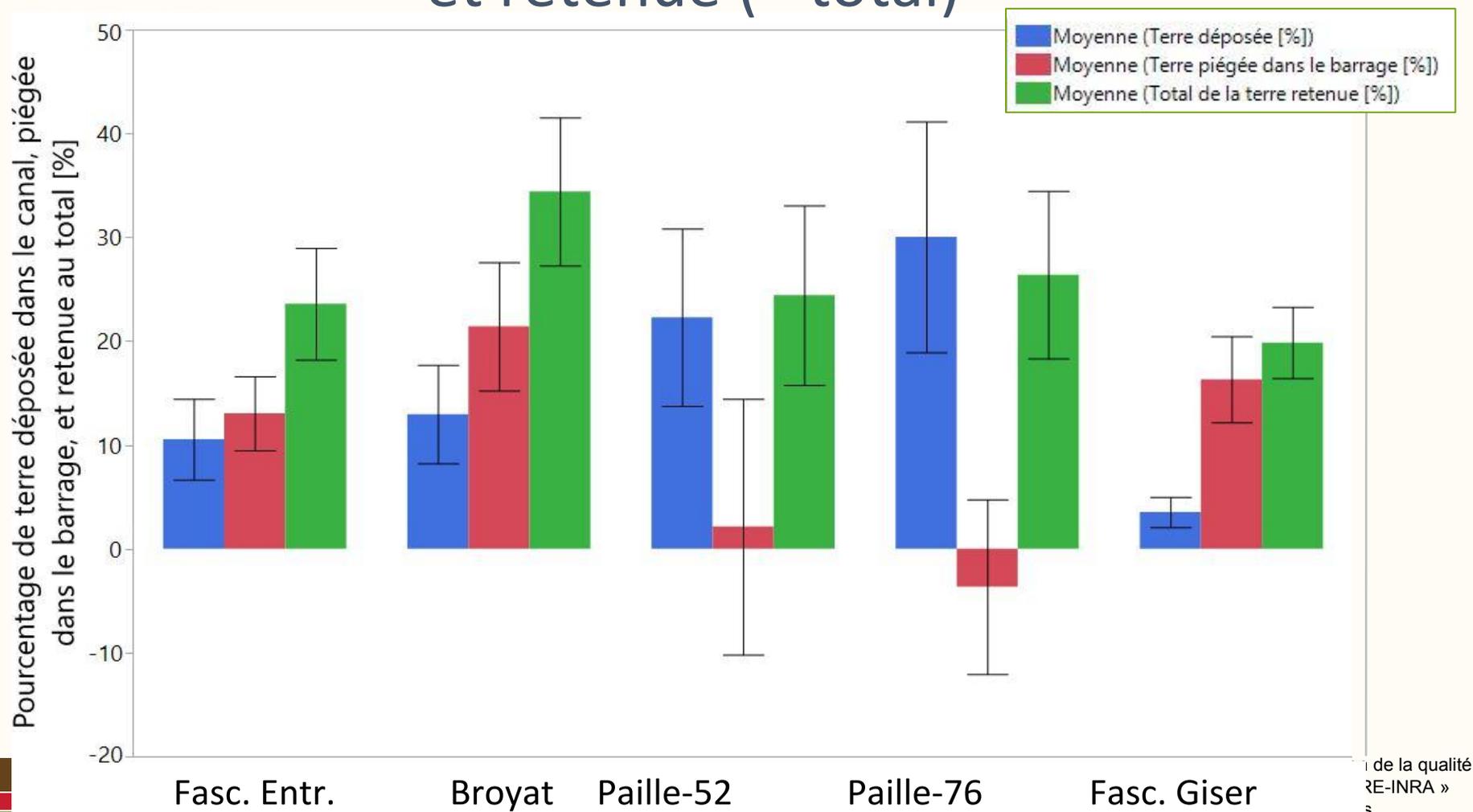
# Suivi des fascines in situ

- Rétention en sédiments des fascines wallonnes in situ (été 2016)

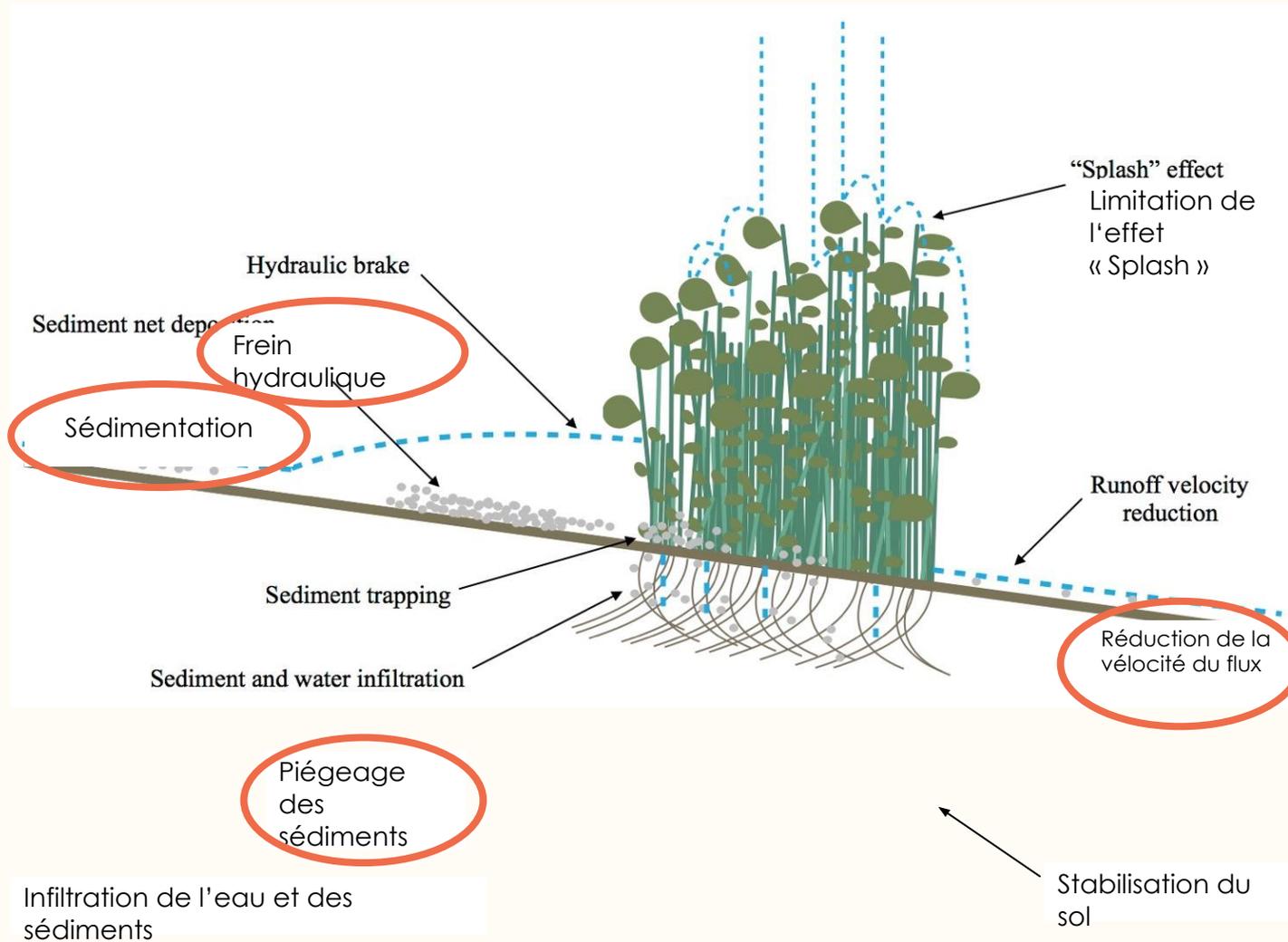
	Surface de déposition	Masse calculée du dépôt
Chastre, rue des 15 Bonniers	15 m <sup>2</sup>	2,5 T
Jodoigne, Sainte Gertrude	58 m <sup>2</sup>	3,5 T
Jodoigne, Grande Chavée	10 m <sup>2</sup>	0,5 T
Ottignies-LLN, rue du Puits	33 m <sup>2</sup>	4 T
Gembloux, rue des Grands-Ha	50 m <sup>2</sup>	1,5 T
Orp-Jauche, rue de la Marne	33 m <sup>2</sup>	3 T
<i>Orp-Jauche, rue H. Vannier</i>	<i>~225 m<sup>2</sup></i>	<i>~31 T</i>
Gembloux, les 3 clés	250 m <sup>2</sup>	25 T
<b>TOTAL</b>		<b>~70 T</b>

# Le simulateur de ruissellement

## Pourcentage de terre déposée en amont et retenue (= total)

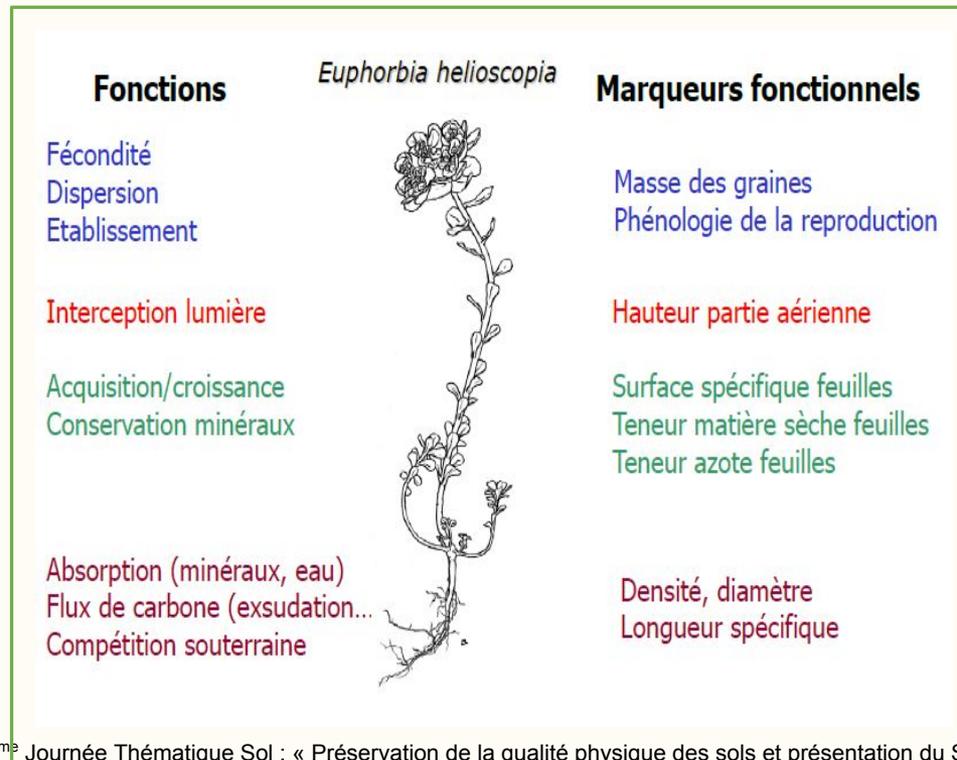


# Impacts de la végétation sur les processus d'érosion



# Qu'est-ce qu'un trait fonctionnel chez une plante ?

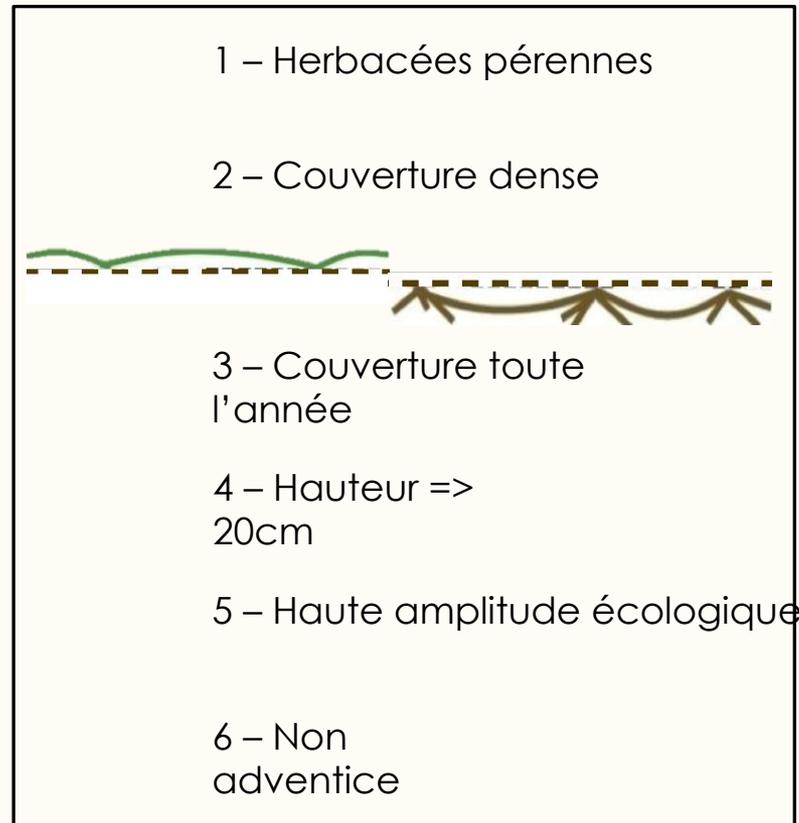
→ Caractéristique morphologique, phénologique ou physiologique d'un organisme mesurée à l'échelle des individus et qui affecte sa performance individuelle (Violle et al., 2007).



# Objectif

- **Effets des traits fonctionnels aériens sur la rugosité hydraulique et leurs conséquences sur le dépôt de sédiments**

# Méthode de sélection des espèces candidates en utilisant l'approche des types fonctionnels



**3500 espèces vasculaires du NO de l'Europe**



**86 espèces indigènes potentiellement candidates**

# Mesures des traits fonctionnels

Espèces
<i>Senecio jacobaea</i>
<i>Phalaris arundicea</i>
<i>Carex pendula</i>
<i>Artemisia vulgaris</i>
<i>Festuca arundicea</i>
<i>Origanum vulgare</i>
<i>Dactylis glomerata</i>
<i>Carex sylvatica</i>
<i>Tanacetum vulgare</i>
<i>Melica nutans</i>
<i>Carex acutiformis</i>
<i>Lolium perenne</i>
<i>Carex flacca</i>
<i>Miscanthus sinensis</i>

## Traits mesurés sur des individus

- Masse volumique
- Diamètre
- Surface
- Taux de matière sèche

× Densité de tiges

- Surface foliaire spécifique (SLA)
- Surface foliaire

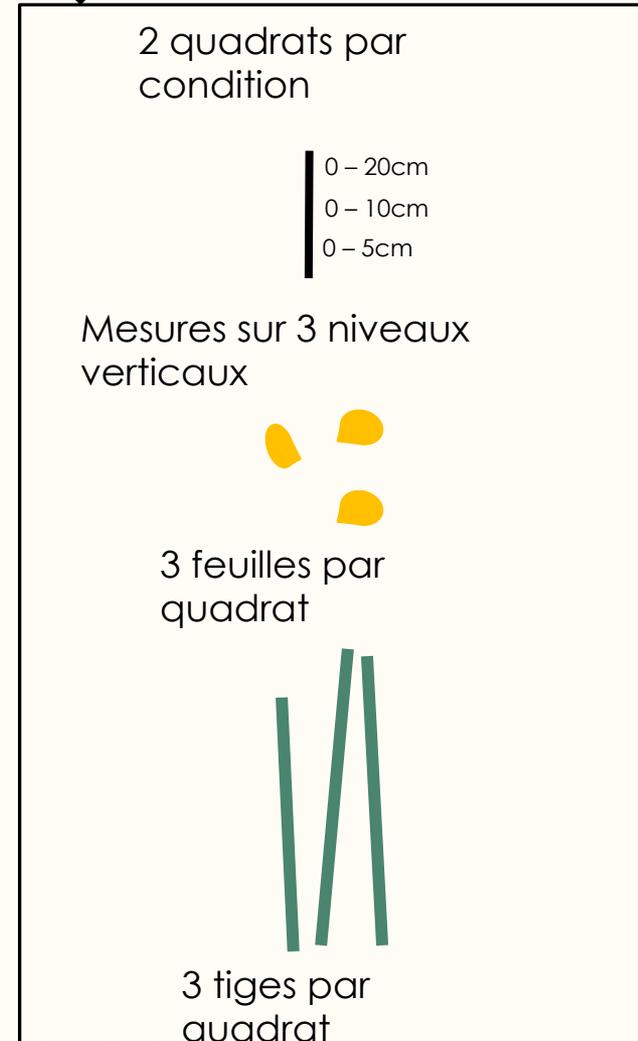
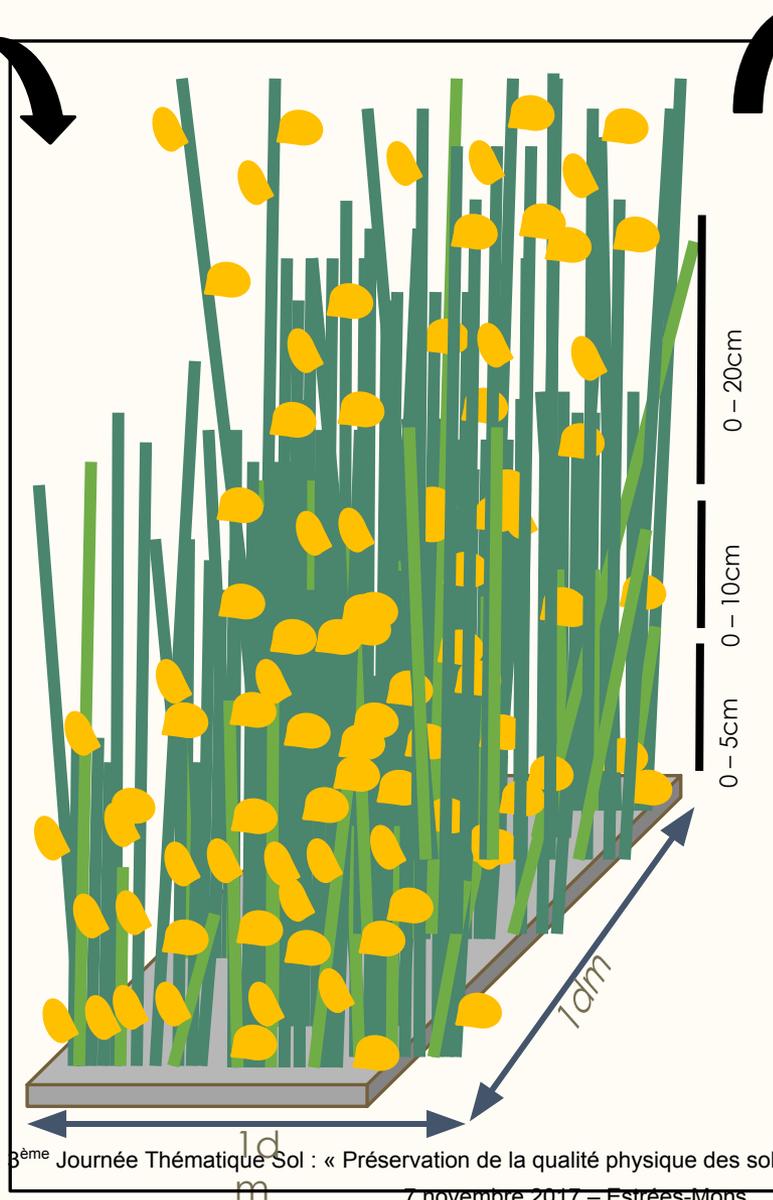
× Densité de feuilles

## Abondance des traits dans la communauté

- Abondance de masse volumique
- Abondance de diamètre
- Abondance de surface
- Abondance de taux de matière sèche

- Abondance de SLA
- Abondance de surface foliaire

# Mesures des traits fonctionnels



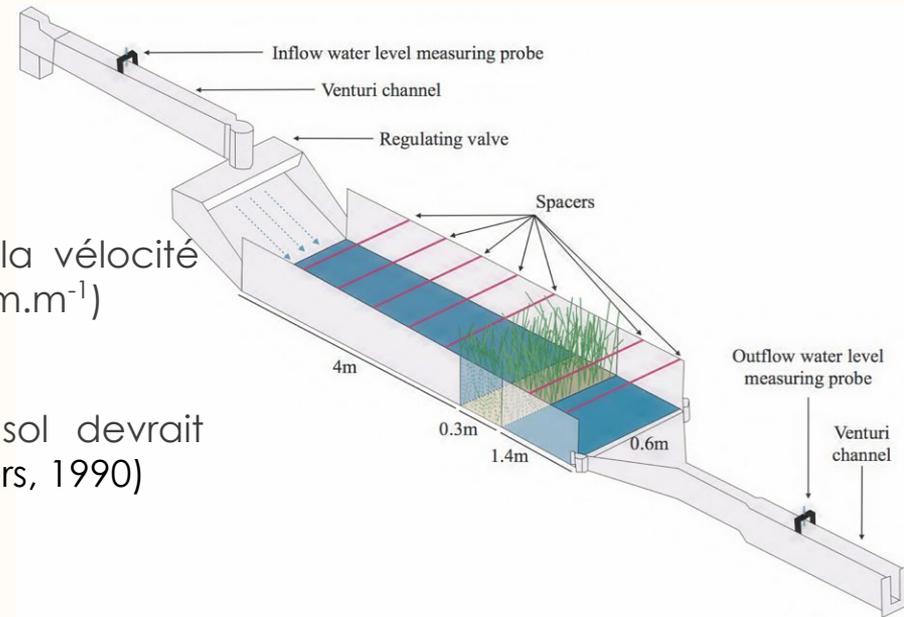
# Caractérisation de la rugosité hydraulique

- Débits utilisés : 2 – 4 – 8 – 11 L.s<sup>-1</sup>.m<sup>-1</sup>
- Indice de rugosité hydraulique → Unit Stream Power (USP)

$$USP = V \times S$$

où USP est l'énergie du flux (m.s<sup>-1</sup>), V est la vitesse moyenne (m.s<sup>-1</sup>) et S est la pente du canal (m.m<sup>-1</sup>)

- Valeur d'USP à partir de laquelle le sol devrait commencer à s'éroder : **0.004m.s<sup>-1</sup>** (Govers, 1990)



# Traits fonctionnels influençant la rugosité hydraulique

67

## Traits mesurés sur des individus

- Masse volumique
- Diamètre
- Surface
- Taux de matière sèche

× Densité de tiges

- Surface foliaire spécifique (SLA)
- Surface foliaire

× Densité de feuilles

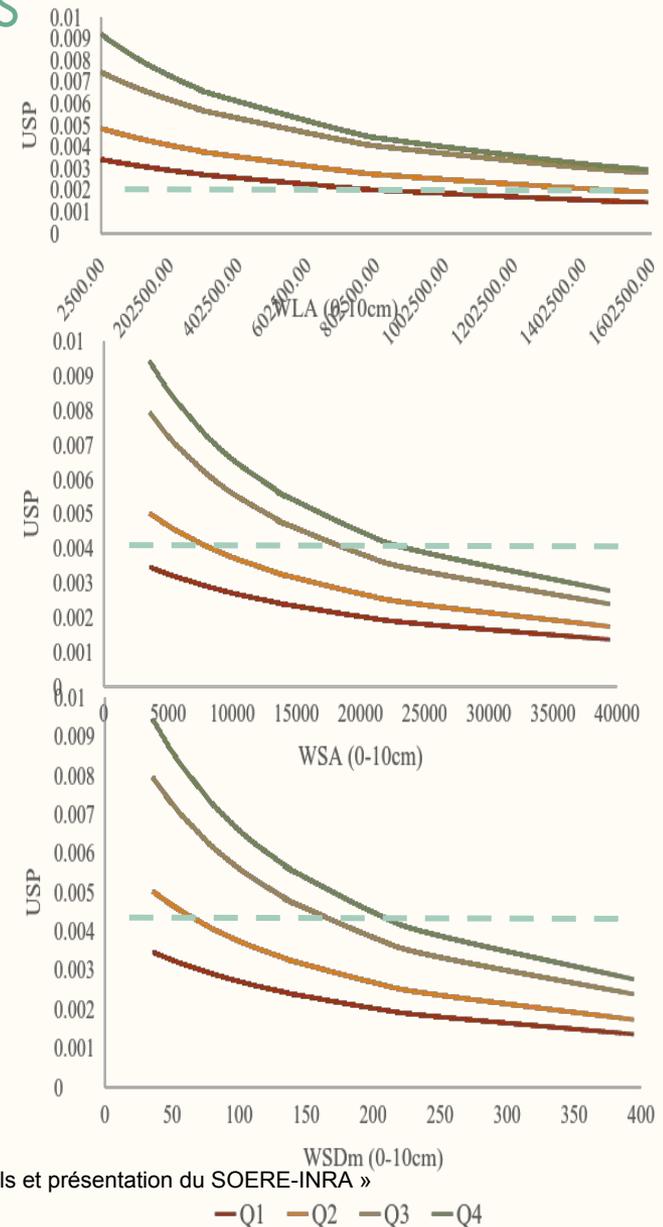
## Abondance des traits dans la communauté

- Abondance de masse volumique
- Abondance de diamètre
- Abondance de surface
- Abondance de taux de matière sèche

- Abondance de SLA
- Abondance de surface foliaire

# Combinaisons de traits et abondances de trait efficaces

- Représentation de régressions gamma
- Meilleur modèles ( $\Delta AICc < 2$ ) :
  - Traits
    - LA + LD
    - LD (pour Q3 et Q4)
  - Abondances de trait
    - WLA + WSA
    - WLA + WSDm



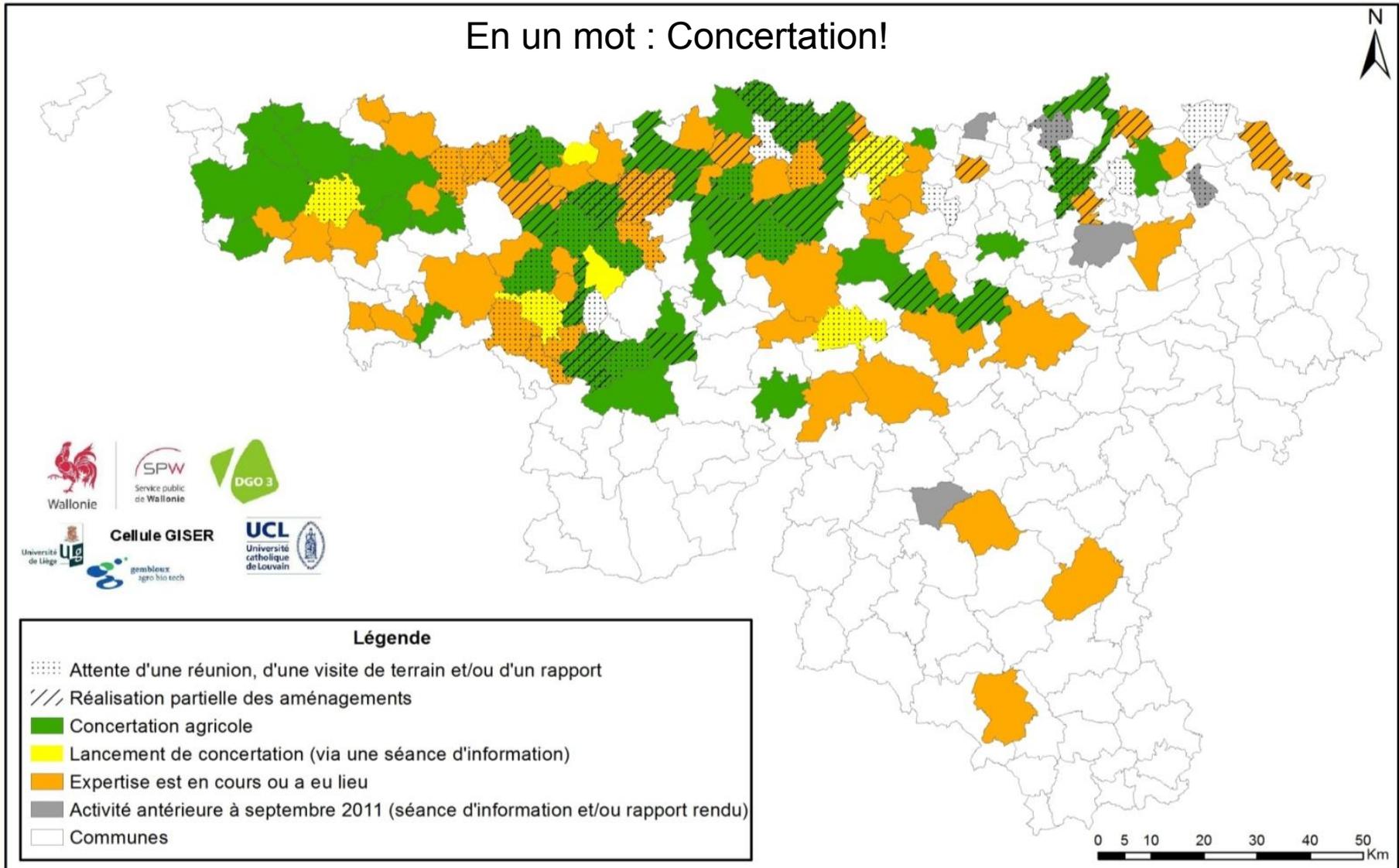
# Conclusion

- Principaux effets : LD, LA, SA, SDm
- Meilleur effet des **densité de traits foliaires et de la tige** sur l'augmentation de la rugosité hydraulique.
- La **sélection d'espèces efficaces** pour créer des haies herbacées peut être faite à partir des traits et abondances de trait identifiés et de leur valeur d'USP ( $USP < 0.004\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ).
- Perspectives : tester l'effet de la diversité fonctionnelle sur la sédimentation des végétations.



# Appui aux municipalités : GISER en Wallonie

En un mot : Concertation!



# Aménagements hydrauliques : une approche globale

Une solution : la création d'Association Syndicale Autorisée (ASA)

Association de propriétaires regroupés pour réaliser des travaux (aménagement des chemins d'exploitation, transport et canalisation des eaux de ruissellement, construction de bassins d'orage)

Ses propriétaires la créent, la gèrent et la financent

Accompagnement par les chambres d'agriculture des porteurs de projet