



Ruissellement & Erosion des sols

Phénomènes, Expérimentations, Actions de lutte
Zones Tampons et Pratiques culturales

R.Ex. de Haute-Normandie

CNFPT Réseau :
Eau-Assainissement -
Milieux aquatiques

Jean-François Ouvry
11 - 05 - 2021



Un beau territoire

Mais parfois : que d'eau ! Et que de boues !



BV sec # 10 km²
Débit de 9 m³/s.

Talon d'Achille du territoire / eau

- Exemples d'inondations et coulées de boues



Plateau avec fort ruissellement + érosion si pente élevée

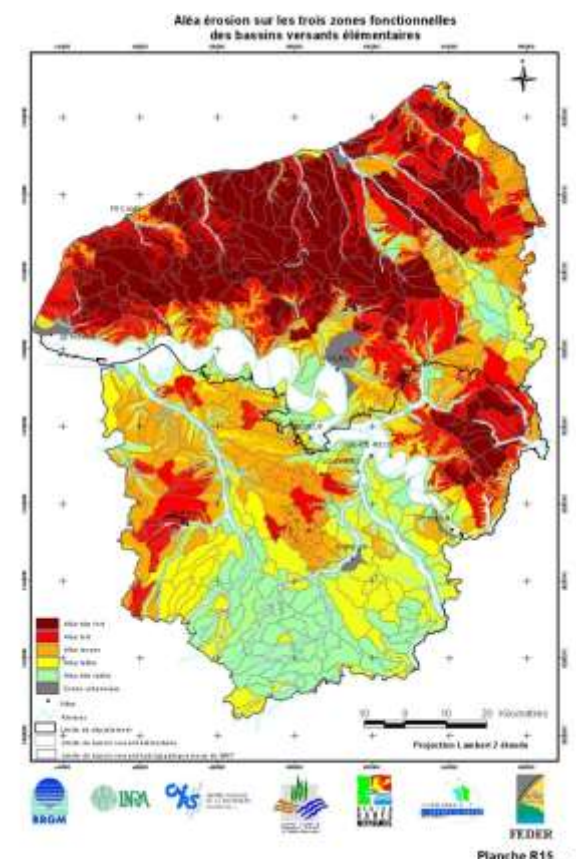
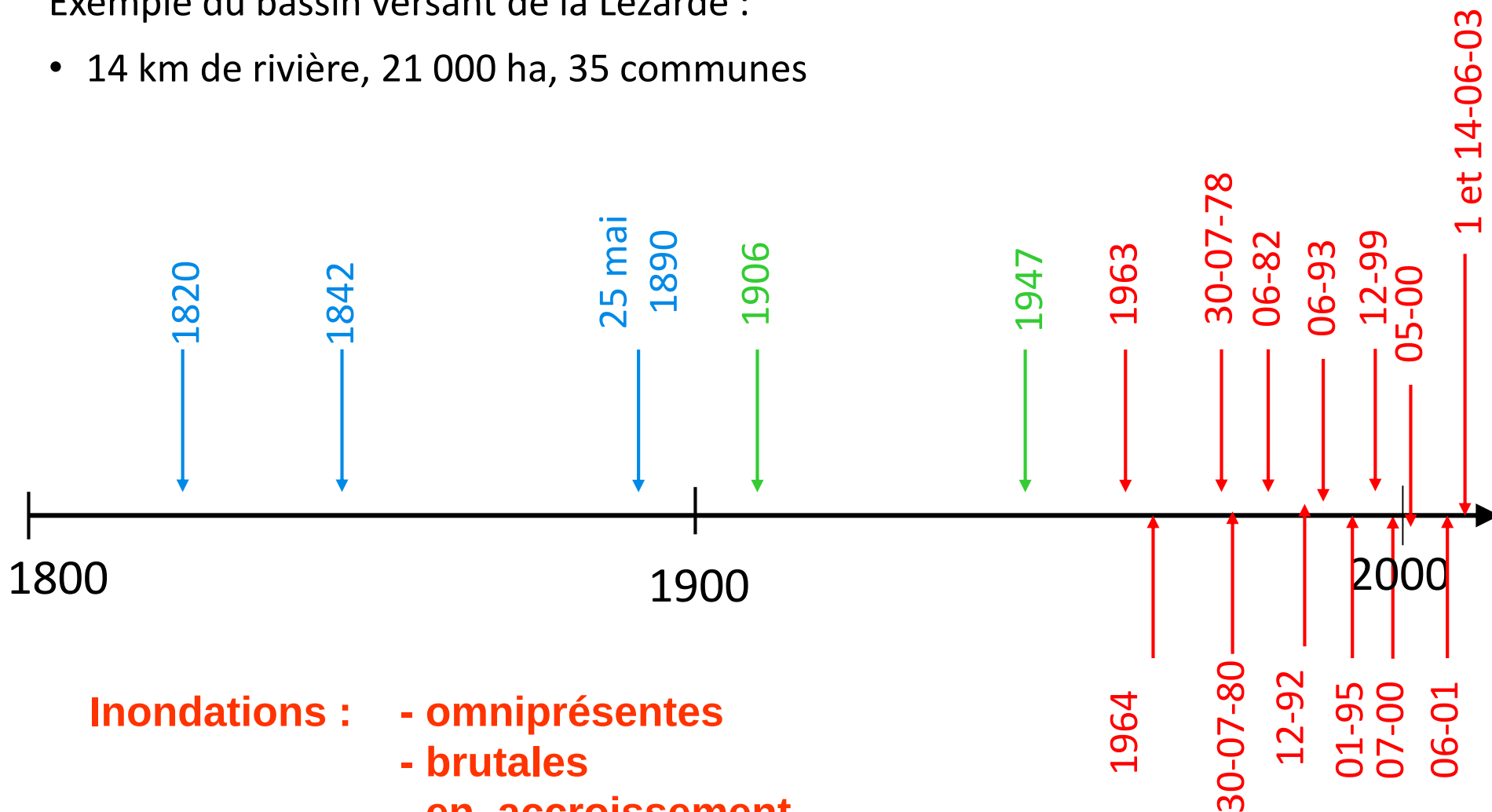


Récurrance des problèmes

Evolution des ruissellements au cours du temps d'après l'indicateur «inondation» :

Exemple du bassin versant de la Lézarde :

- 14 km de rivière, 21 000 ha, 35 communes



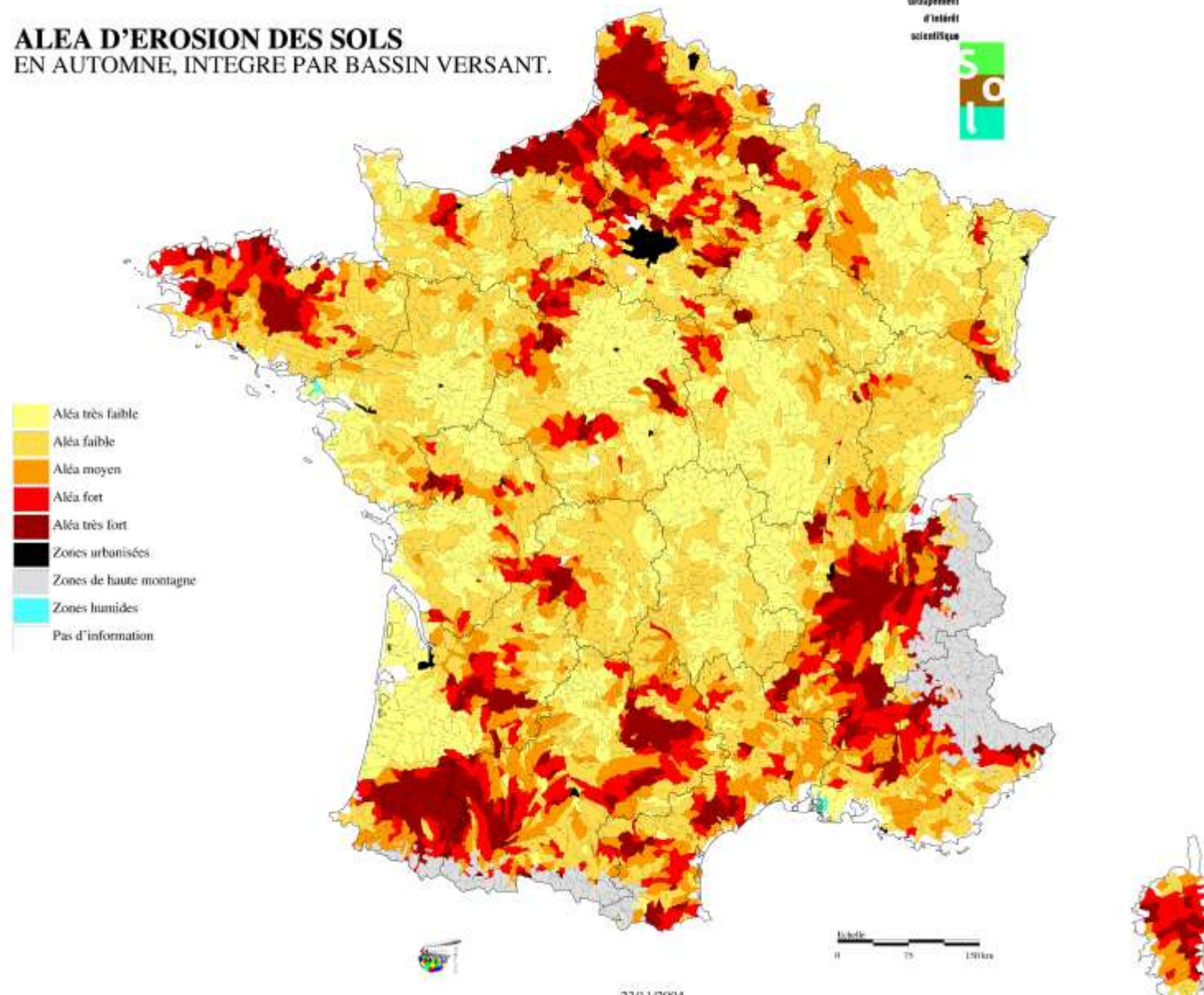
➤ Risque d'érosion des sols en France (Le Bissonnais *et al.*, 2002, Catena)



1 – Aperçu simplifié des Processus du ruissellement

Carte de l'Aléa Ruissellement- Erosion

ALÉA D'ÉROSION DES SOLS
EN AUTOMNE, INTÈGRE PAR BASSIN VERSANT.



Rappels simples du processus de ruissellement

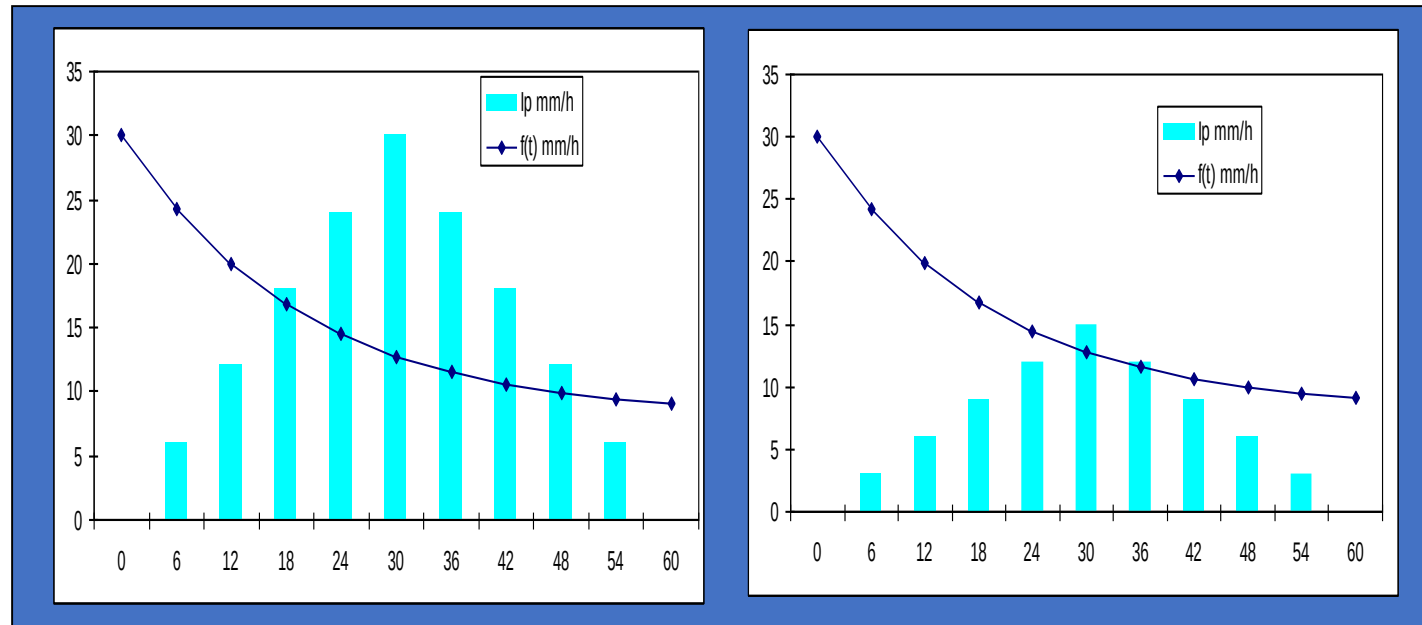
↳ Conditions nécessaires

1. Naissance d'un ruissellement,
 1. Caractéristiques des Pluies
 2. Caractéristiques des Sols
2. Forces capables d'arracher des particules,
 1. Pluie
 2. Ecoulement
3. Déplacement de l'eau et capacité de transport,
4. Vitesse de l'eau pour la sédimentation.

Conditions d'apparition du ruissellement

① La formation d'un excès d'eau : **1^{er} facteur : la pluie.**

**Naissance d'un excès d'eau superficiel dès que :
Intensité de la pluie > vitesse d'infiltration dans le sol.**



Ce processus correspond à la genèse du ruissellement dit : **HORTONIEN.**



**Mais tous les paramètres changent au cours du temps,
à l'échelle d'une pluie et à l'échelle de la succession des pluies.**

- ① Formation d'un excès d'eau : **2^{ème} facteur = le SOL .**

Dans le monde, il y a excès d'eau si :

intensité de la pluie > infiltrabilité du sol

(0,5 à 400 mm/h)

(400 à moins de 1 mm/h selon
l'occupation du sol et l'activité agricole)

- Il existe des zones dans le monde où l'intensité de la pluie est toujours forte : > 100 mm/h .
- Et ce n'est que dans ces conditions que l'érosion se développe, même sur des sols ayant une bonne stabilité structurale du fait de leur teneur en argile (> 35%) !



Importance du paramètre Sol : régime d'infiltration.

Le phénomène de battance sur sol nu.

2 GRANDES ETAPES

ETAT FRAGMENTAIRE
INITIAL



PHASE : FERMETURE de la
① SURFACE



PHASE : CROUTES de DEPOT
②



INFILTRABILITE
mm/heure
30 à 60

6 à 2 mm/h

moins de
1 mm/h

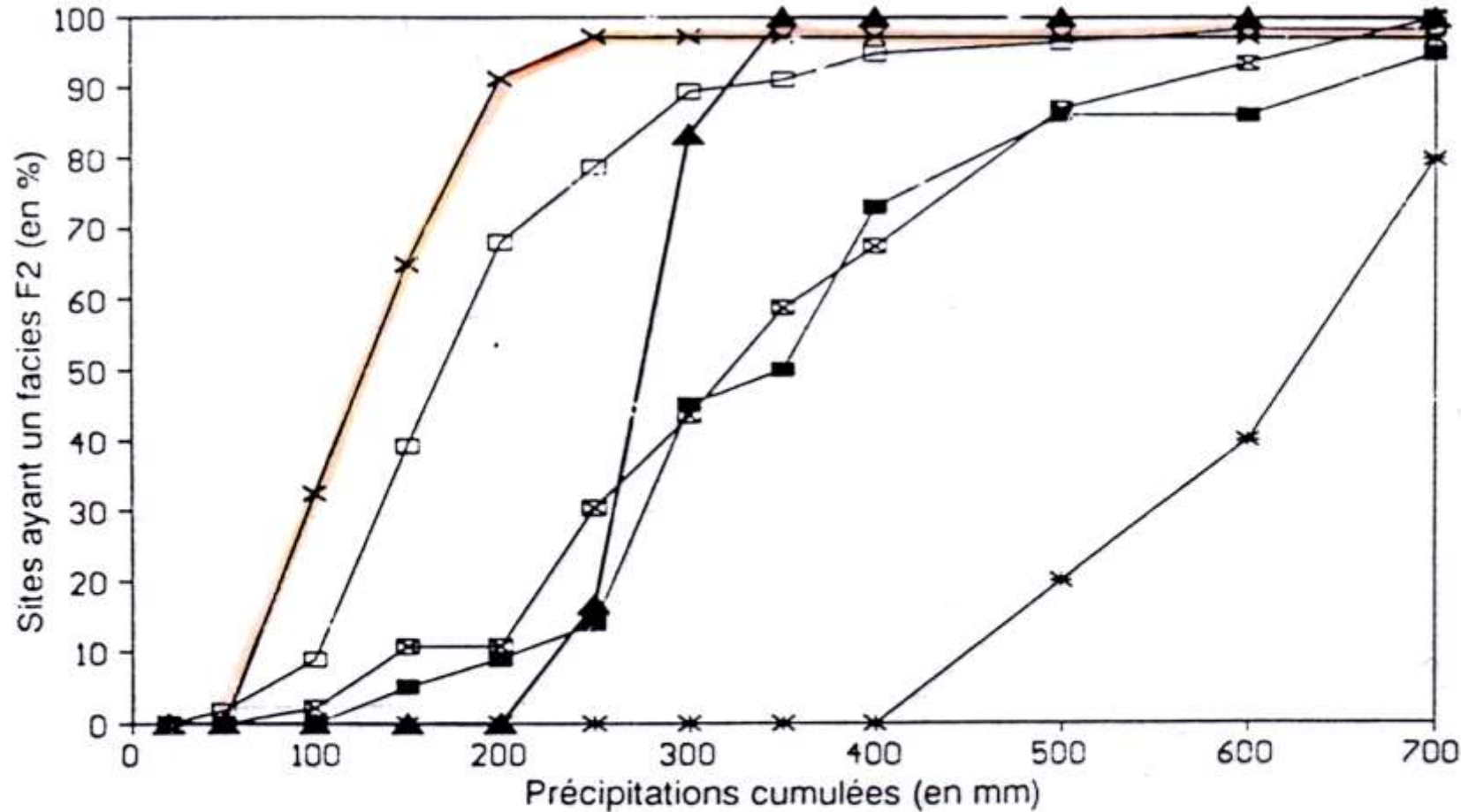


Etat fragmentaire initial
↓
Crûte de dépôt (F2)

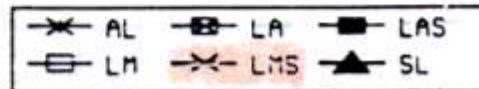


LE DECLENCHEMENT DE LA PHASE ② EST UN STADE
CRITIQUE, C'EST LE PREMIER EXCES D'EAU D'AU MOINS
5 MM.

Facteurs sol qui conditionnent la formation de la croûte de battance

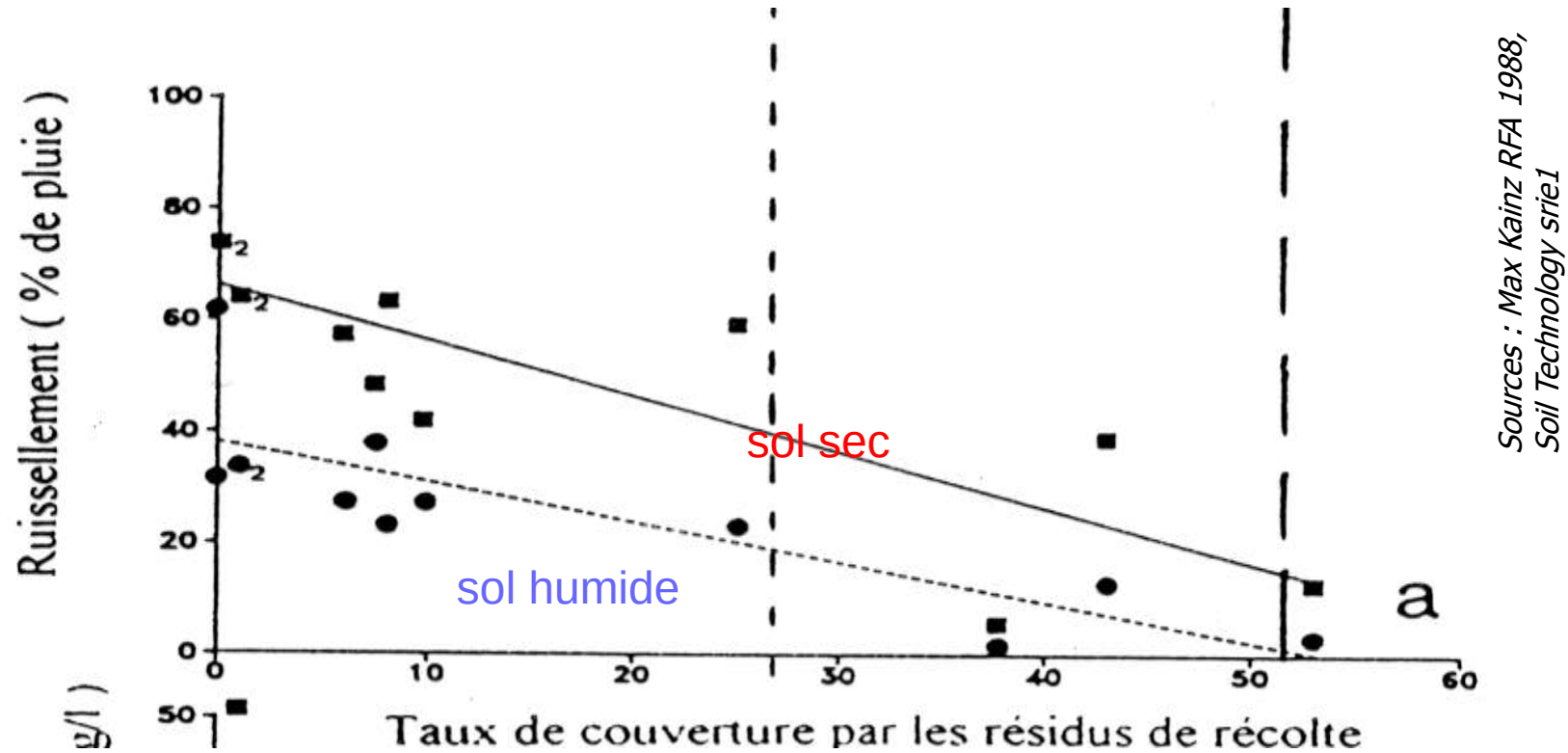


Classes
texturales



Evolution des proportions de sites ayant un état de surface répondant au faciès F2 (croûte sédimentaire) avec les cumuls de pluies à partir de la date du semis (en mm) par classe texturale

Le couvert végétal joue un rôle crucial dans la formation des croûtes superficielles et la réduction des ruissellements.



Dès que le taux de CV > 40-50 % ; le ruissellement est fortement réduit.

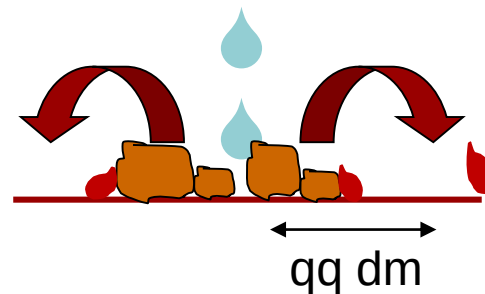
+ Influence de l'histoire hydrique sur la vitesse de désagrégation des fragments de surface

Le processus d'érosion : 2 processus

① Arrachement de particules sous l'effet de la pluie

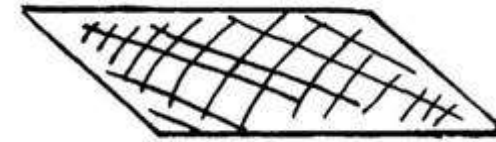
• Soit l'effet « splash » :

- impact des gouttes de pluie qui provoque une **érosion diffuse**,
- $Q_D = aE_c^b$
- Splash $E_c = f(I_p)$



Désagrégation par éclatement total ou partiel (pression interne et gonflements) et par chocs des gouttes sur agrégats saturés.

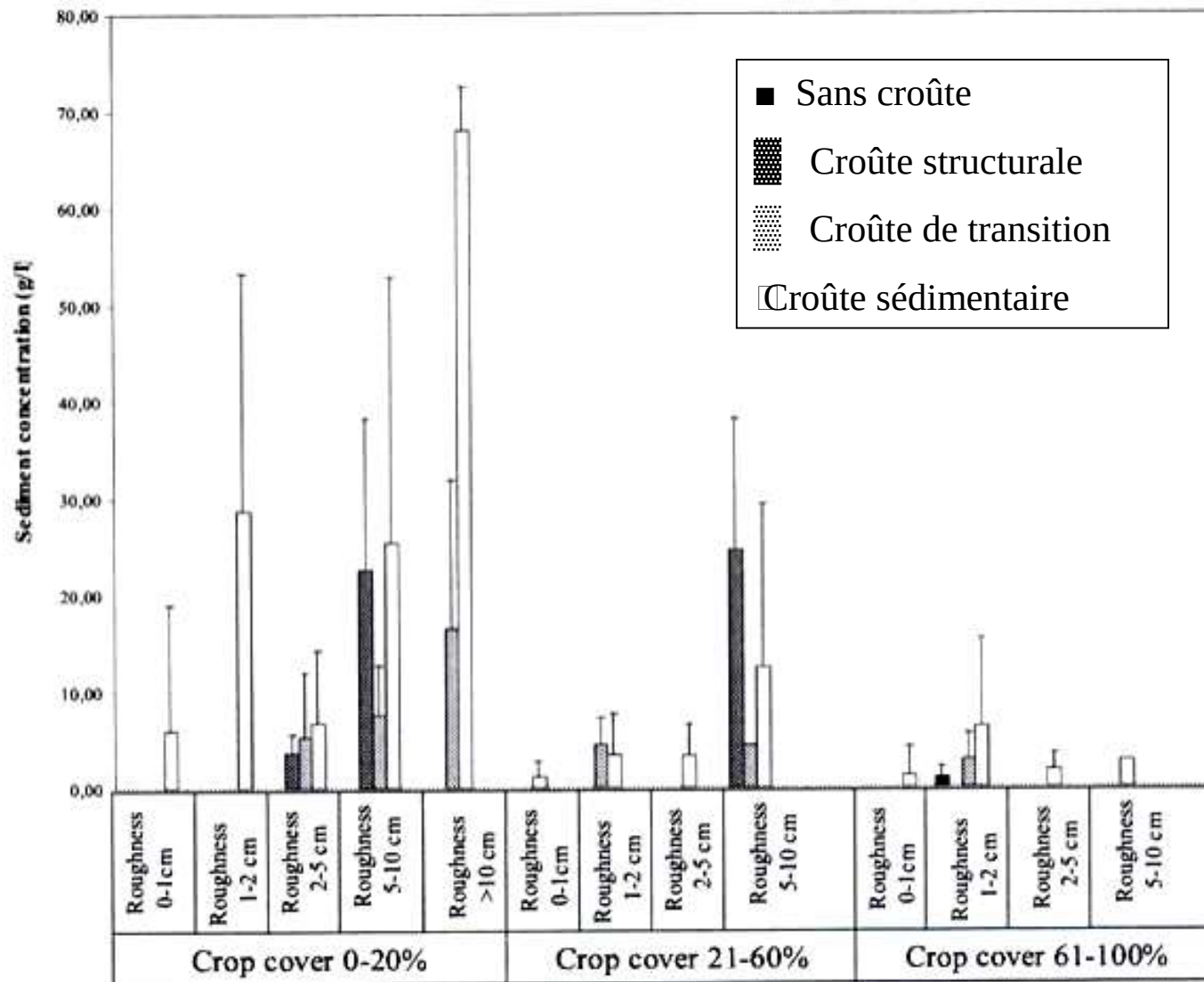
Erosion diffuse



Sur toute la surface du sol



Le processus d'érosion : 2 processus



Quantification de l'érosion diffuse, exemple :
Effet du couvert > de la rugosité > au type de croûte.

Source : CERDAN O. 2001 thèse fig 4.4

Le processus d'érosion : 2 processus

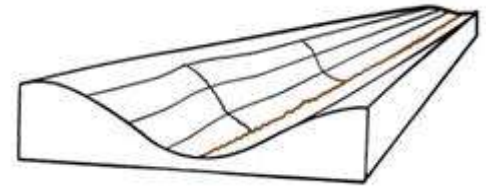
② Arrachement de particules sous l'action d'un écoulement.

- Soit l'effet de la lame d'eau en mouvement (ruissellement)
 - **érosion localisée linéaire**
 - $V \text{ écoulement} > \text{vitesse seuil}$

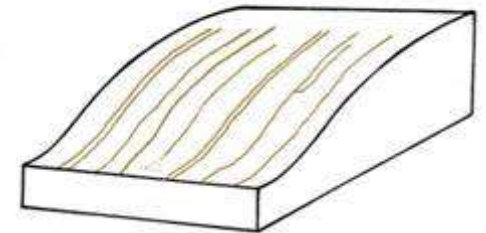


Erosion linéaire

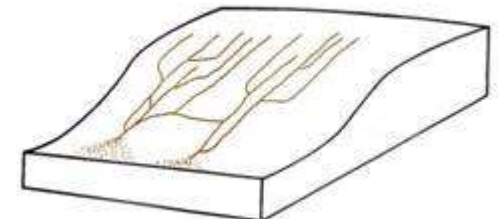
Forme linéaire dans talweg



Forme en parallèle sur versant
 $\text{Pente} > 3^\circ$

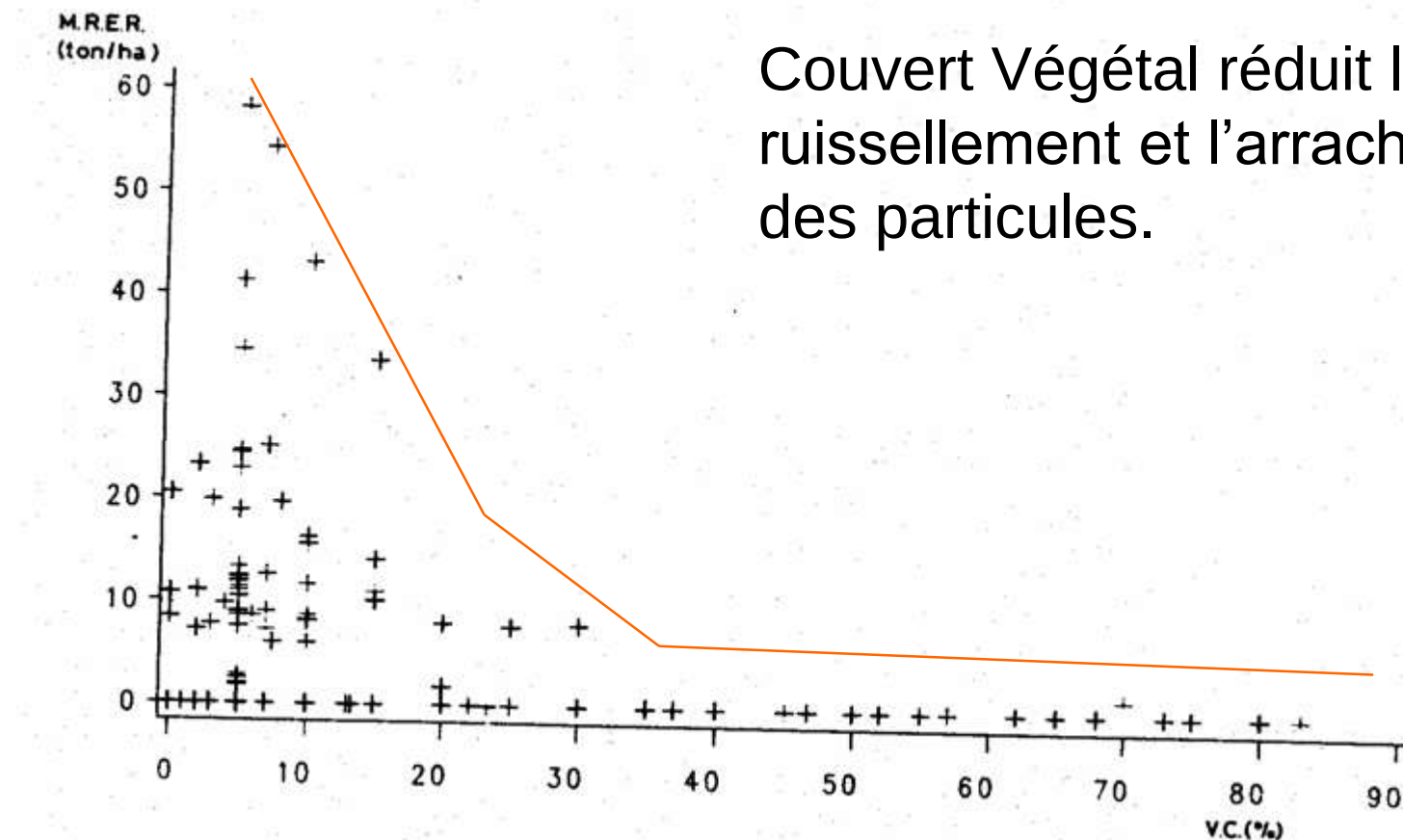


Forme en chevelu sur versant
 $\text{pente} > 3^\circ$



Le processus d'érosion : 2 processus

Le couvert végétal influence l'apparition d'érosion : splash + rigoles



Couvert Végétal réduit le ruissellement et l'arrachement des particules.

Éléments de conclusion sur les Processus d'érosion et de ruissellement : synthèse

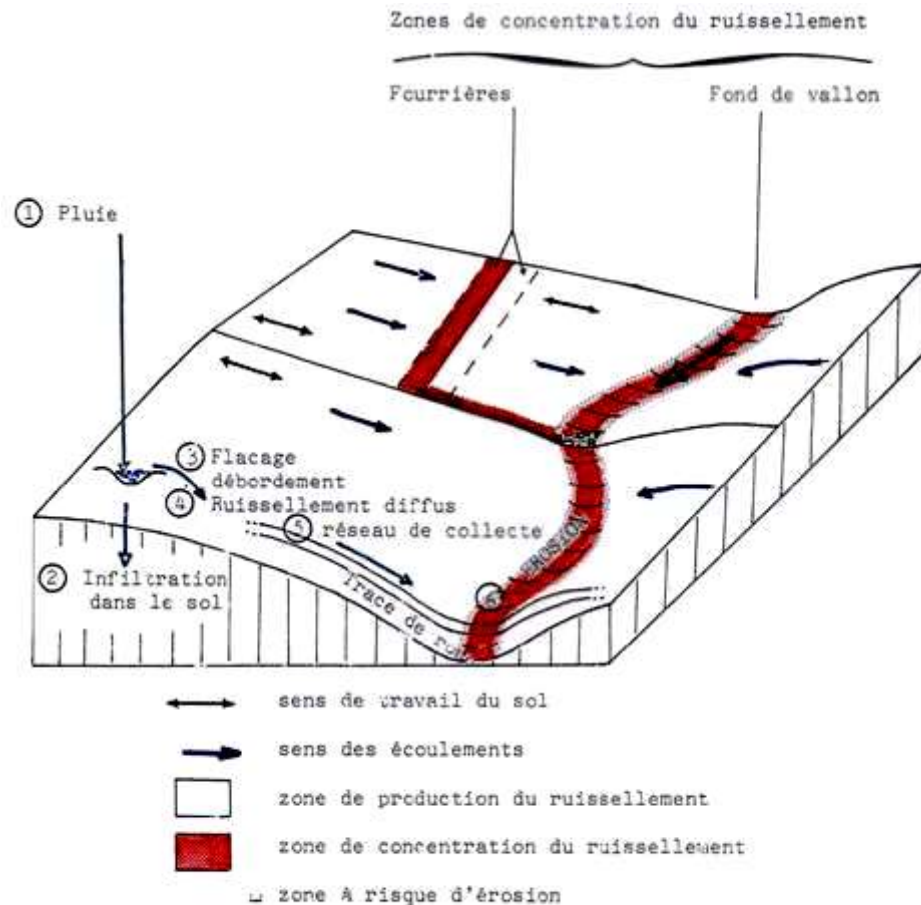


Schéma et processus simplifié de l'érosion en Haute-Normandie d'après J. BOIFFIN (INRA)

- Zones à risque d'érosion :
 - Les fonds de vallons labourés
 - Les fourrières
 - Les parcelles en forte pente et labourées
- on peut avoir une Séparation dans l'espace des zones de ruissellement et des zones d'érosion.
- => **Démarche de BV**

Éléments de conclusion sur les Processus d'érosion et de ruissellement : synthèse

Solutions : 2 groupes d'actions complémentaires et indissociables

Solutions agronomiques	Solutions hydrauliques
● Pour réduire les ruissellements et l'érosion à la source ● Individuelles ● Au départ des ruissellements et de l'érosion ● À la parcelle	● Pour gérer et maîtriser les écoulements inévitables ● Collectives ● Graduellement de l'amont vers l'aval ● Sur l'ensemble du bassin versant



2 – Stratégie d'Action en Normandie

Résumé des actions Préventives.

Basée sur les Processus de Ruissellement - érosifs

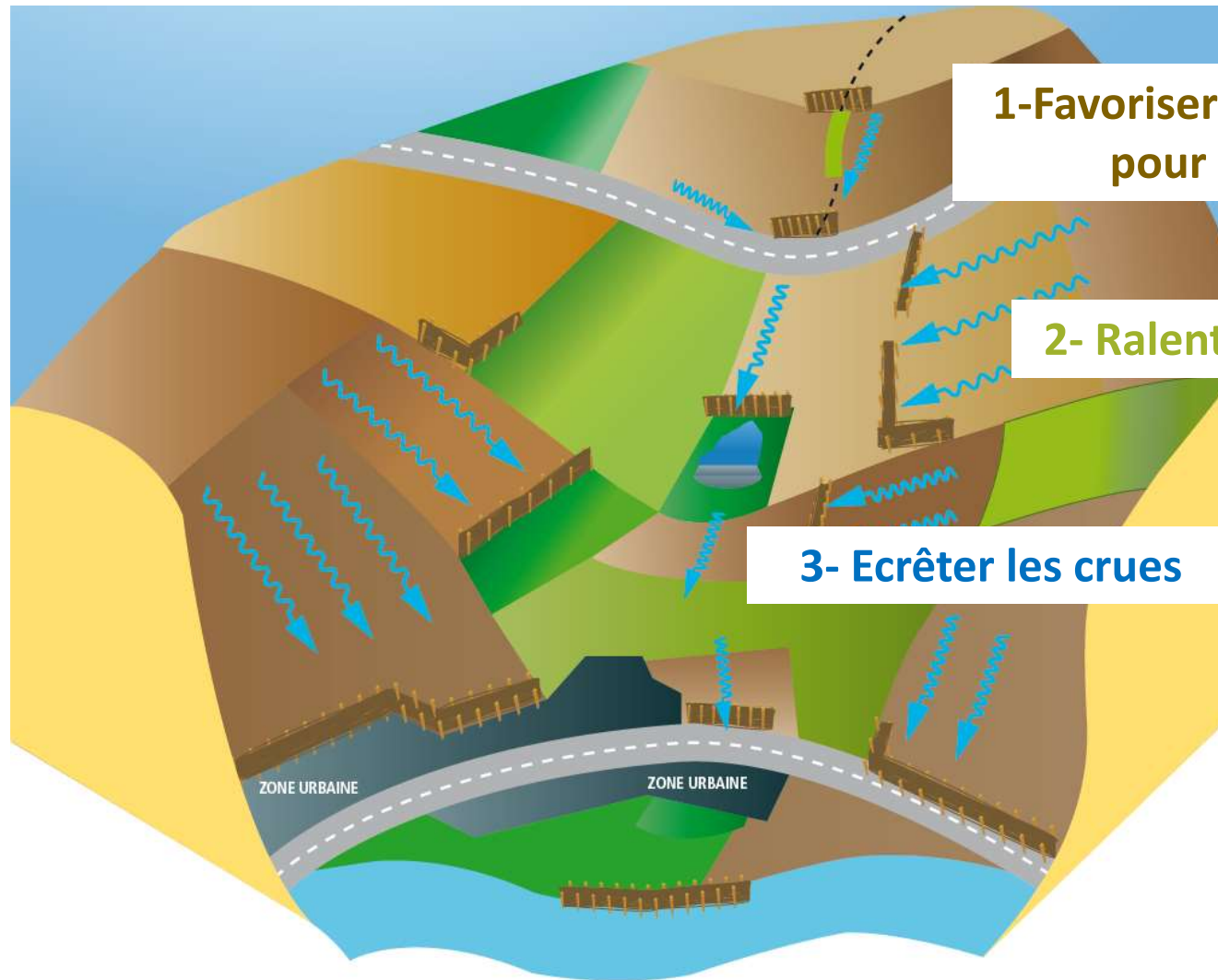
Ruissellement : Stratégie d'action

1. Les processus => Stratégie d'action à l'échelle des bassins versants
2. Avec 2 volets complémentaires et indissociables :
 - Limitation des ruissellements agricoles et urbains
 - Mesures sur le chemin de l'eau (thalweg) : zones tampons
 - Ouvrages de laminage de crue si besoin/enjeux.

Fonctions : d'infiltration, de sédimentation, de résistance à l'arrachement et d'épuration .

Politique de réduction de l'aléa ruissellement/érosion

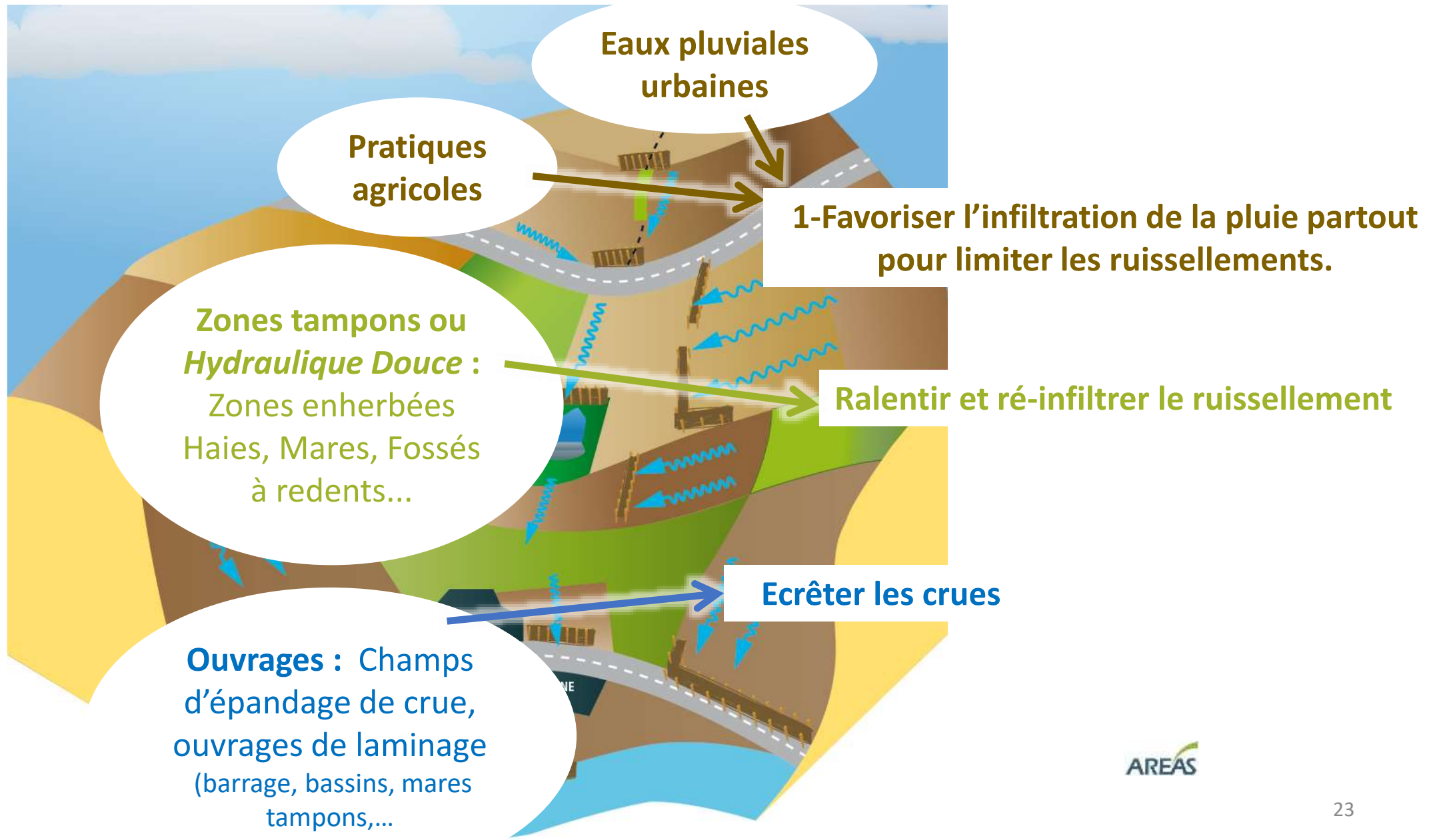
=> une approche à l'échelle du bassin versant, Sur le chemin de l'eau,
Selon 3 axes :



1-Favoriser l'infiltration de la pluie partout pour limiter les ruissellements.

2- Ralentir et ré-infiltrer le ruissellement

3- Ecrêter les crues



Marges de Manœuvre agronomiques vis-à-vis du ruissellement : Conclusions tirées des processus.

- Préserver la capacité d'infiltration = Retarder l'apparition des croûtes
- Limiter leur importance

1. Couverture des sols ;
2. Sol motteux + stockage en surface ;
3. Ré-infiltrer au + près des flaques ;
4. « Briser » les croûtes superficielles ;
5. Teneur en MO ;
6. Affectation de l'occupation du sol dans l'espace et sens de W du sol ;
7. Éviter les sols compactés (TR, CR)

Exemples d'actions :

- Semis herse droites et pas rotatives
- Les outils de w du sol et nb de passages
- Cultures intermédiaires, RGI inter rang du maïs
- Binage , écroûtage des céréales
- Flaquage PDT et autres
- Non labour,.....
- Polyculture élevage
- Herbe / maïs
- Où localiser l'herbe
- Succession de cultures ruisselantes et infiltrantes, assolement concerté
- Limite de parcelle pour déconnecter l'amont de l'aval
- Strip till
- Culture sous couvert
- Effaceurs de traces
- Statut des pailles

Mais ces actions ont des limites.

Exemples de Solutions préventives Agricoles - 1

Volet préventif sur l'infiltration par les pratiques culturales



Exemples de Solutions préventives Agricoles - 2

Volet préventif sur l'infiltration par les pratiques culturales

Techniques de semis
céréales sous couvert



Techniques de semis
céréales sous couvert



Techniques de semis
colza sous couvert



Techniques de semis
céréales sous couvert



Enherbement inter-rang
vigne



Enherbement inter-rang
vigne

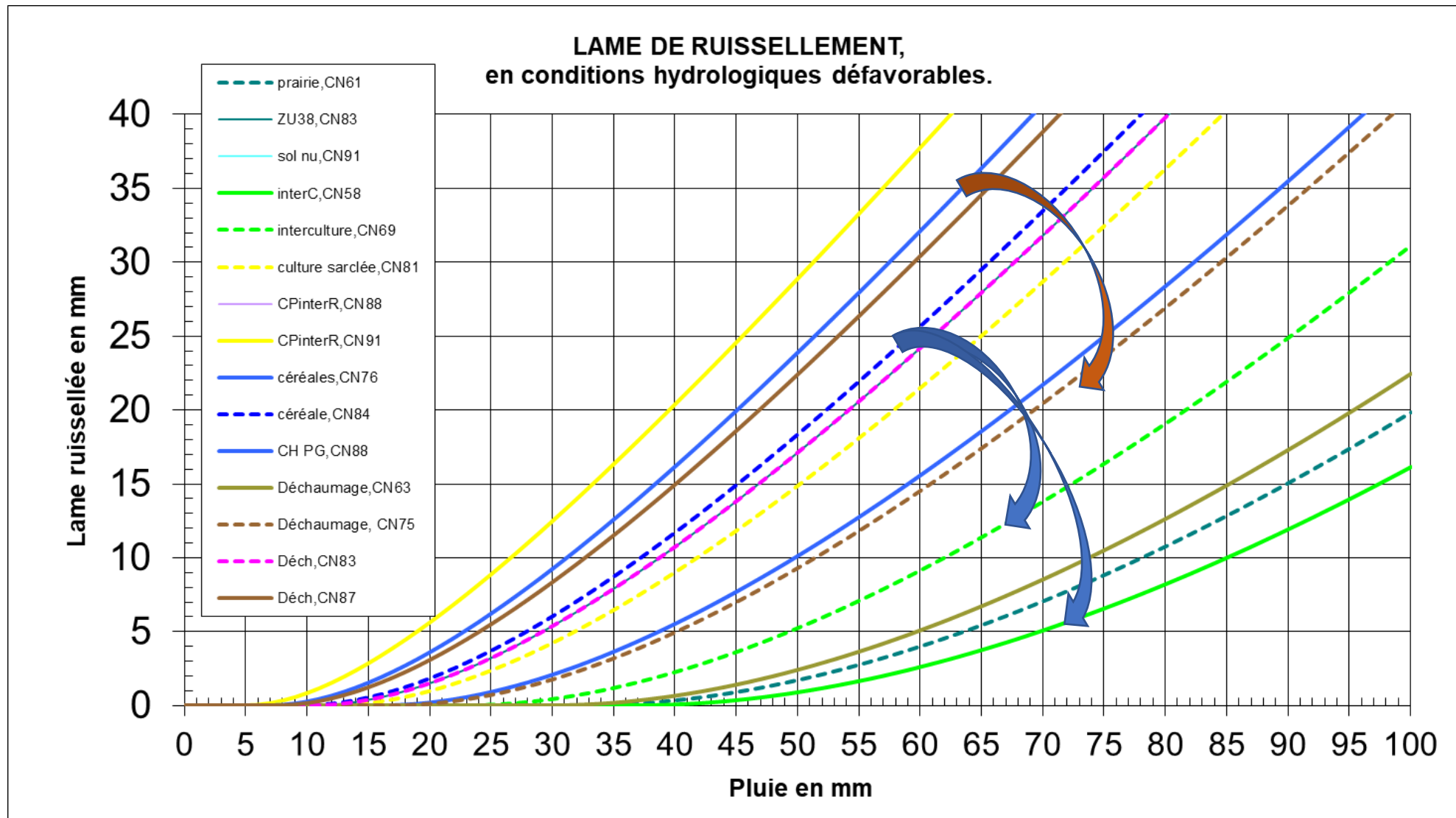


Enherbement inter-rang
vigne



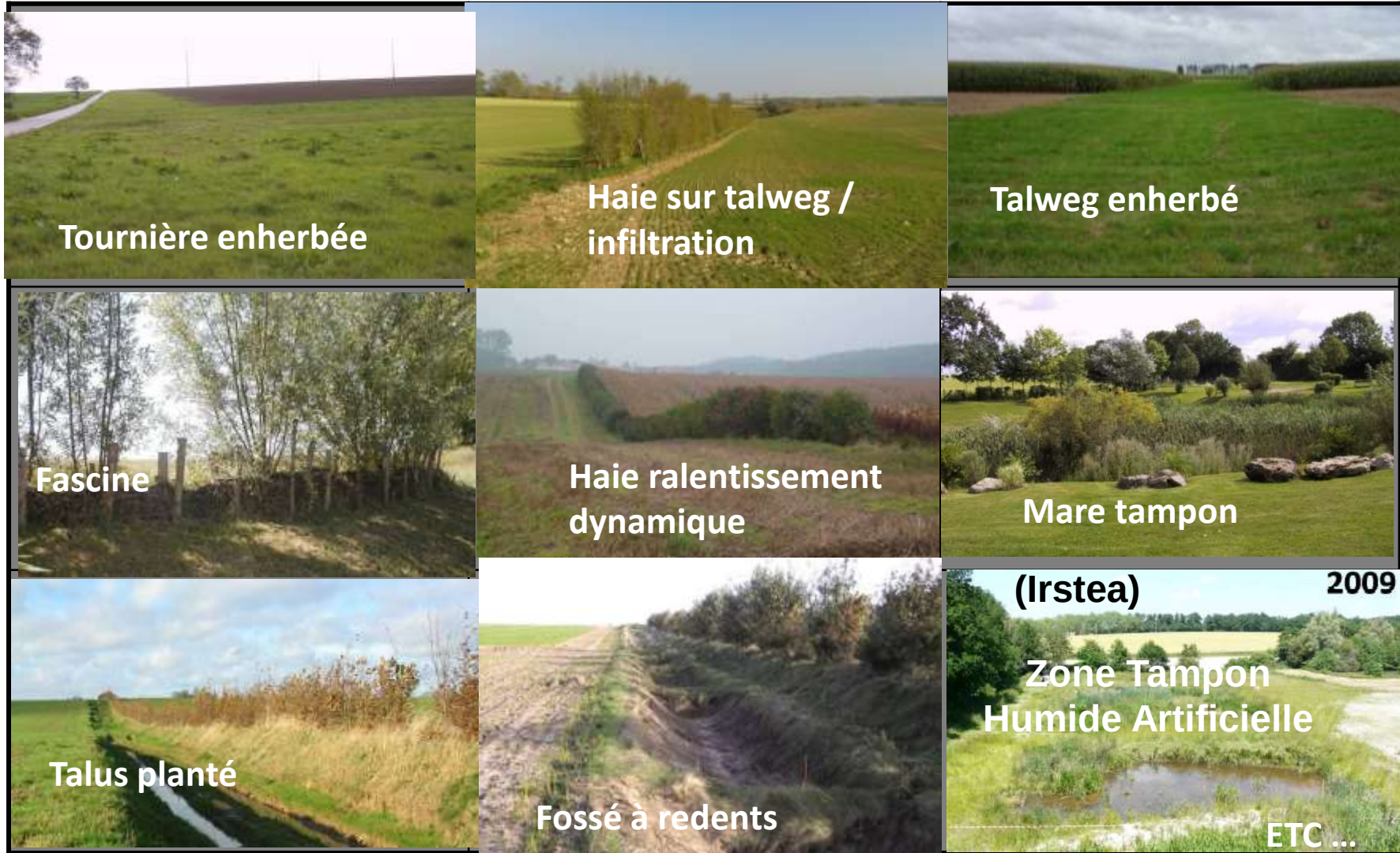
Objectif : infiltration de 1 à 5 mm de pluie en plus

Ex d'Efficacité des leviers agronomiques / ruissellement



Exemples de Solutions Zones tampons - 2

Volet préventif/curatif sur infiltration, érosion, sédimentation, ralentissement,



ZT 1: Remise en herbe de Tournière ou Fourrière avale



Fonction	Efficacité, limites, commentaires
● Infiltration 5 à 10 mm/h (même 150mm/h) ● Sédimentation : 70 à 99% des particules sont piégées (lorsque la bande enherbée mesure plus de 3 m de large) ● Erosion : éviter formation de rigoles sur tournière.	● Action sur les ruissellements diffus et débits limités (qq l/s/ml) ● Faibles dépôts en cas de concentration des ruissellements parallèles à la zone enherbée : existence d'un bourrelet; ● Ré-infiltration limitée si sol compacté ● À noter que les particules argileuses sont peu sédimentées. ● À dimensionner : Outil Buvard de Irstea



ZT 2: Les chenaux enherbés de talweg / Ravinement



Supportent des vitesses d'écoulement de 1 à 2 m/s.

Permet d'éviter 100% du ravinement.

Infiltration 5 à 10 mm/h (même 150mm/h)

À dimensionner

ZT 3: Fascines sur le chemin des écoulements



*Photo SMBV
Dun Veules*



*Photo SMBV
Dun Veules*



**ROLE : réduire les transferts de MES par sédimentation,
en ralentissant la vitesse de l'écoulement**



ZT 4: Haies "érosion" sur le chemin des écoulements



ZT 3 & 4 : Accroissement de la sédimentation

Fonction de sédimentation :

• Taux de sédimentation élevés

pour des débits spécifiques entre 1,9 l/s/m et 6,5 l/s/m

Granulométrie des apports	Situation et processus érosifs	Taux de sédimentation moyen par rapport à la quantité totale des apports	Taux de sédimentation moyen en relation avec la concentration maximale en sortie
Groupe G : correspondant aux MES dont plus de 50 % des particules transportées ont une taille supérieure à 125 µm	Erosion complète d'un volume de sol, sans tri lors de l'arrachement, ni lors du transport = flux d'un écoulement concentré au sein d'une rigole ou d'une ravine	93 à 99 %	89 à 98 %
Groupe F : correspondant aux MES dont moins de 35 % des particules transportées ont une taille supérieure à 125 µm	Erosion diffuse sous pluie peu intense	74 à 91 %	47 à 90 %

Fonction Infiltration :

- Capacités d'infiltration élevées des haies hors zone hydromorphe.

		Ordre de grandeur de l'infiltration	Surface nécessaire pour infiltrer 1 l/s
Fascines	Infiltration faible des fascines récentes ou avec peu d'activité biologique	35 mm/h (± 50 mm/h)	≈ 102 m ²
	Infiltration moyenne des fascines avec une meilleure activité biologique	360 mm/h (± 100 mm/h), soit des valeurs voisines de celles des haies.	≈ 10 m ²
Haies	Infiltration moyenne générale	400 mm/h (± 100 mm/h)	≈ 9 m ²

ZT mixte: Association d'Objectif érosion / sédimentation ET

- Infiltration : Haie + fascine $\perp$ talweg + bande boisée ou BLC, ou talus ou fossé discontinu...



- Biodiversité - trame verte :
- Érosion en ravine.



ZT 5 : Haies & Talus perpendiculaires au versant et fossé-talus de ceinturage :



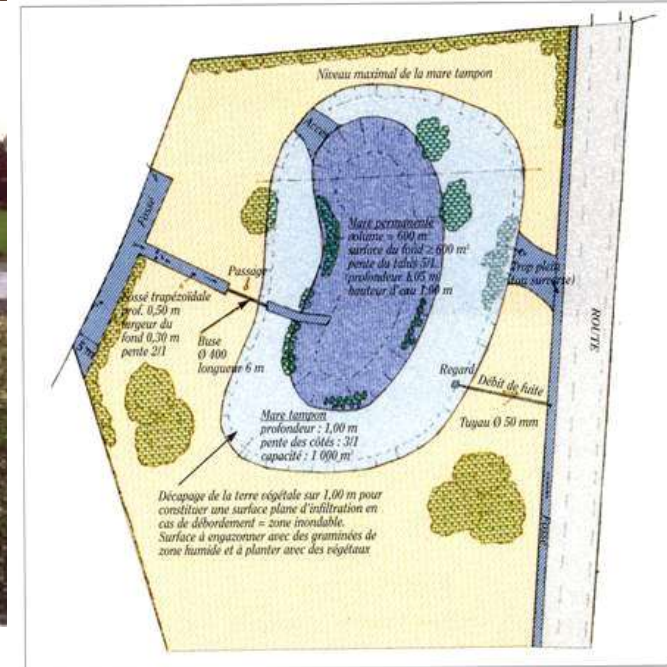
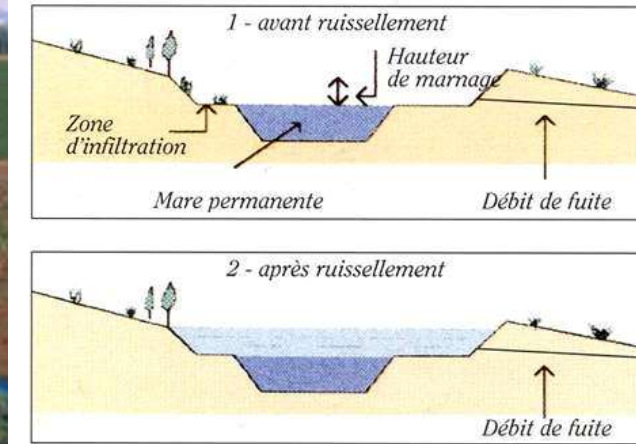
Objectifs : sédimentation, infiltration, ralentissement et déviation des écoulements

Fonction	Efficacité, limites, commentaires
● Ralentissement des écoulements ● Sédimentation ● Infiltration + atout pour la faune et paysage	● Dimensionnement nécessaire ● Peut être en légère oblique (1% de pente longitudinale) pour dévier les écoulements ● S'il stocke l'eau, prévoir une buse d'évacuation et une zone de débordement pour ne pas dépasser 50 cm de stockage

ZT 6 : Mare tampon et zone humide artificielle



Objectifs : agir sur le volume de la crue $\pm$ laminier les débits.



ZT 7 : En cas d'érosion sur un talweg dans un bois que faire ?



Fonction	Efficacité, limites, commentaires
● Prévention de l'érosion en forte pente et sous bois	● Zones pentues où on ne peut implanter de l'herbe ● Dimensionnement nécessaire ● Protection aval importante

ZT 8 : Zone Tampon Humide Artificielle :

Rôle principal: Réduction de la charge en pesticides

Rôle secondaire: Sédimentation



Cemagref

Lagune expérimentale de Bray (37 Villedomain)

Création d'ouvrage avec 1m d'eau pour dégrader les produits phyto-pharmaceutiques.

le facteur primordial est le temps de séjour des produits avec le milieu humide.

PRINCIPAUX AMENAGEMENTS D'HYDRAULIQUE DOUCE



Type d'Aménagement			Efficacité / évènement d'occurrence F10					
(Ordre de grandeur valable en Haute-Normandie sur sol limoneux profond)			Plage temporelle	Erosion de versant	Erosion linéaire par R concentré	Sédimentation (MES; P ₂ O ₅)	Infiltration (Phyto)	Laminage
Hydraulique rapprochée : réduction de l'érosion, ralentissement des écoulements, augmentation de l'infiltration et de la sédimentation	Mesures herbe surfacique	Bout de champs enherbé	CT et LT		5	5	4	
		Talweg enherbé			5	4	3	2
		Cunette enherbée, noue			5		2	
	Mesures Linéaires	Fascine ⊥ talweg	CT		3	4	1	1
			CT et LT		3	4	2	1
		Haie vive ⊥ écoulement	LT		3	4	2	1
			CT et LT	5	5	5	5	3
			LT	1		1	2	1
		Haie vive // écoulement	LT				1	
	Mesures infiltration surfacique : herbe ou bois	Prairie de versant	CT et LT	5			5	
		Prairie d'infiltration et de sédimentation			5	4	5	2
		Boisement d'infiltration		5		2	5	1
	Mesures de ceinturage et de stockage	Gabion	CT et LT		5	1		
		Fossé simple			5	1	1	
		Fossé à redents			5	4	3	
		Fossé de ceinturage			5	1	1	
		Talus simple			3	3	1	1
		Talus busé			3	4	2	2
		Fossé-talus type cauchois			5	3	2	2
		Diguette - Pli cultivable			2	4	1	2
		Mare tampon			2	4		2

Echelle d'appréciation

1 : 0 - 20% d'efficacité

2 : 20 - 40% d'efficacité

3 : 40 - 60% d'efficacité

4 : 60 - 80% d'efficacité

5 : 80 - 100% d'efficacité

CT = Court Terme : 1 à 5 ans.

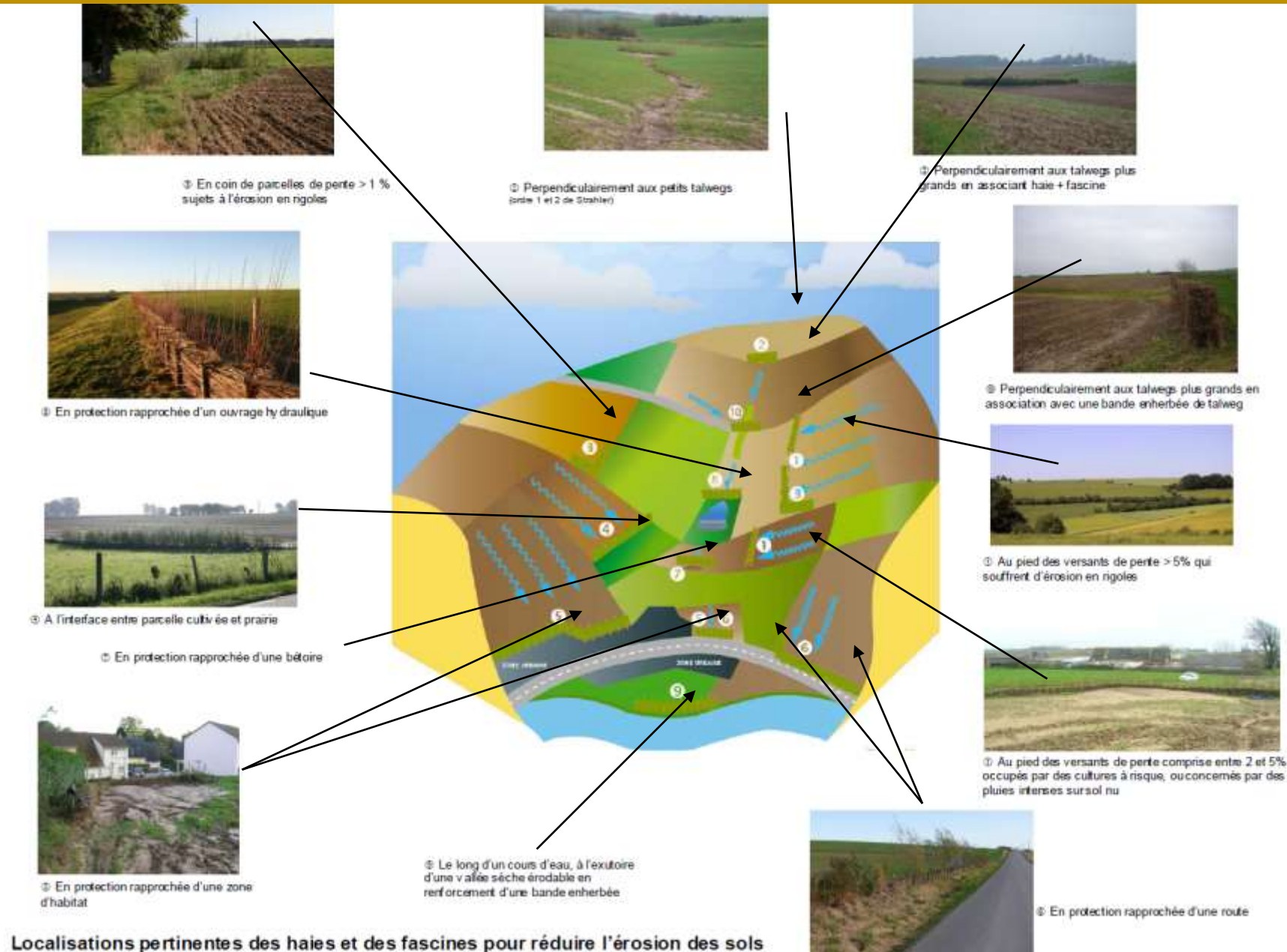
CT et LT = Court et Long Terme : 1 à + de 10 ans.

LT = Long Terme : à partir de 10 ans.

(1) Haie hyper-dense = haie avec + de 40 tiges /ml qui sortent du sol.

source: AREAS 2011 JF OUVRY

Schéma des localisations pertinentes des Zones Tampons : une distribution spatiale adaptée /optimiser l'efficacité.



En Normandie, l'emprise foncière nécessaire au zone tampon pour garantir une efficacité acceptable varie de 1 à 5 % du territoire.

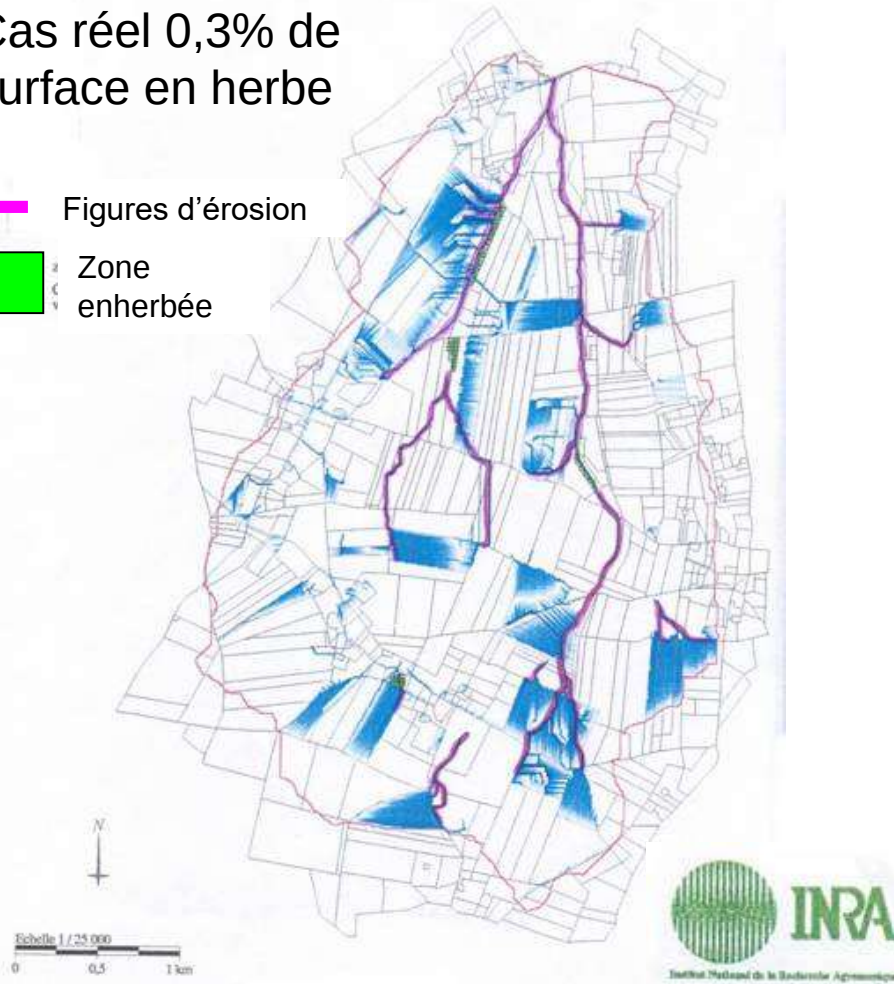
Densité visée : 5 ZT / km².

Exemple de réduction du volume ruisselé avec des surfaces enherbées

Talwegs et tournières enherbés : Impact simulé de la réduction des écoulements (Hyp : capacité d'infiltration de l'herbe = 50 mm/h)

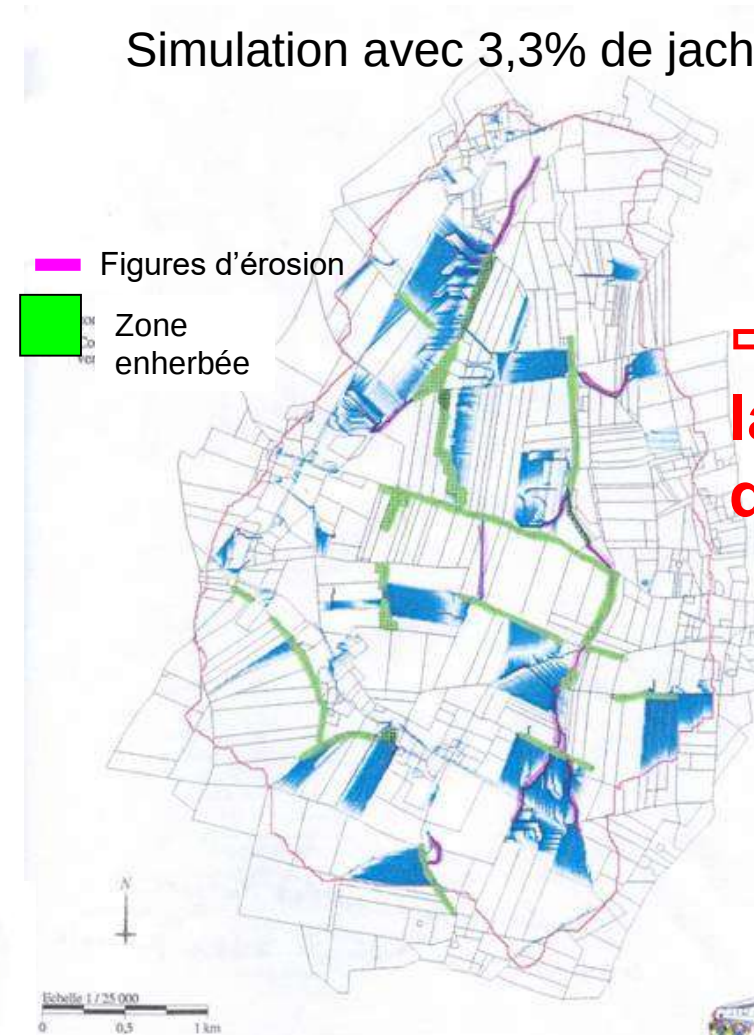
Cas réel 0,3% de
surface en herbe

- Figures d'érosion
- Zone enherbée



Simulation avec 3,3% de jachère pertinente

- Figures d'érosion
- Zone enherbée



⇒ diminution de
la lame d'eau
de l'ordre de 1mm

EXEMPLE

TROPHEES DE L'HYDRAULIQUE DOUCE 2012

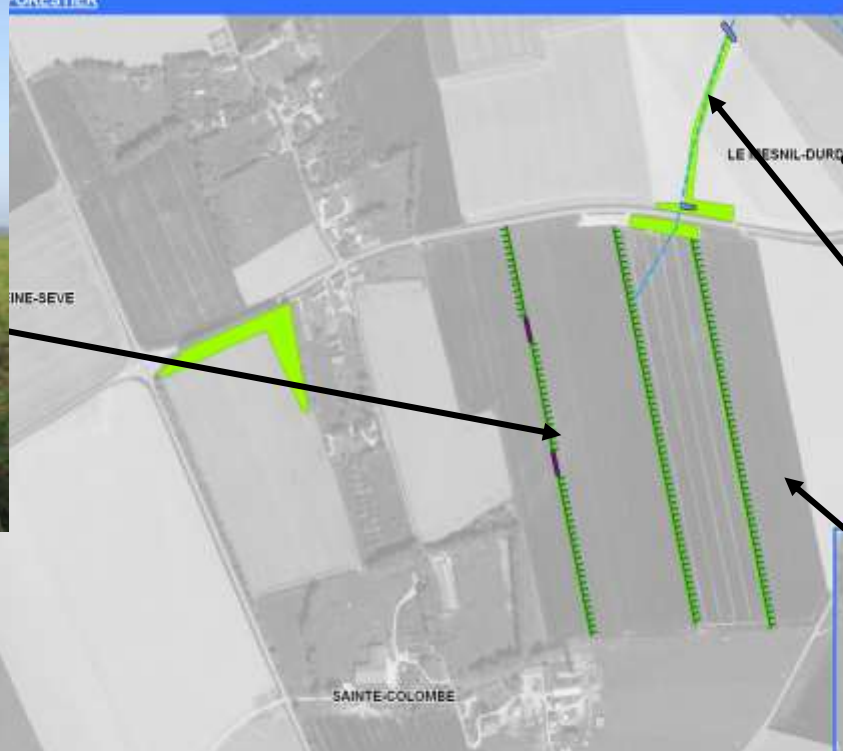
AREAS



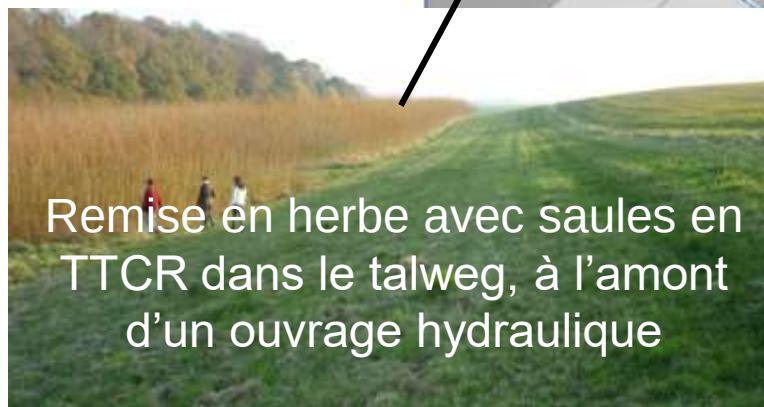
Benoist et Elisabeth L.
(Sainte Colombe)



Deux fascines et haie sur une bande enherbée, perpendiculaire au talweg



Talweg enherbé, avec talus busé à l'aval



Remise en herbe avec saules en TTCR dans le talweg, à l'amont d'un ouvrage hydraulique



Fourrière aval enherbée et remise en herbe à l'amont d'un ouvrage hydraulique



ITK en sans labour et Semis direct

EXEMPLE Zones tampons : Exemple sur un BV

Projet Terre-Eau-Faune de Longueil – Quiberville.

SMBV Saône Vienne Scie -



➔ Fascine

Constituée d'un assemblage de fagots de saule entre des pieux, cette fascine de 45m de longueur permet d'empêcher une ravine de se former en aval. Elle est associée à une bande enherbée. À terme, la fascine deviendra une haie.

➔ Haie

D'une longueur de 72m, implantée sur 2 rangs d'une vingtaine d'essences locales, son paillassage naturel et sa densité en garantissent l'efficacité.

➔ Bande enherbée

D'une surface de 0,7 ha, elle permet de sécuriser la zone où se formait une ravine et d'étaler les ruissellements sur une plus grande largeur.

➔ Quiberville village

➔ Fossé-talus

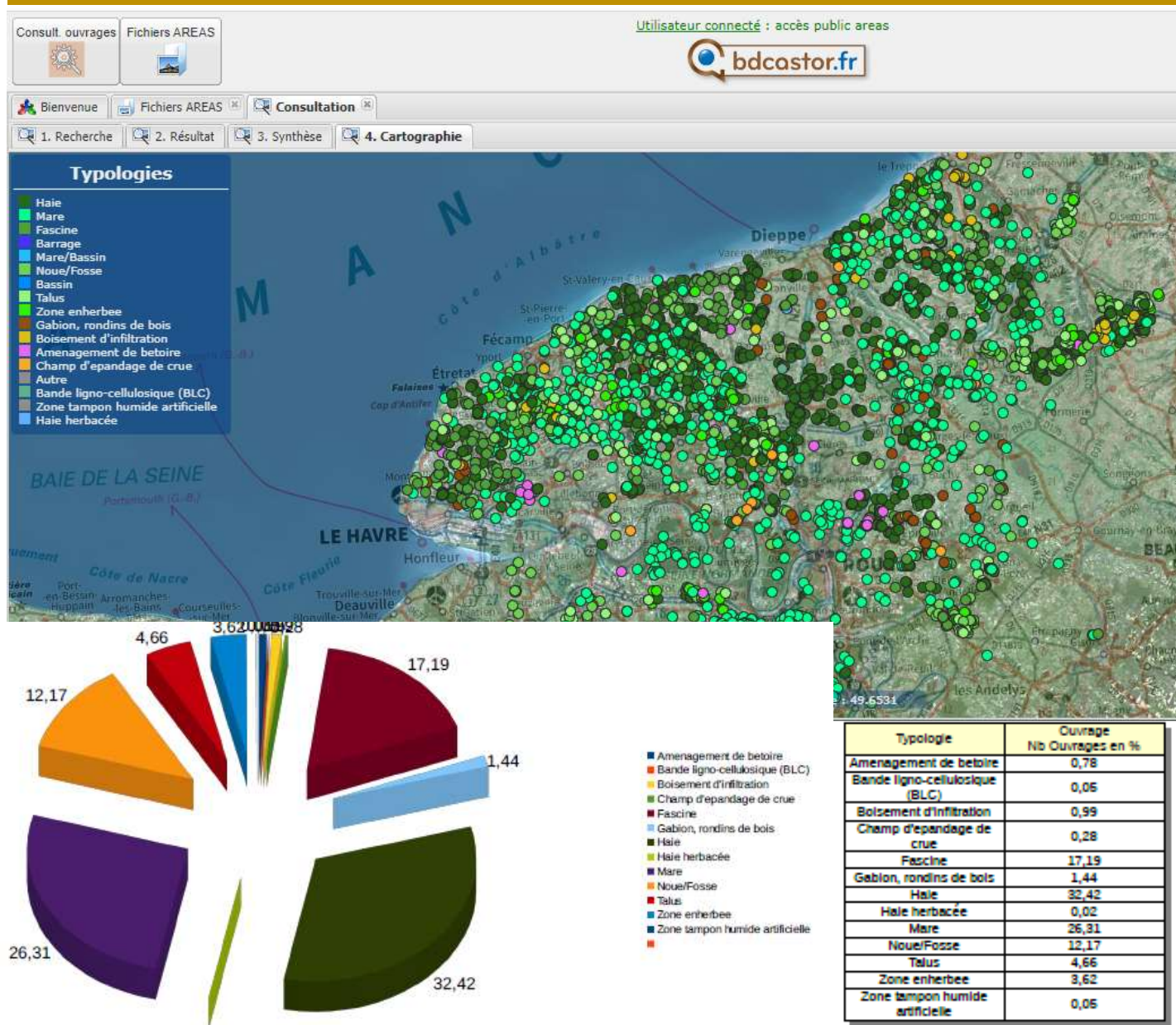
Sa restauration permet de canaliser environ 350 m² d'eau ruisselée. Il est connecté à un fossé à redents permettant de canaliser les eaux sans les accélérer (les redents jouent le rôle de ralentisseur).



Programme développé conjointement par le SMBV,
la Fédération des chasseurs et les Agriculteurs.



Bilan : Réalisations d'aménagements en 15 ans



Base de données de tous les aménagements réalisés ces dernières années : BD Castor :

- Aménagement de Zones Tampons ou hydraulique douce :

4 223 Zones Tampons en Seine Maritime.



Merci de votre attention

**Association de recherche sur le Ruissellement,
l'Erosion et l'Aménagement du Sol**

2, Avenue Foch

76 460 Saint Valery en Caux

<http://www.areas-asso.fr/>

jf.ouvry@areas.asso.fr

Tel : +33 (0)2 35 97 25 12