



HAL
open science

Erosion des sols et connectivité sédimentaire à l'anthropocène

Olivier Cerdan

► **To cite this version:**

Olivier Cerdan. Erosion des sols et connectivité sédimentaire à l'anthropocène. Journée Thématique 4: Risques, Résilience et Société, Academie 3: Espace, Environnement, Risques et Résilience, Dec 2021, Nice, France. hal-04111676

HAL Id: hal-04111676

<https://hal.science/hal-04111676>

Submitted on 1 Jun 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



**EROSION DES
SOLS ET
CONNECTIVITÉ
SÉDIMENTAIRE À
L'ANTHROPOCÈNE**

- **UN ENJEU MAJEUR POUR LA DURABILITÉ DE NOS SOCIÉTÉS**
- **D'UNE ÉROSION GÉOLOGIQUE À UNE ÉROSION ANTHROPIQUE**
- **COMPLEXITÉ DES PROCESSUS ET TRANSFERT D'ÉCHELLE**

UN ENJEU MAJEUR POUR LA DURABILITÉ DE NOS SOCIÉTÉS

- Irréversibilité des processus



COLLAPSE

HOW SOCIETIES CHOOSE
TO FAIL OR SUCCEED

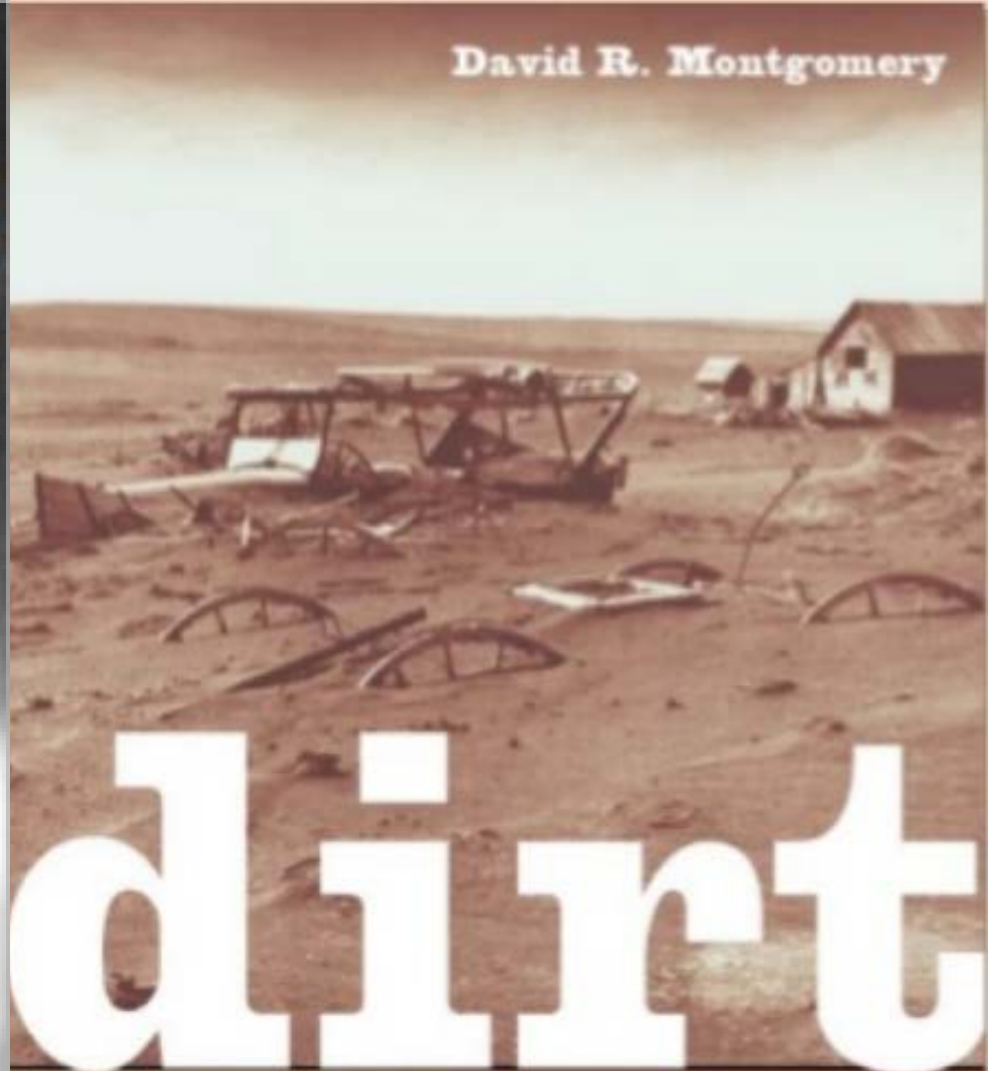
JARED DIAMOND

Author of *GUNS, GERMS, and STEEL*

Winner of the PULITZER PRIZE



David R. Montgomery



The Erosion of Civilizations

Erosion des sols rapidement dévastatrice dans les systèmes isolées

- Iles de Méditerranée
- Ile de paques
- ...





UN ENJEU MAJEUR POUR LA DURABILITÉ DE NOS SOCIÉTÉS

- L'érosion des sols est pointé comme une des principales menaces qui pèsent sur nos sociétés



UN ENJEU MAJEUR POUR LA DURABILITÉ DE NOS SOCIÉTÉS

- **L'érosion des sols est pourtant pointé comme une des principales menaces qui pèsent sur nos sociétés**

✓ À l'échelle globale, 5 enjeux selon la FAO :

1. *Soil erosion inhibits our ability to grow nutritious food.*
2. *Soil erosion leads to ecosystem degradation.*
3. *Soil erosion affects water supplies.*
4. *Soil erosion damages urban infrastructure.*
5. *Soil erosion contributes to poverty and can lead to migration*

"Soil erosion must be stopped 'to save our future', says UN agriculture agency"

Why bother with soil erosion?





Lebna Catchment (North Tunisia)





Dernière récolte ?



On dirait bien ...

**ET DANS
LES PAYS AU
DÉVELOPPEMENT
RÉCENT ?**











**OK, MAIS TOUT ÇA C'EST LOIN, ET
CHEZ NOUS ALORS ?**

UN ENJEU MAJEUR POUR LA DURABILITÉ DE NOS SOCIÉTÉS

- L'érosion des sols est pourtant pointé comme une des principales menaces qui pèsent sur nos sociétés

✓ À l'échelle globale, 5 enjeux selon la FAO :

1. *Soil erosion inhibits our ability to grow nutritious food.*
2. *Soil erosion leads to ecosystem degradation.*
3. *Soil erosion affects water supplies.*
4. *Soil erosion damages urban infrastructure.*
5. *Soil erosion contributes to poverty and can lead to migration*

✓ **A l'échelle européenne**

"The Thematic Strategy for Soil Protection identifies erosion as a key soil threats in the EU. (COM (2006) 231)" → les mêmes enjeux s'appliquent

"Soil erosion must be stopped 'to save our future', says UN agriculture agency"

**LA SÉCURITÉ
ALIMENTAIRE
N'EST PAS À
L'ORDRE DU
JOUR DANS
LES RÉGIONS
TEMPÉRÉES ...**



SONT CONSIDÉRÉS LES IMPACTS « HORS-SITE »

Flux de matière des
surfaces continentales
vers les océans

Barrages

Morphologie

Turbidité



Transfert de polluants



Cycles biogéochimiques



Transfert de nutriments



UN ENJEU MAJEUR POUR LA DURABILITÉ DE NOS SOCIÉTÉS

- **Services écosystémiques rendus par les sols (C, Pool génétique, filtration ...)**
- **Sécurité alimentaire**
 - Désertification
 - Abandonnement des terres
 - Baisse des rendements
- **Dégradation des milieux récepteurs**
 - Envaselement des cours d'eau
 - Reprise et transfert de contaminants
 - Biodiversité des milieux récepteurs
- **Inondation et coulées boueuses**
 - Envaselement des routes
 - Dommages aux habitations et infrastructures
 - Envaselement des captages AEP



- **UN ENJEU MAJEUR POUR LA DURABILITÉ DE NOS SOCIÉTÉS**
- **D'UNE ÉROSION GÉOLOGIQUE À UNE ÉROSION ANTHROPIQUE**
- **COMPLEXITÉ DES PROCESSUS ET TRANSFERT D'ÉCHELLE**

D'UNE ÉROSION GÉOLOGIQUE À UNE ÉROSION ANTHROPIQUE

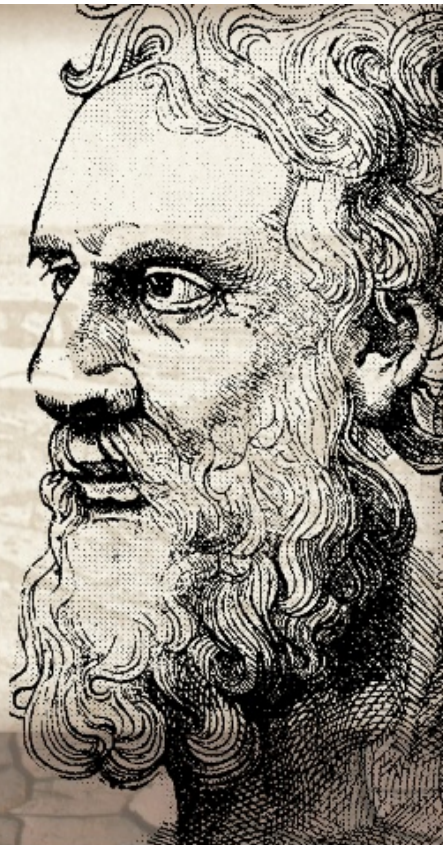
- humans “have become arguably the premier geomorphic agent sculpting the landscape,” Hooke's (2000)



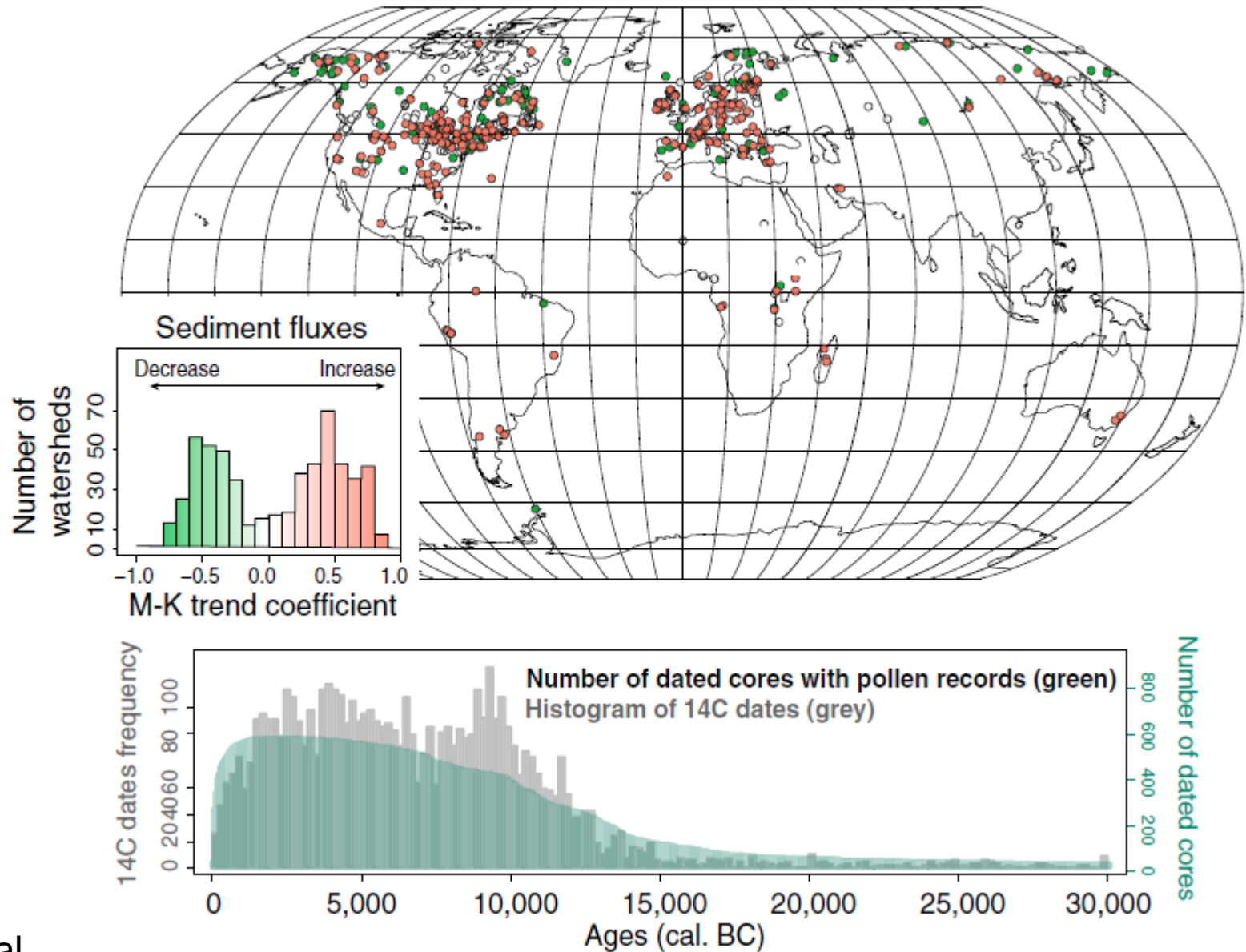
Plato

427-347 B.C.

The rich, soft soil has all run away leaving the land nothing but skin and bone. But in those days the damage had not taken place, the hills had high crests, the rocky plain of Phelleus was covered with rich soil, and the mountains were covered by thick woods, of which there are some traces today.

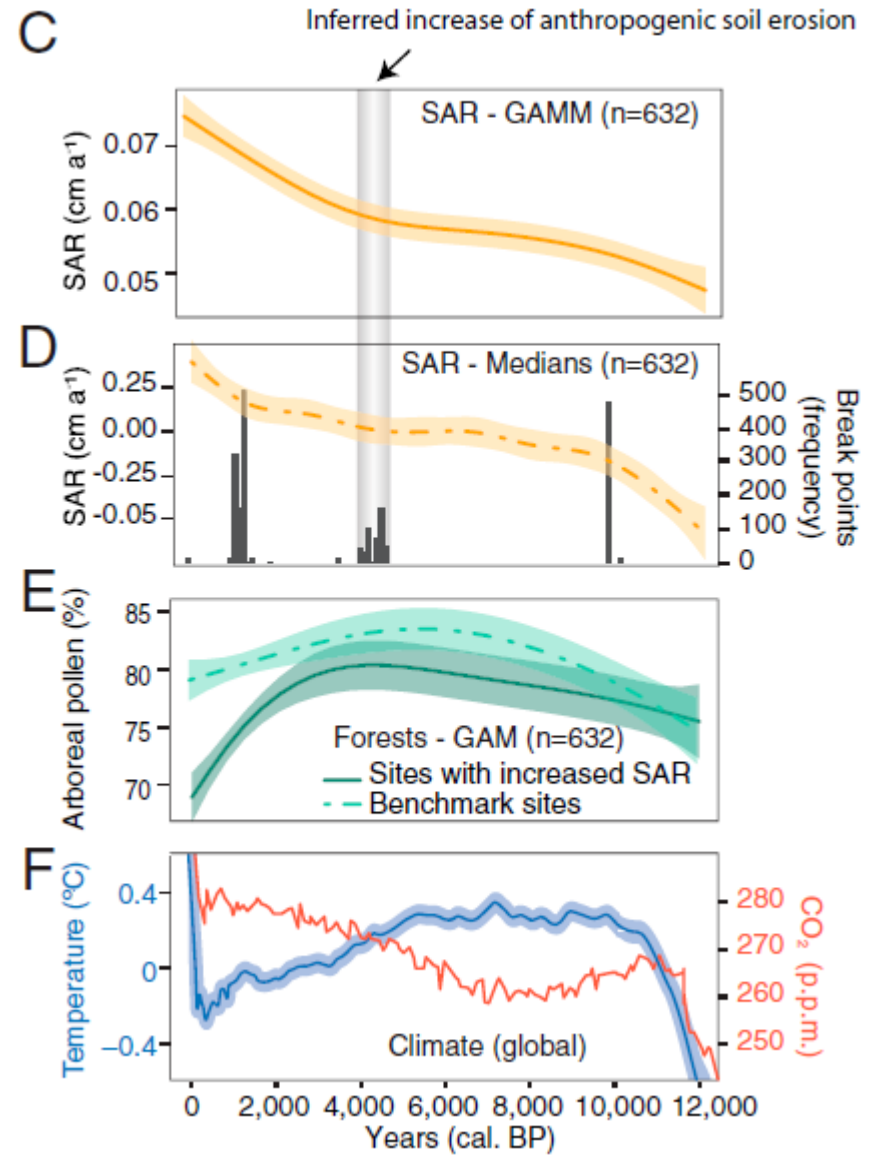


LE FACTEUR HUMAIN



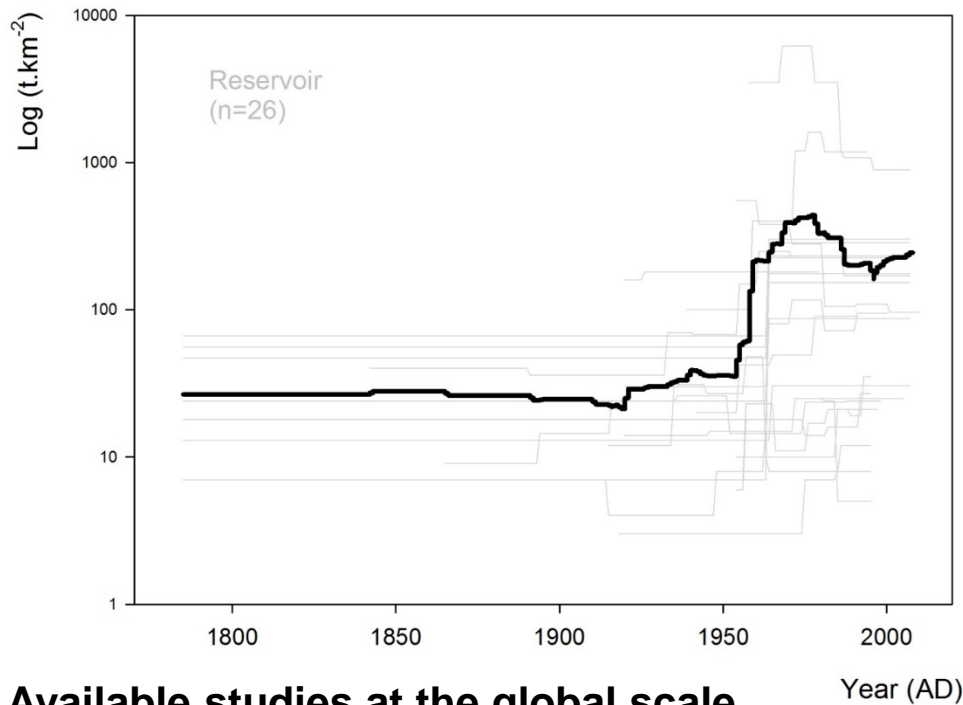
LE FACTEUR HUMAIN -DÉFORESTATION

**1^{ER} IMPACT
ANTHROPIQUE
GLOBAL AUTOUR DE
-4000 BP...**

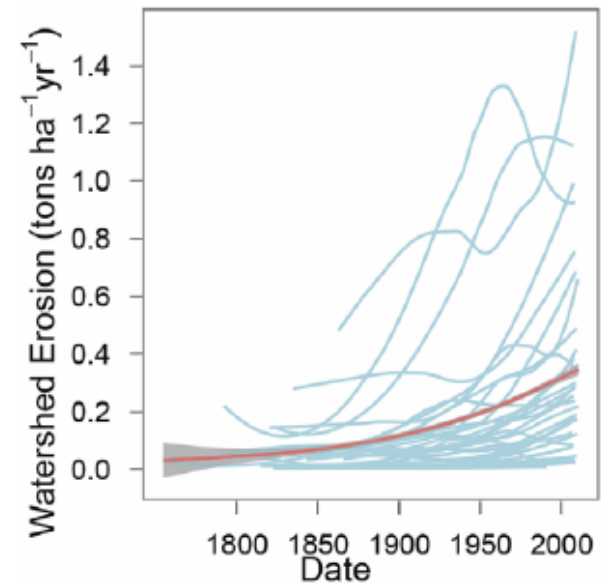


LE FACTEUR HUMAIN

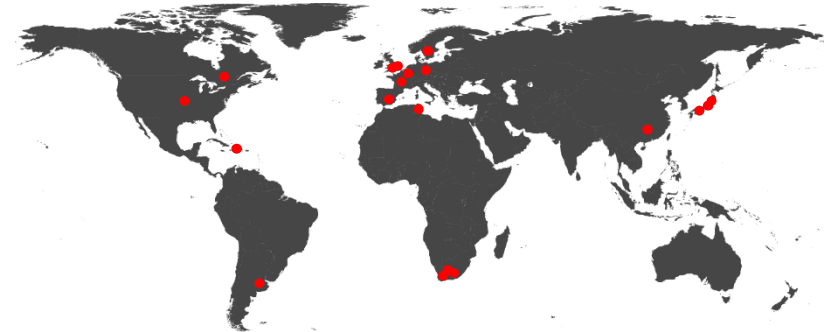
2^{ÈME} PHASE « LA GRANDE ACCÉLÉRATION » POST 2^{ÈME} GUERRE MONDIALE



Available studies at the global scale
26 studies Foucher et al., In prep



Heathcote et al., 2013 – PlosOne
32 lakes in the US Middle-west

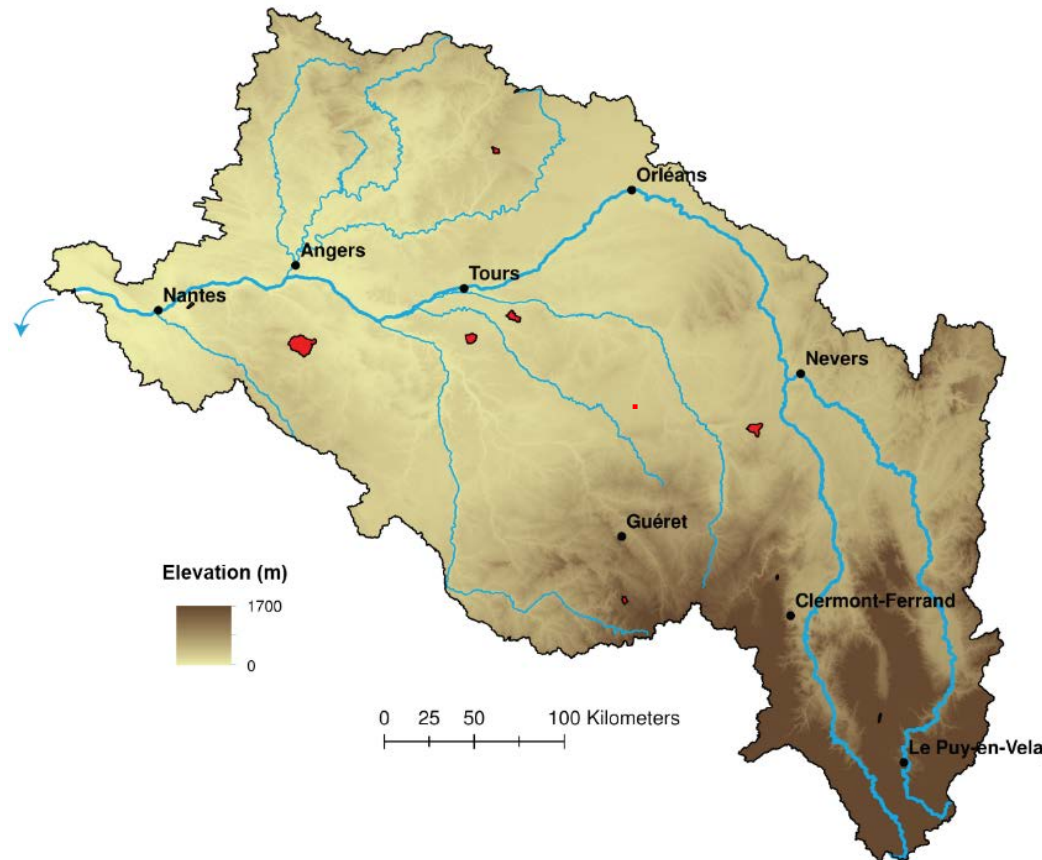


UNE PÉRIODE D'ÉVOLUTIONS RAPIDES – EXEMPLE DE CHANGEMENT DEPUIS 1900

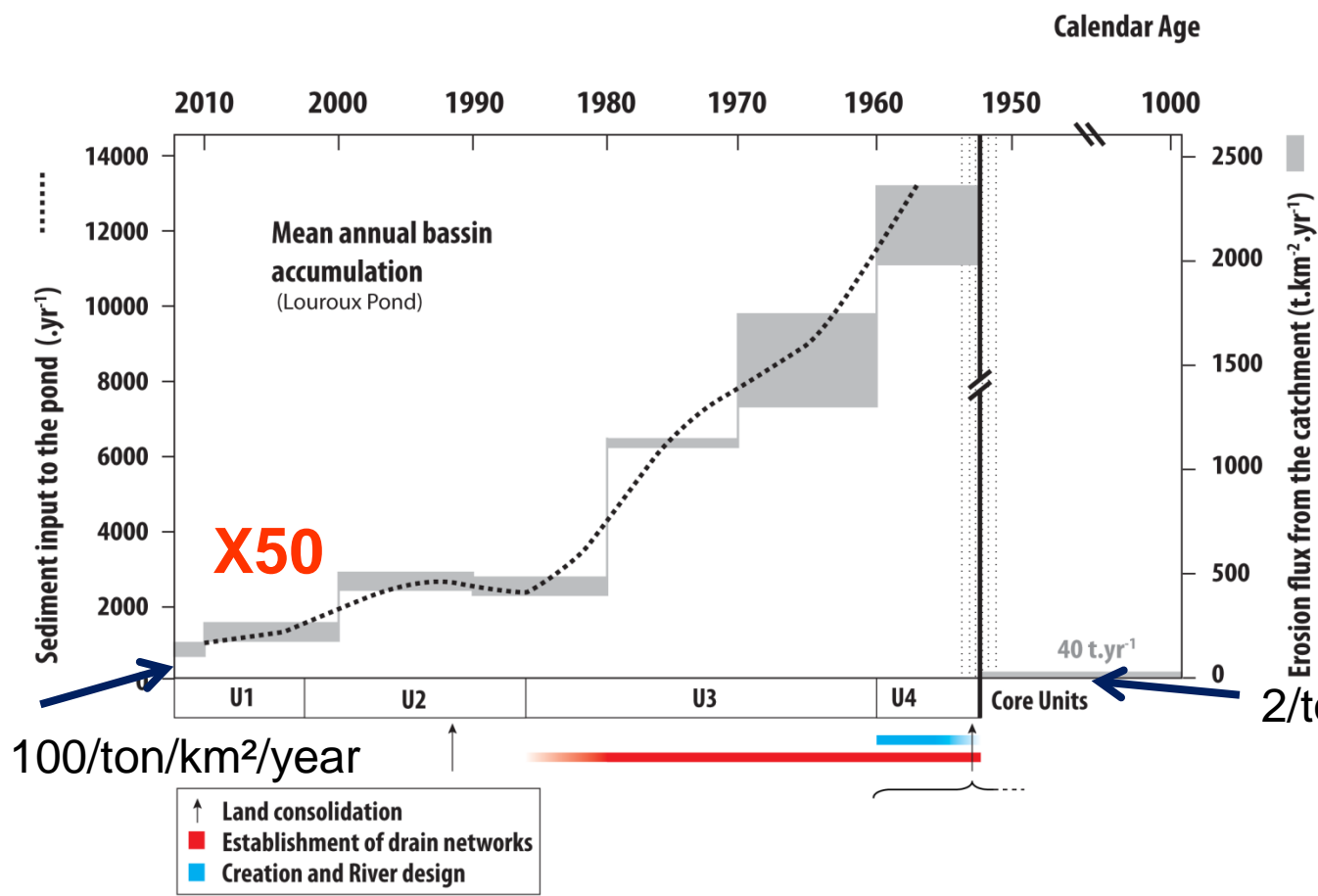
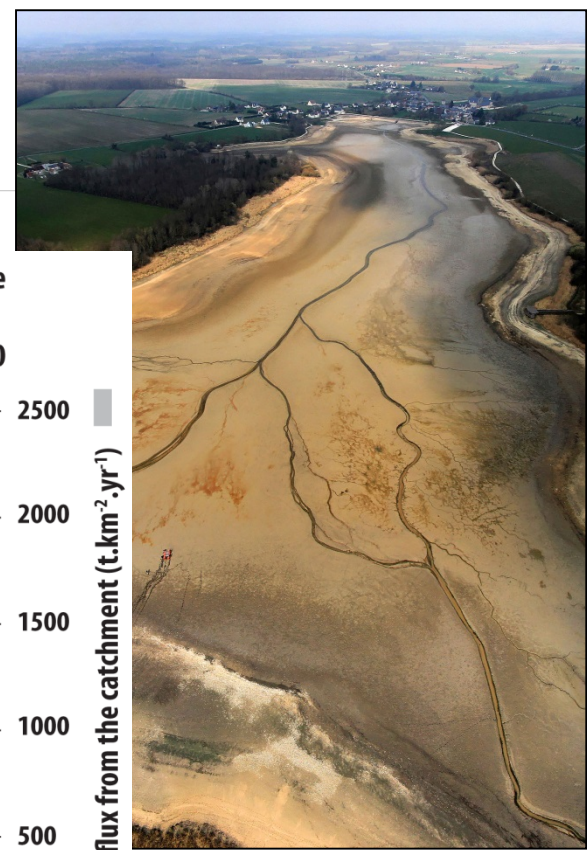
- **La population mondiale a été multipliée par 6**
- **La proportion de terre arable à presque doublé (+intensification)**
- **Les surfaces en forêt tropicales ont diminué de 25%**
- **Les barrages captent 40% des écoulements continentaux**
- **Développement de programme de conservation des sols**
- **Changement climatique**



Résultats sur des bassins versants de la Loire



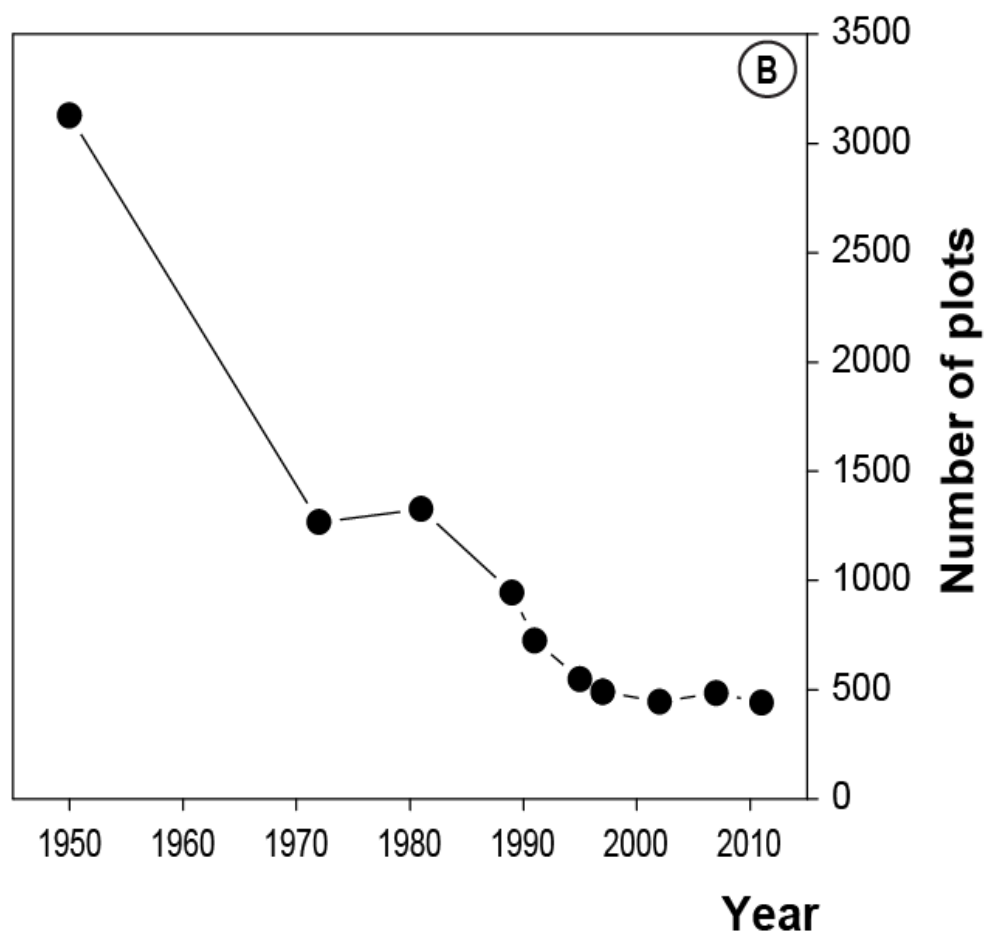
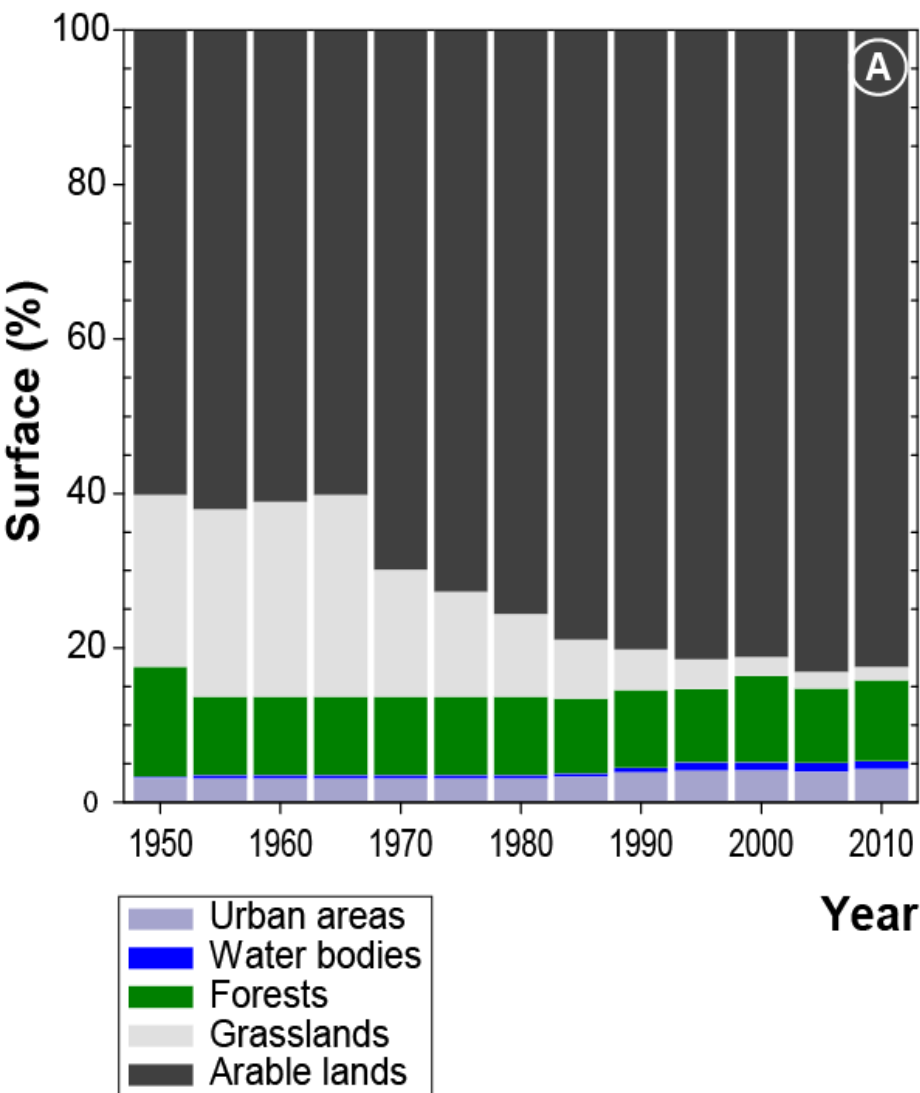
LE LOUROUX - 70 ANS DE PRESSION ANTHROPIQUE



Foucher et al., anthropocene

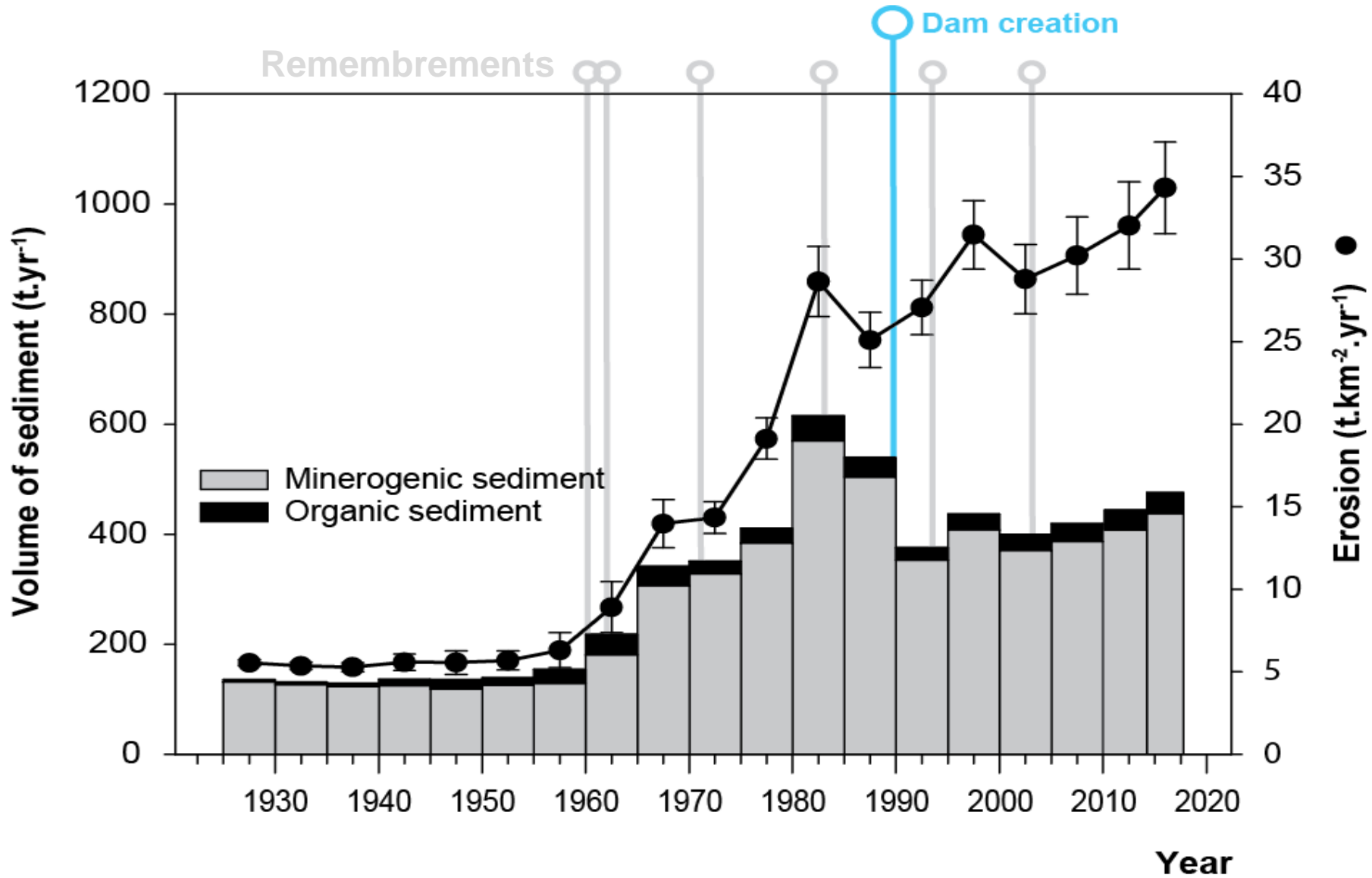
-> Entre 1500 et 3000 tons.a⁻¹ pendant les 10 dernières années

LE BASIN VERSANT DE BROUSSE



Chabert

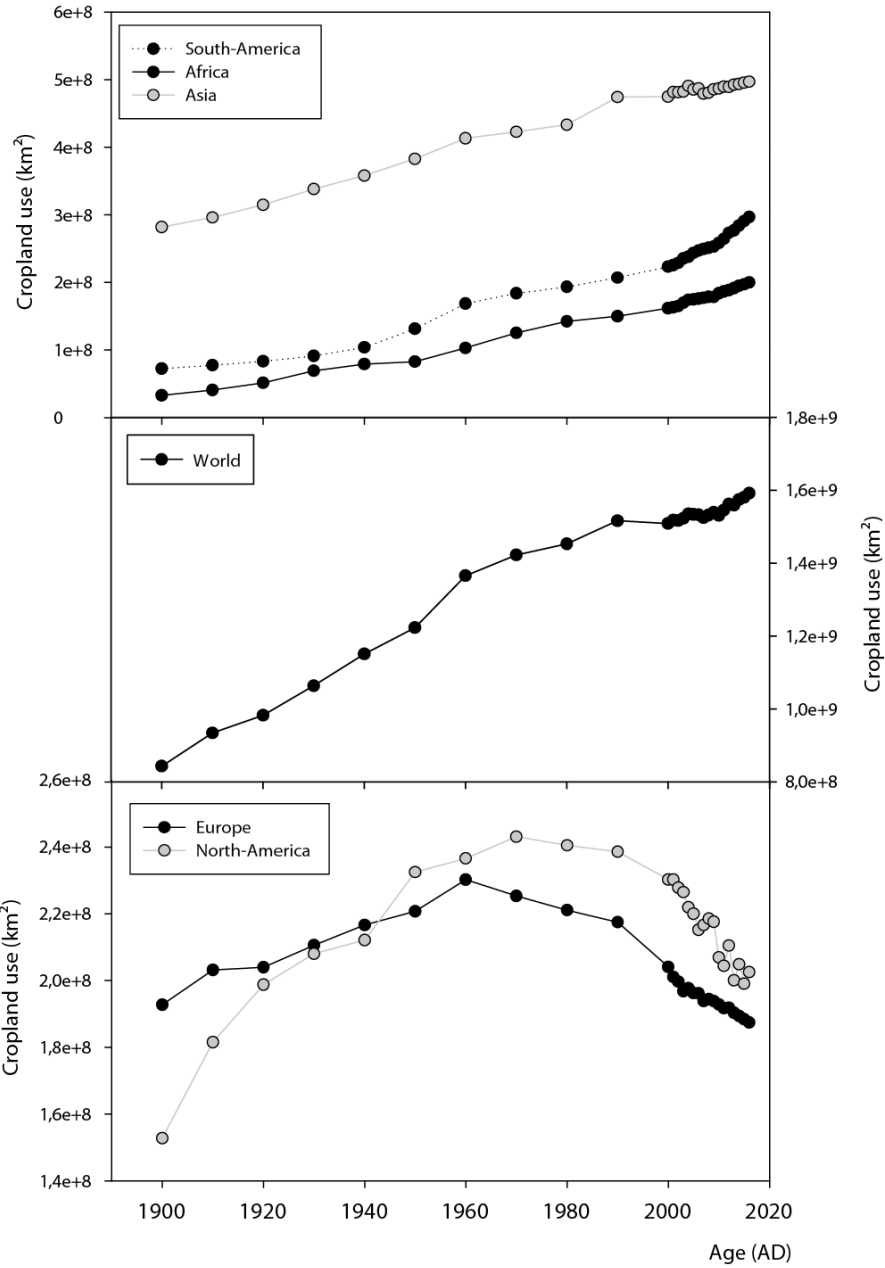
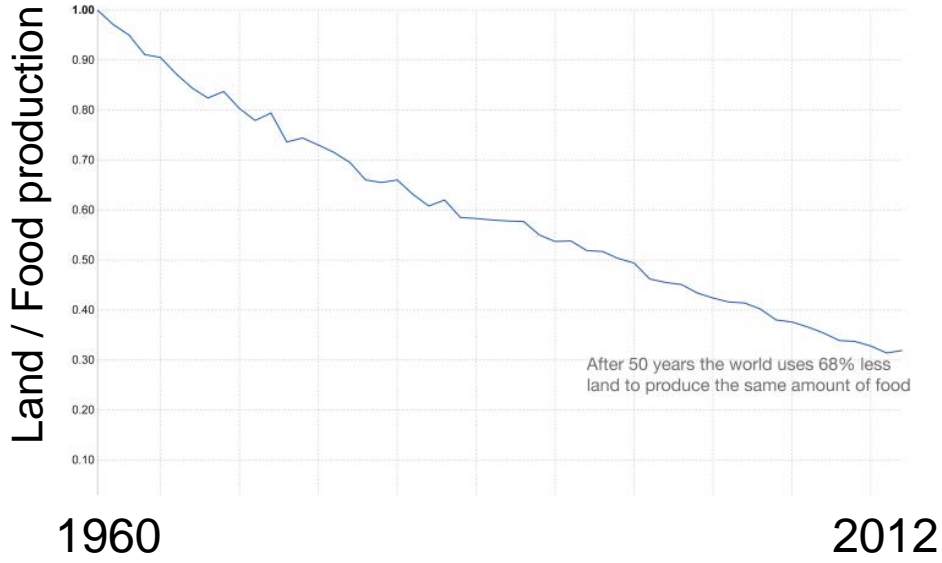
LE BASIN VERSANT DE BROSSE



LE FACTEUR HUMAIN DISPARITION DE NOTRE CIVILISATION ?

Increase of cropland ?

68% Less land in 50 yrs to produce the same amount of food



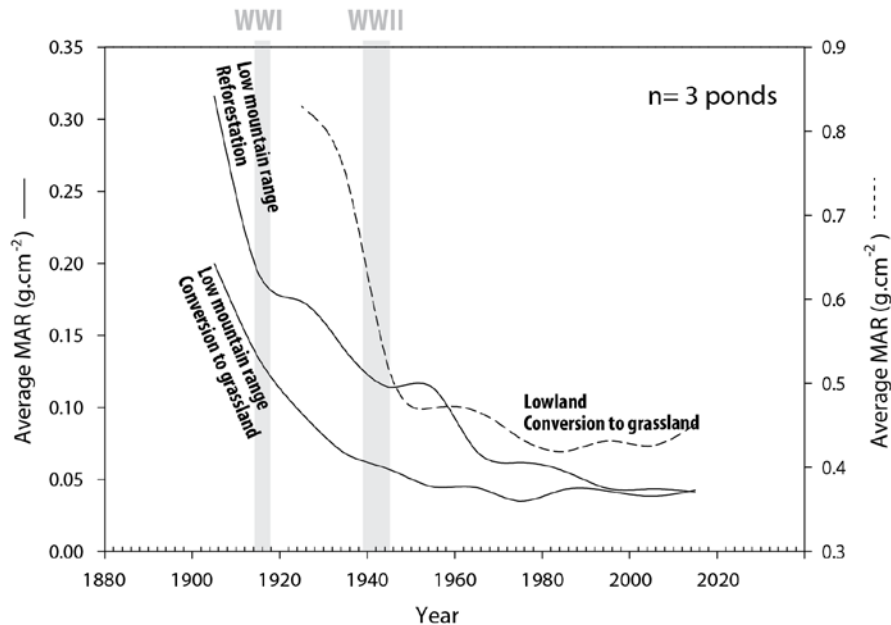
After HYDE database

LE FACTEUR HUMAIN – DES TRAJECTOIRES DIVERSIFIÉES

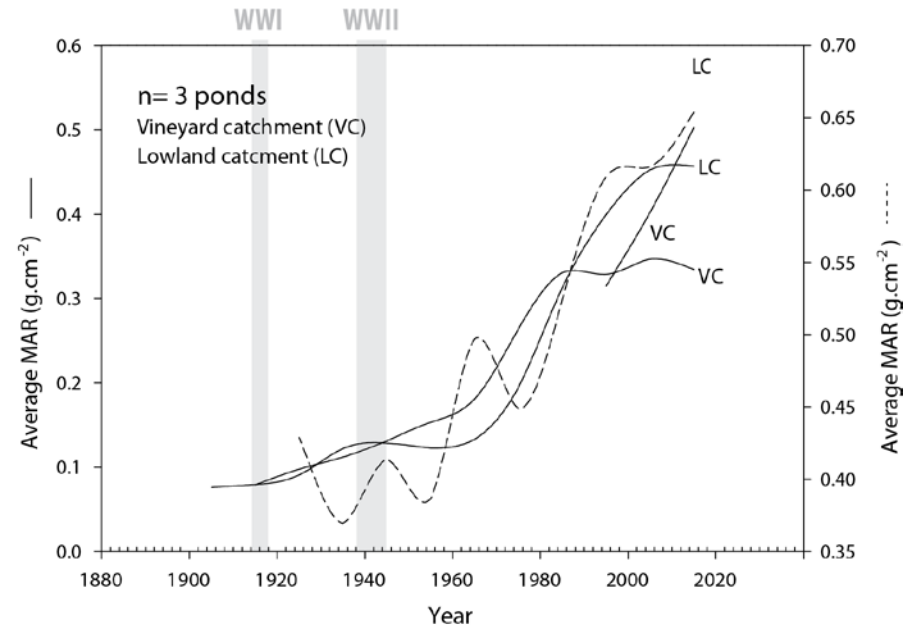
Foucher et al.,

Two mains trajectories at the Loire catchment scale for 6 catchments

Abandoned land trajectories



Productivist agriculture trajectories



IMPLICATION : L'ÉROSION N'EST PAS UNE FATALITÉ

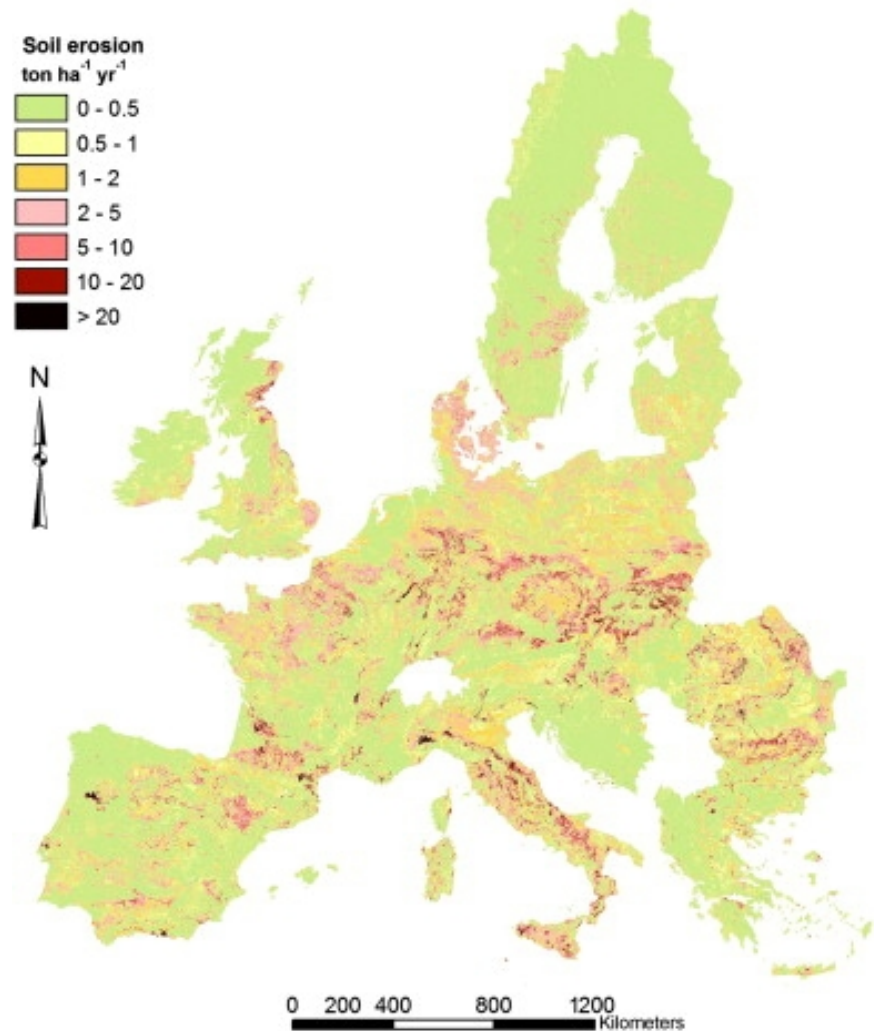
ET DONC ON PEUT AGIR ...

MÉTHODOLOGIE POUR L'AMÉNAGEMENT DES TERRITOIRES

Cartographie régionale de l'aléa

- Modèles empiriques
- MESALES (évolution)

- ✓ Étendu et intensité de l'aléa
- ✓ Hiérarchisation des zones à traiter



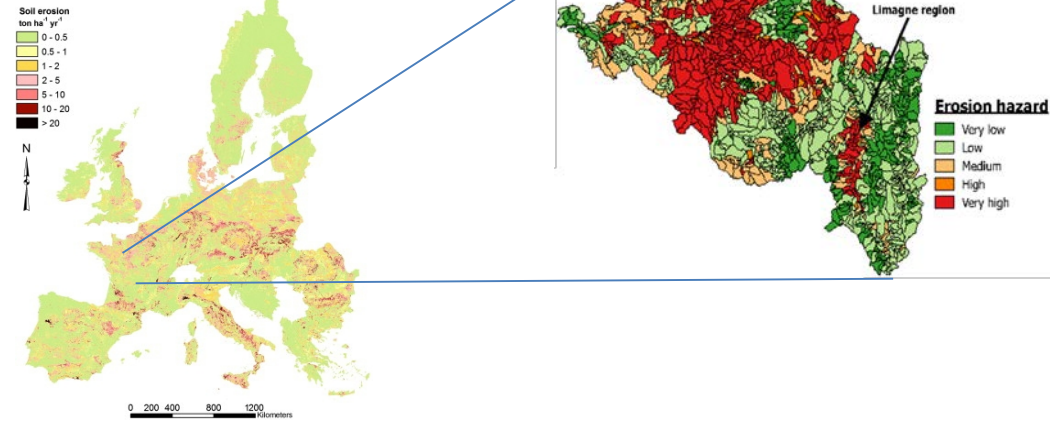
Cerdan et al., 2010

ET DONC ON Y PEUT QUELQUE CHOSE

Cartographie régionale de l'aléa

- Modèles empiriques
- MESALES (évolution)

- ✓ Étendu et intensité de l'aléa
- ✓ Hiérarchisation des zones à traiter



ET DONC ON Y PEUT QUELQUE CHOSE

Chabert et al., 2020

Cartographie régionale de l'aléa

- Modèles empiriques
- MESALES (évolution)

- ✓ Étendu et intensité de l'aléa
- ✓ Hiérarchisation des zones à traiter

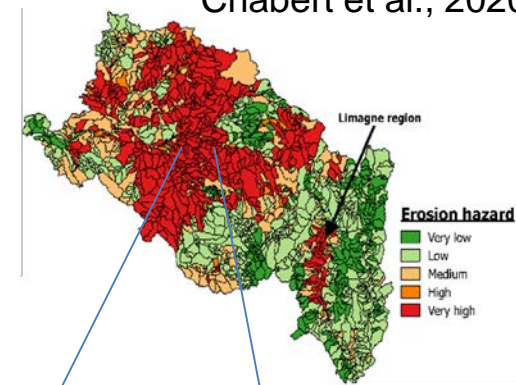
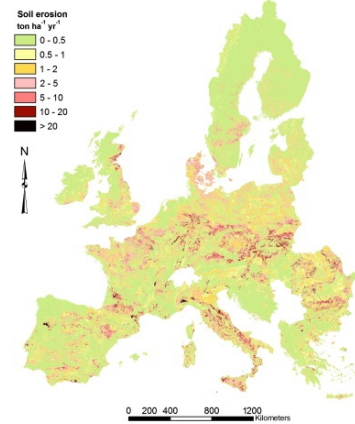
Elaboration de modèle bassin versant

- STREAM, WaterSed
- Fullswof erosion

- ✓ Détermination des processus
- ✓ Quantification



Simulation de scénario d'évolution / aménagement



CARACTÉRISATION DE L'ALÉA

2 types d'érosion sont modélisés



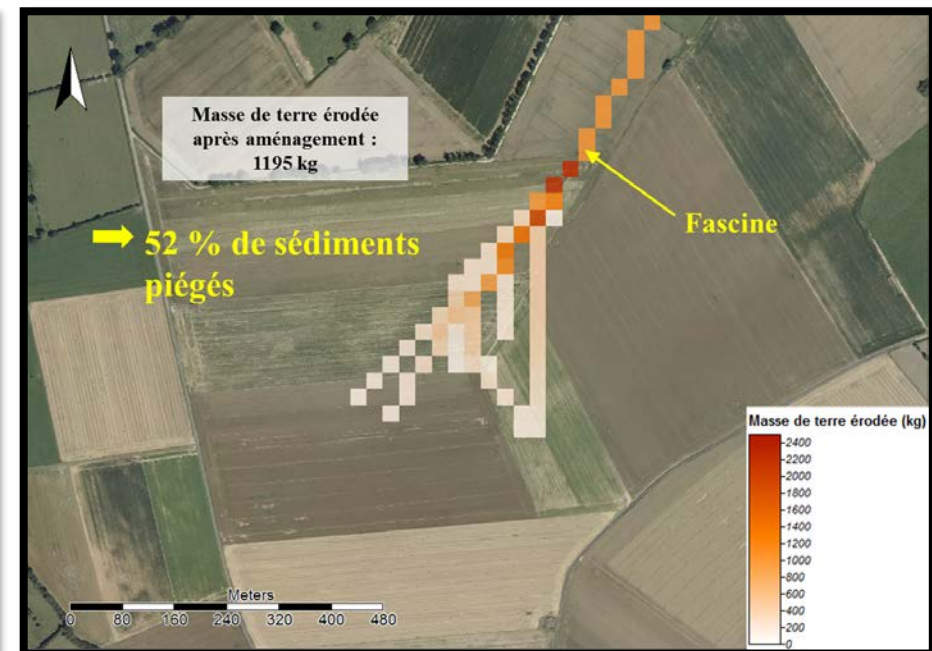
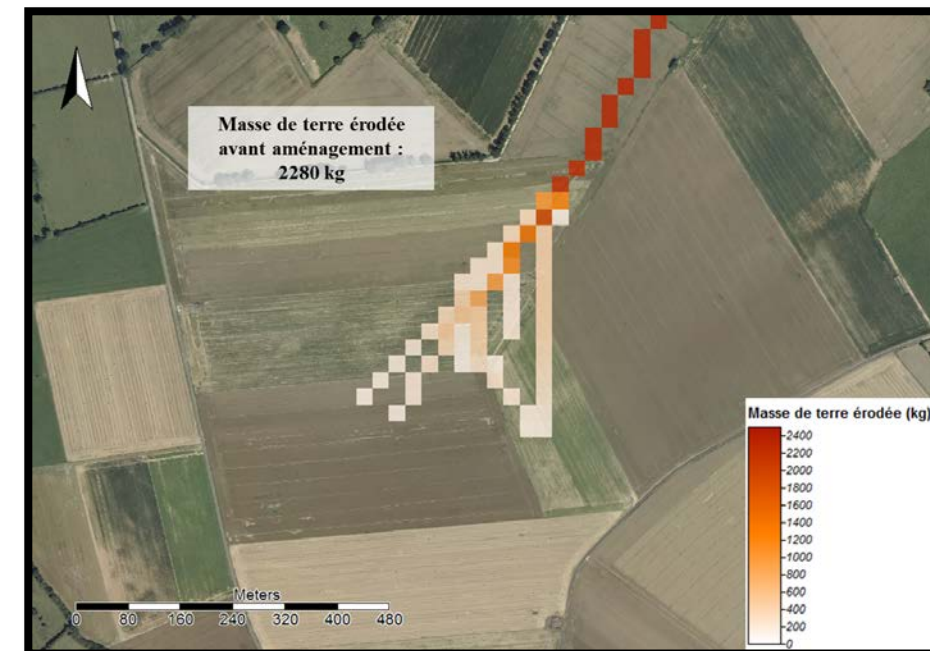
Erosion concentrée

Erosion diffuse

PRÉSENTATION DE L'OUTILS WATERSED

Module « aménagements »

- Possibilité de simuler des aménagements d'hydraulique douce (fascine, haie, bande enherbée) et des mares tampons avec déversoir (sans vannes de fond)



STRATÉGIE D'AMÉNAGEMENT

- **Schémas d'aménagement de bassin**
 - Hydraulique douce
 - Pratique agricole
 - Bassins de rétention
 - Protection de captage
- **Scénarios de changement**
 - Climatiques
 - Occupation du sol
 - Feux de forêt
- **Perspective sur le transport particulaire**
 - Diffusion de radionucléide suite à accident nucléaire
 - Export d'intrant agricoles
 - Polluants émergents
 - Reprise de pollutions historiques



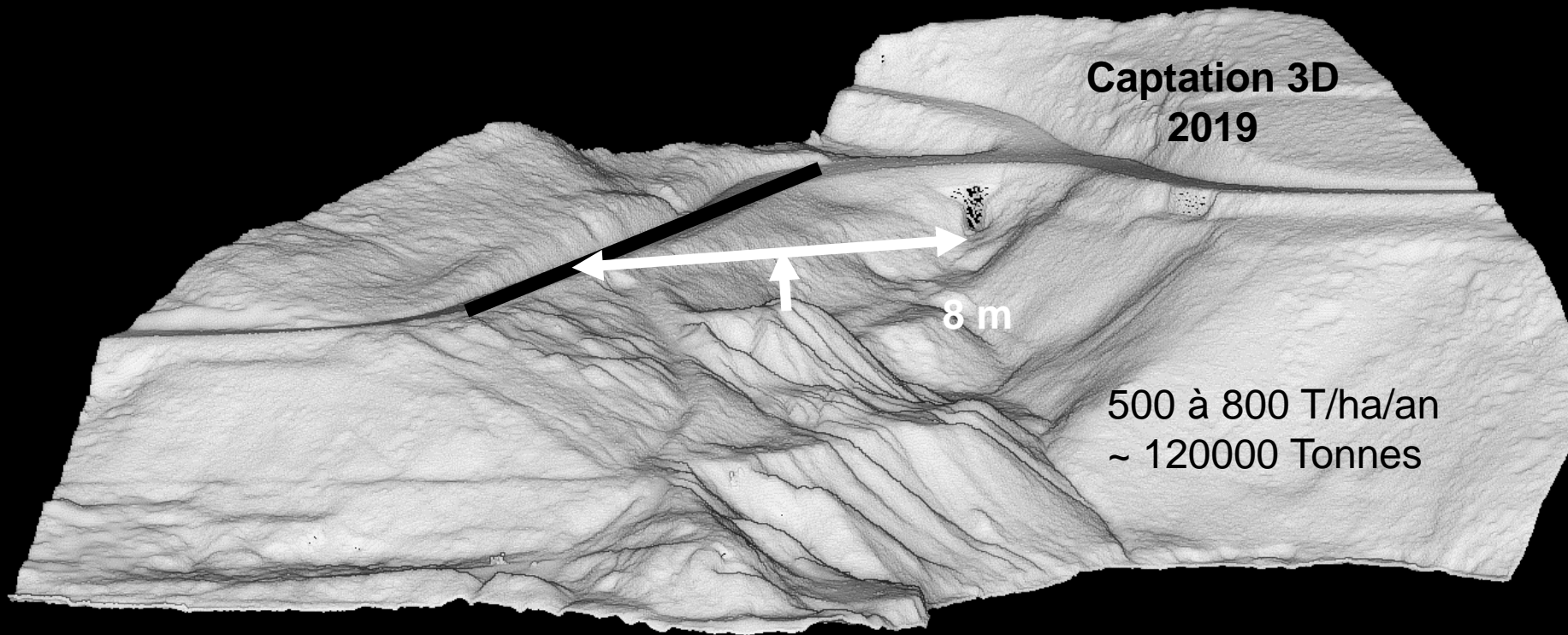
REPRISE DE POLLUTION HISTORIQUE

- Exemple de concession octroyée par décret impérial du 26/06/1869. Arrêt de l'exploitation en 1901



REPRISE DE POLLUTION HISTORIQUE

- Exemple de concession octroyée par décret impérial du 26/06/1869. Arrêt de l'exploitation en 1901



REPRISE DE POLLUTION HISTORIQUE

- Exemple de concession octroyée par décret impérial du 26/06/1869. Arrêt de l'exploitation en 1901

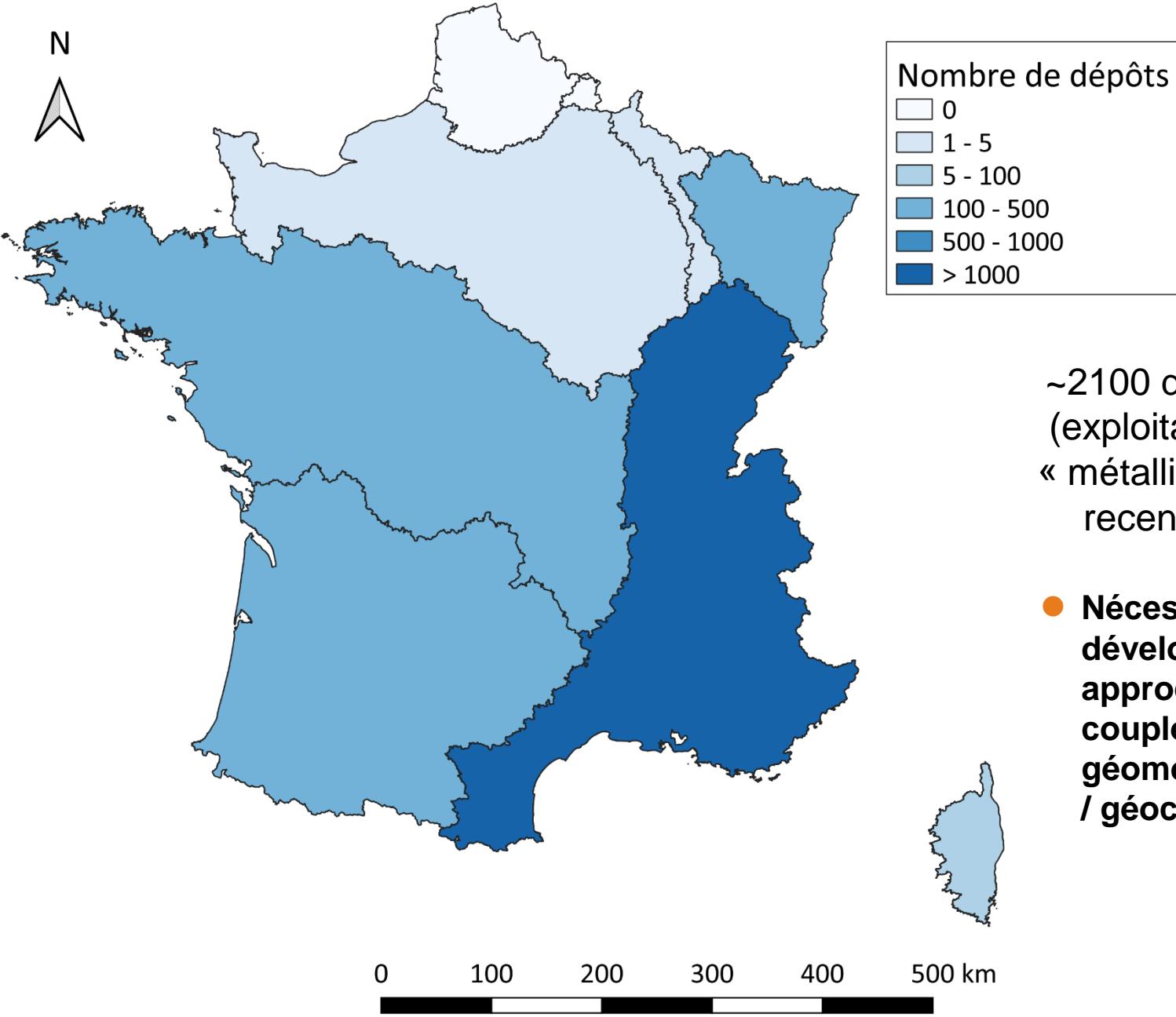


La rivière

... et au milieu coule une rivière ...

La rivière

REPRISE DE POLLUTION HISTORIQUE



Nombre de dépôts

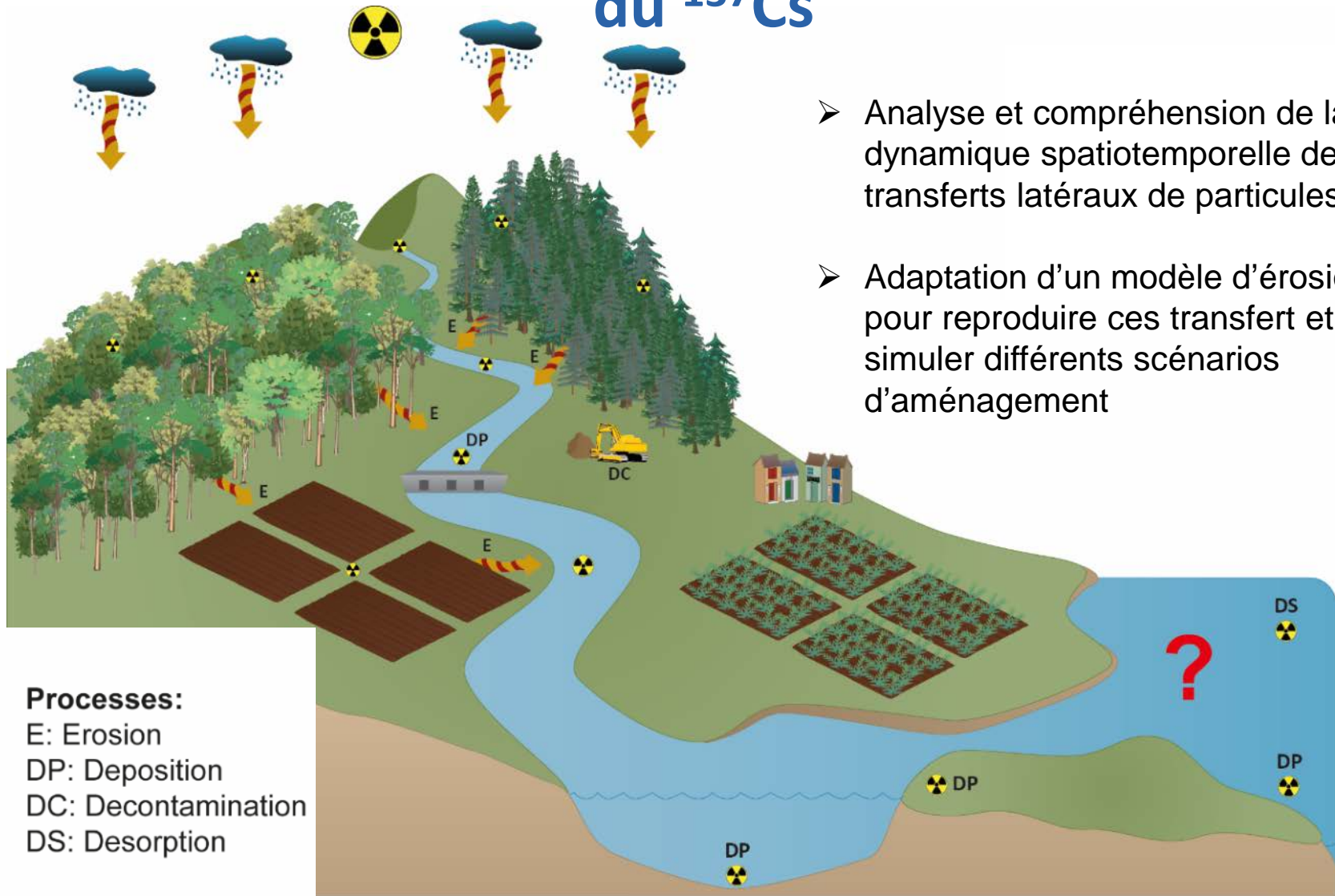
0
1 - 5
5 - 100
100 - 500
500 - 1000
> 1000

~2100 dépôts
(exploitations
« métallique »)
recensés

● **Nécessité de développer des approches couplées géomorphologie / géochimie**

Traçage et modélisation du transfert post-accidentel

du ^{137}Cs



- Analyse et compréhension de la dynamique spatiotemporelle des transferts latéraux de particules
- Adaptation d'un modèle d'érosion pour reproduire ces transferts et simuler différents scénarios d'aménagement

Processes:

E: Erosion

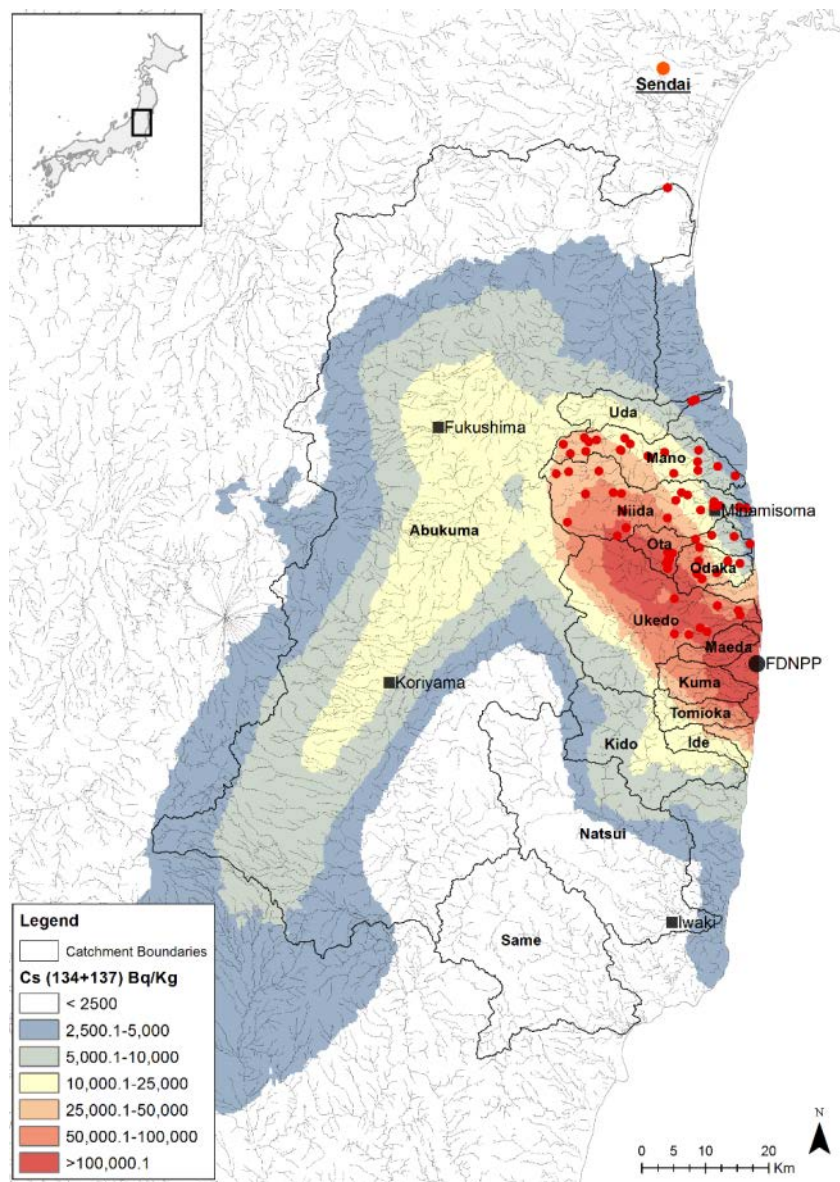
DP: Deposition

DC: Decontamination

DS: Desorption

D'après Evrard et al. (2015)

Evolution des concentrations en ^{137}Cs dans les sédiments

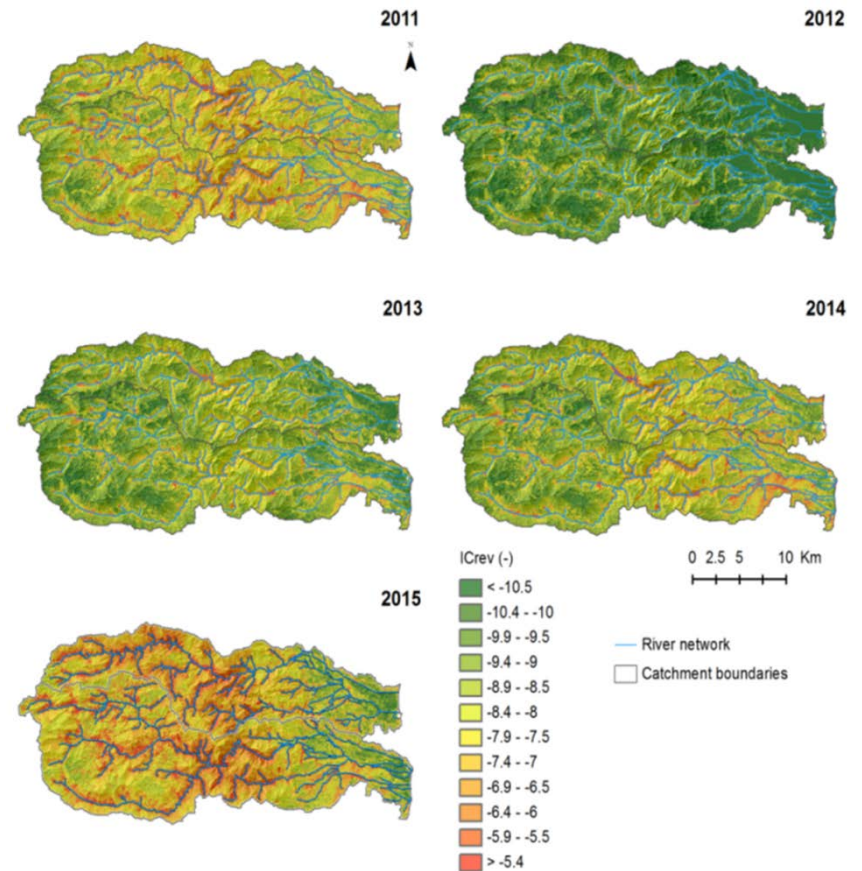
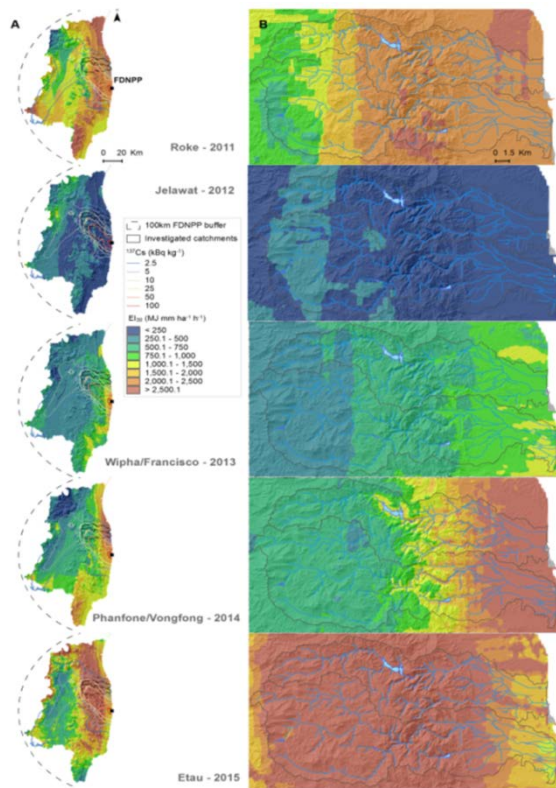


In the Fukushima Prefecture there is **2 times more rainfall** and **3-4 times more rainfall erosivity** than in the **Chernobyl region** (Lacey et al., 2016 HESS)

Rainfall driven soil erosion transfers radiocesium contaminated particles downstream.



Typhoons drive soil erosion
 (rainfall erosivity - *below*)
 resulting in increased
connectivity (*left*).



Left rainfall erosivity for major typhoon events.
 Above connectivity index for these typhoon
 events from Chartin et al., (2017) EPJL

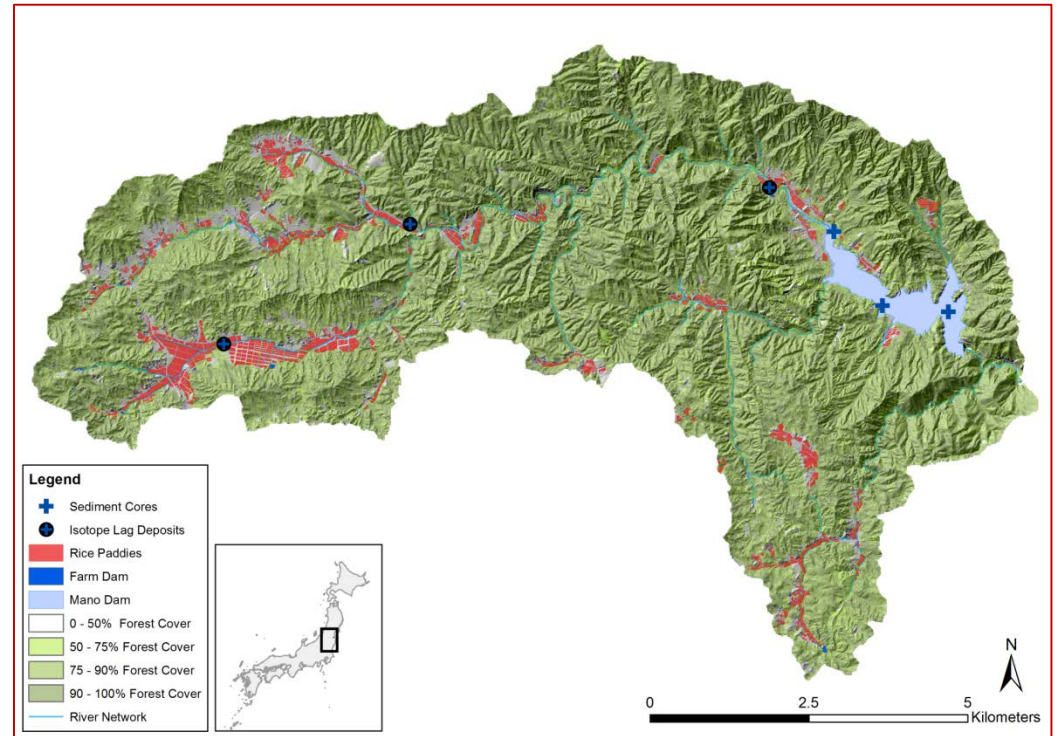


- **Sediment Sources in the Mano Dam:**

- **Forest sources** were modelled to contribute **27%** (SD 10%)

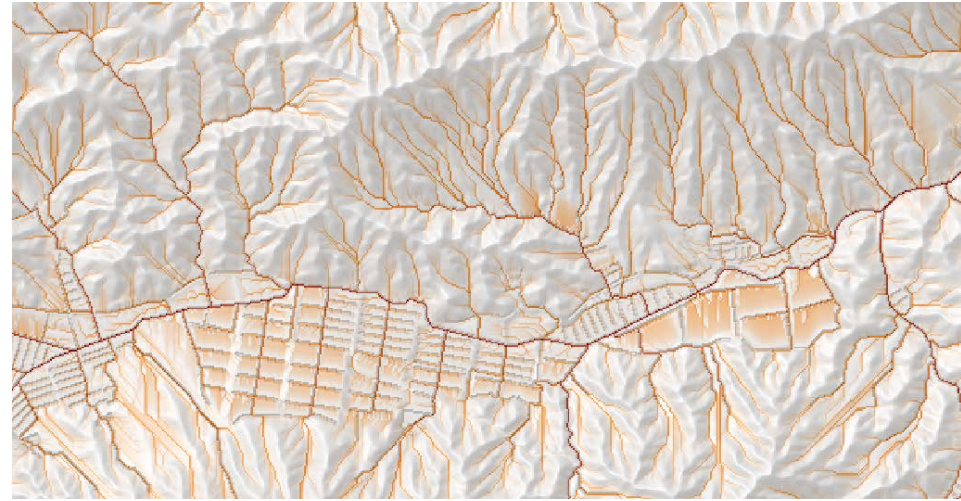
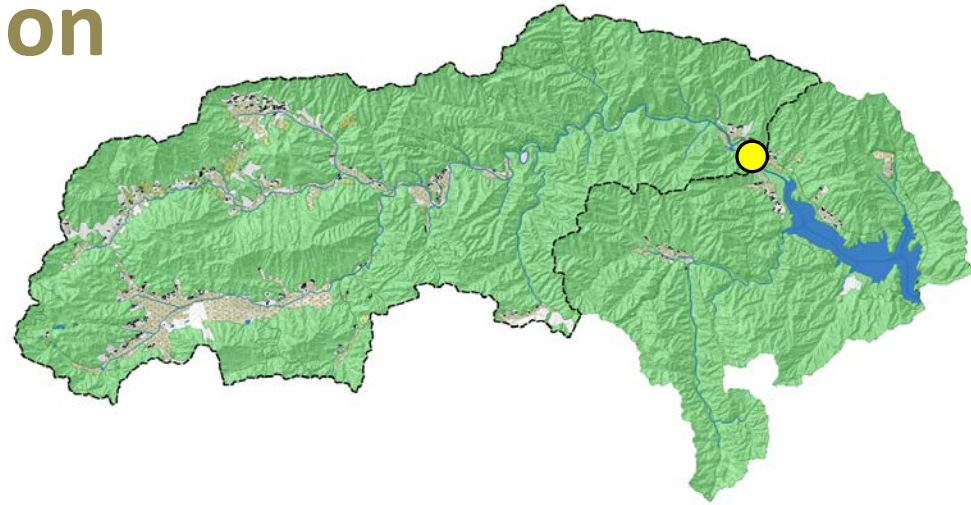
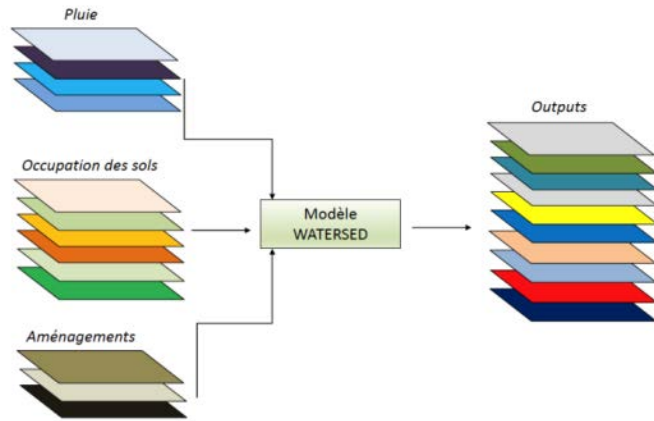
- **Cultivated sources** were modelled to contribute **48%** (SD 10%)

- **Subsoils** were modelled to contribute **26%** (SD 8%)



Appui de la modélisation

Adaptation du modèle
WaterSed en cours

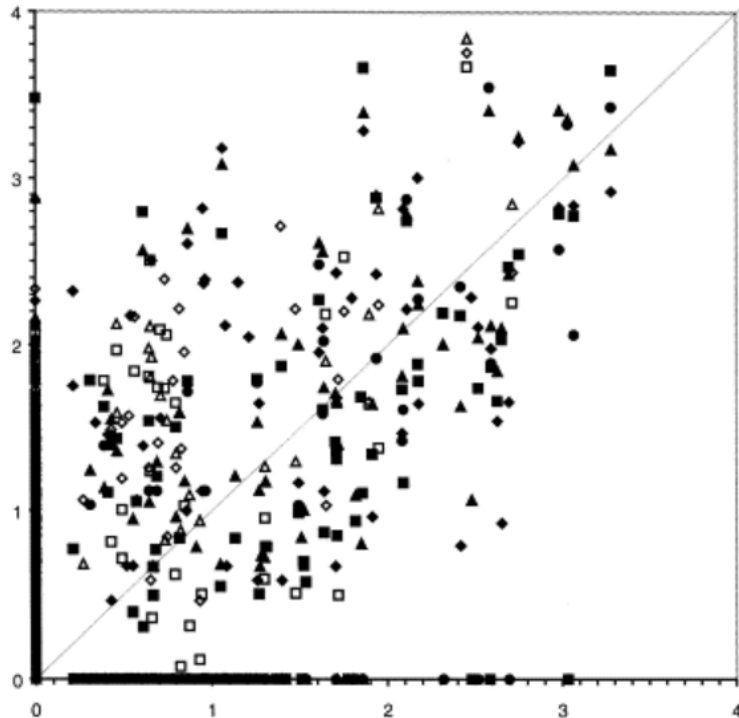


Développement du module de
radiocésium

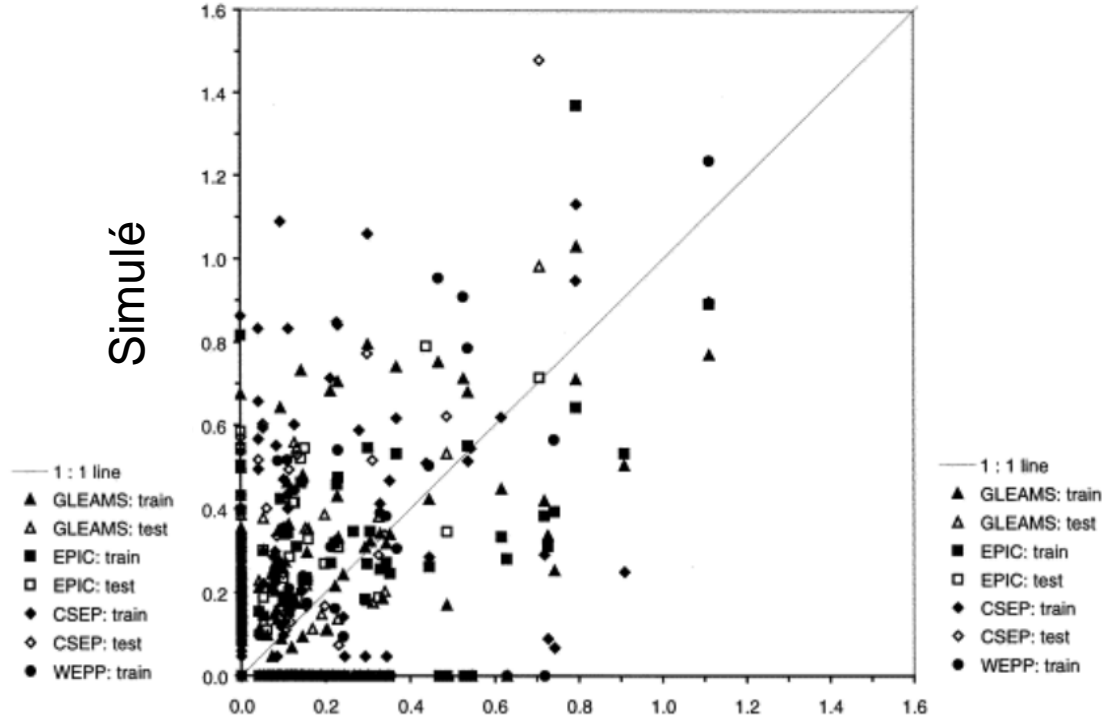
- **UN ENJEU MAJEUR POUR LA DURABILITÉ DE NOS SOCIÉTÉS**
- **D'UNE ÉROSION GÉOLOGIQUE À UNE ÉROSION ANTHROPIQUE**
- **COMPLEXITÉ DES PROCESSUS ET TRANSFERT D'ÉCHELLE**

COMPLEXITÉ DES PROCESSUS

- Exercices d'évaluation : Application de 4 modèles « à l'aveugle »



Ruissellement



Observé

Erosion

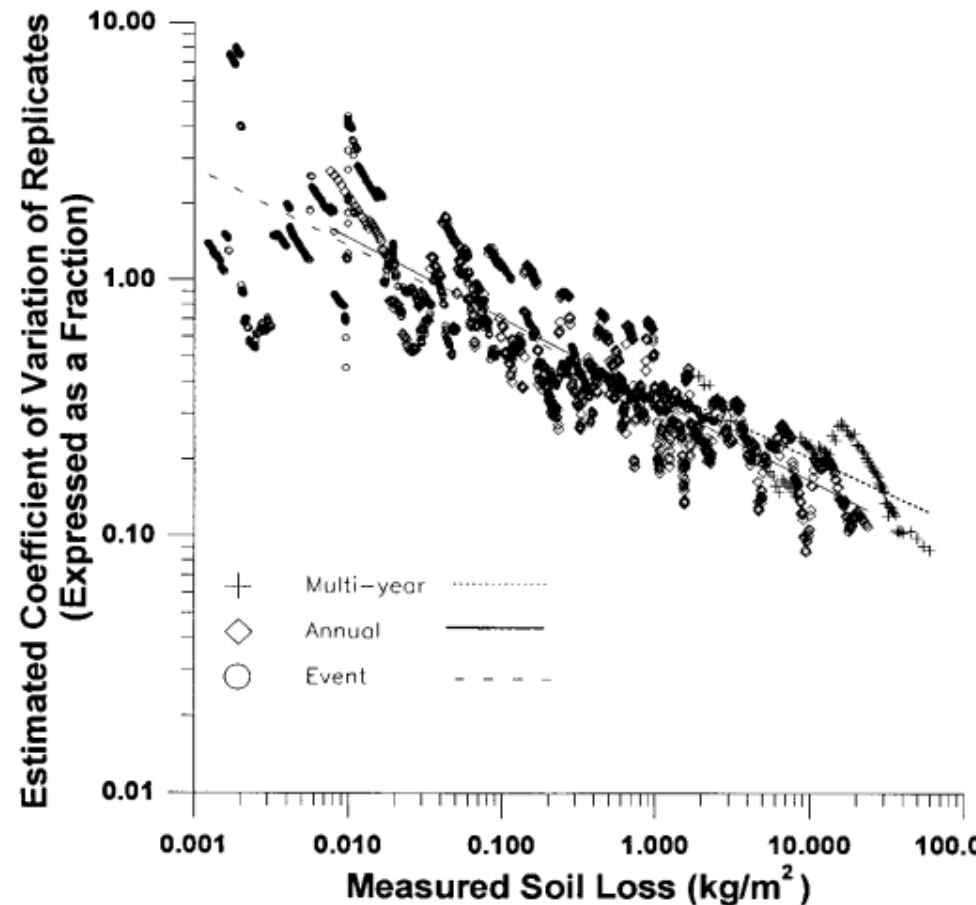
COMPLEXITÉ DES PROCESSUS

- Diversité des paysages et des climats
 - Typhon/cyclone zones pentues
 - Saison humide en plaine
 - Garrigue/maquis en zone semi-aride
- Hétérogénéité spatiale
- Dynamique temporelle
 - Processus / échelle

Diversité au niveau des mesures à l'échelle très locale

...

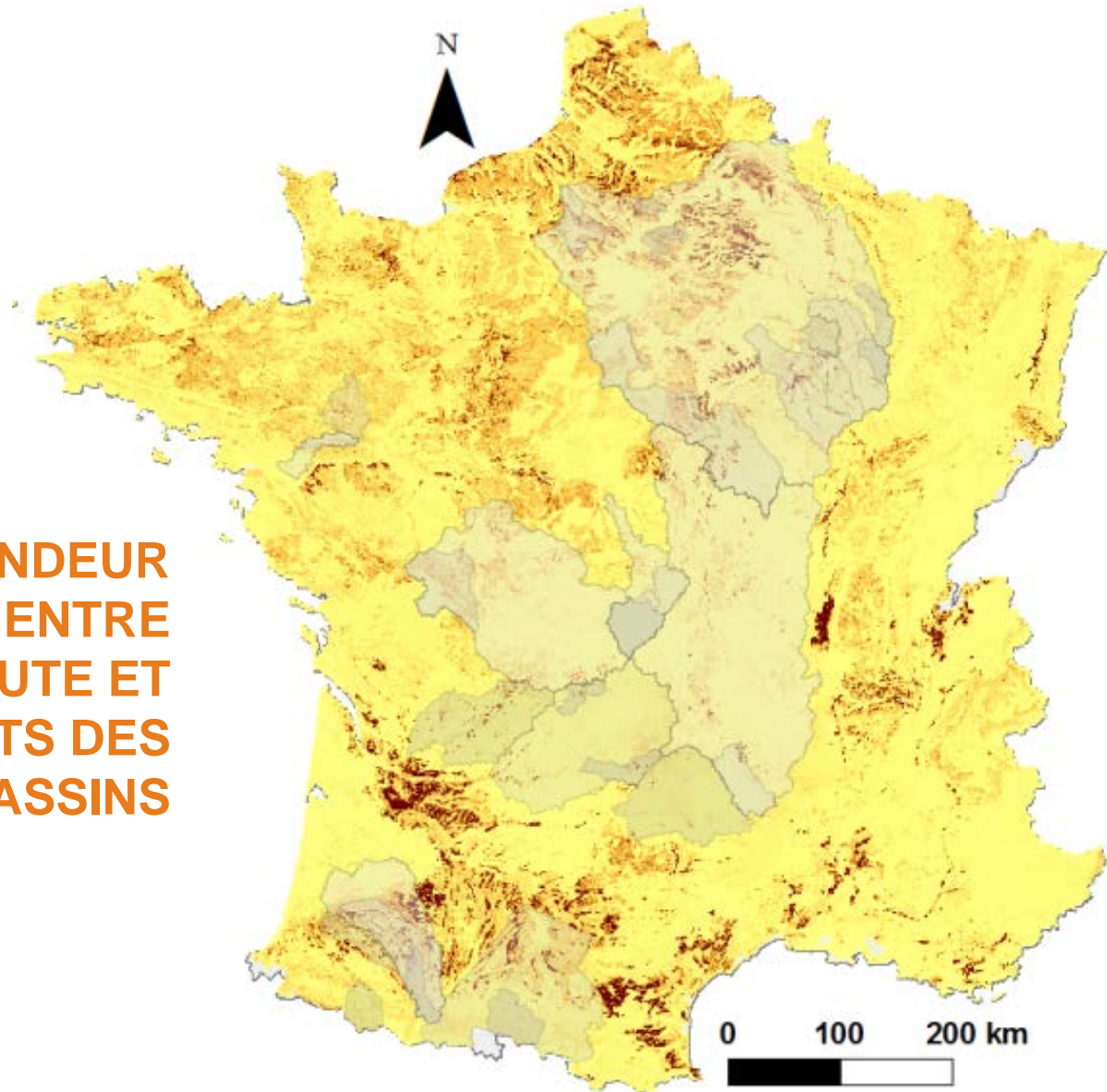
Nearing, Govers & Norton



PROCESSUS / ECHELLE : LES BASSINS HYDROGRAPHIQUES

**EROSION BRUTE
SUR LES VERSANTS
~ 10⁰ TON/HA/AN**

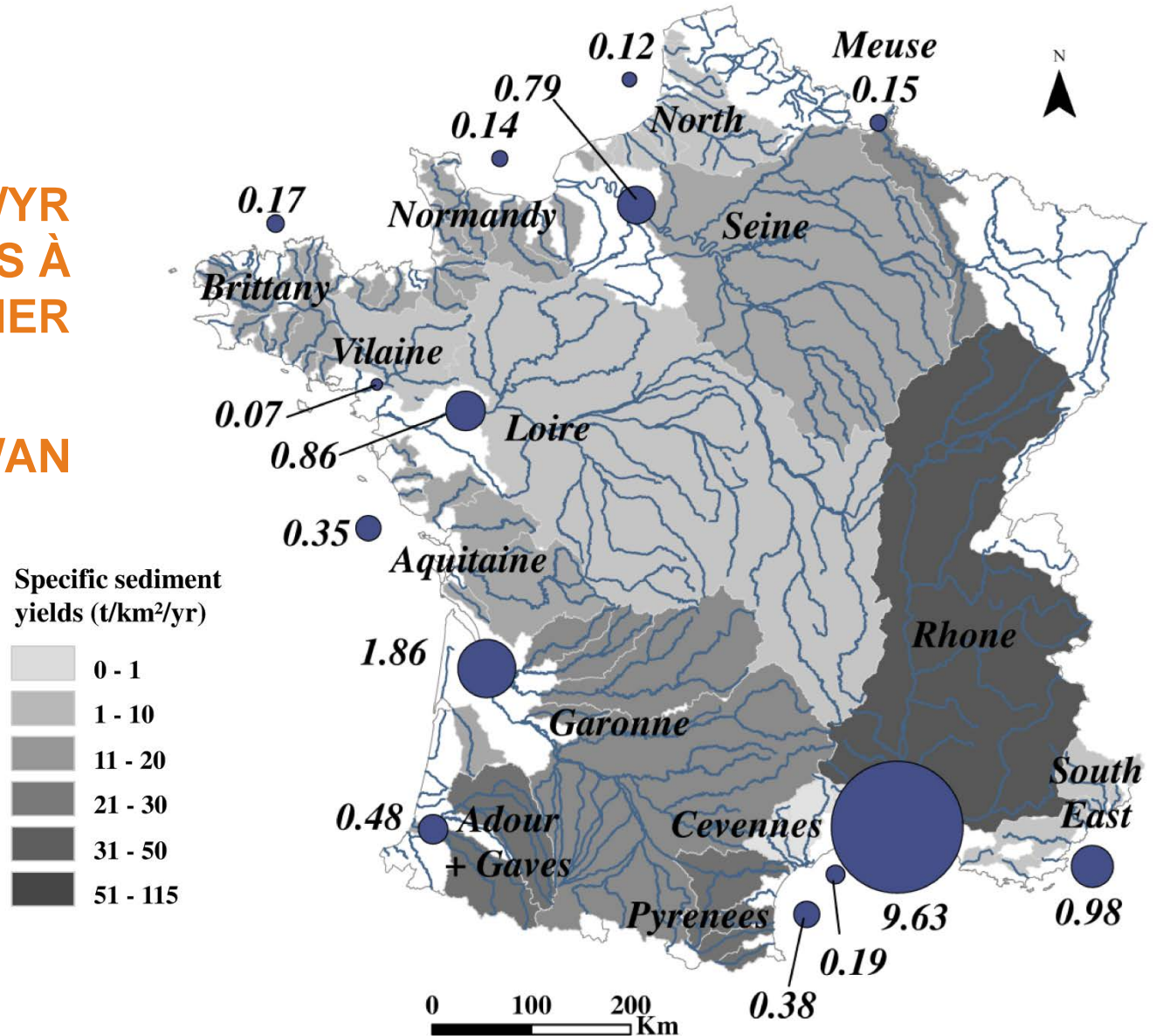
**1 ORDRE DE GRANDEUR
DE DIFFERENCE ENTRE
L'ÉROSION BRUTE ET
LES EXPORTS DES
BASSINS**



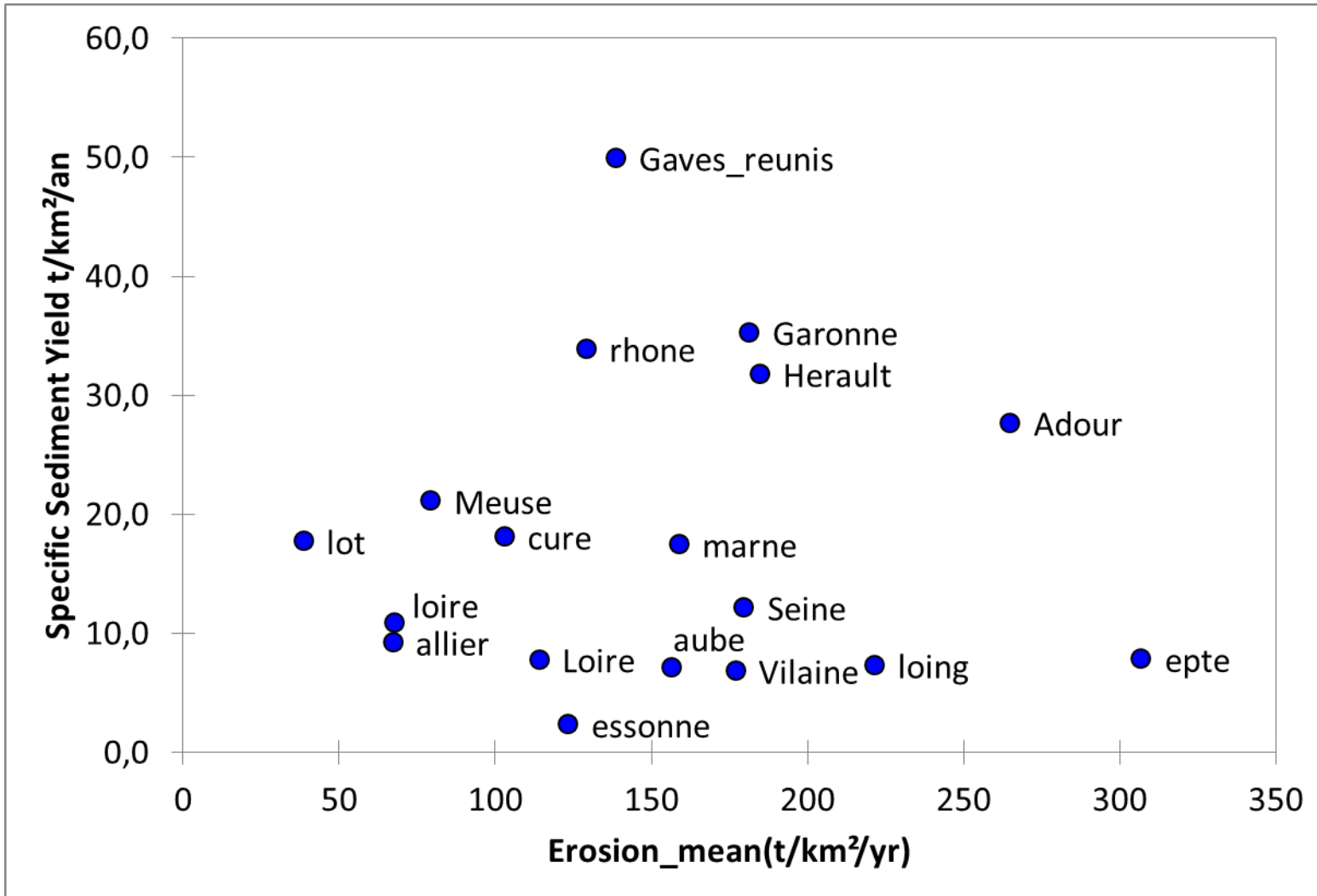
PROCESSUS / ECHELLE : LES BASSINS HYDROGRAPHIQUES

16.2 MT/YR
D'EXPORT DE MES À
LA MER

$\sim 10^{-1}$ TON/HA/AN

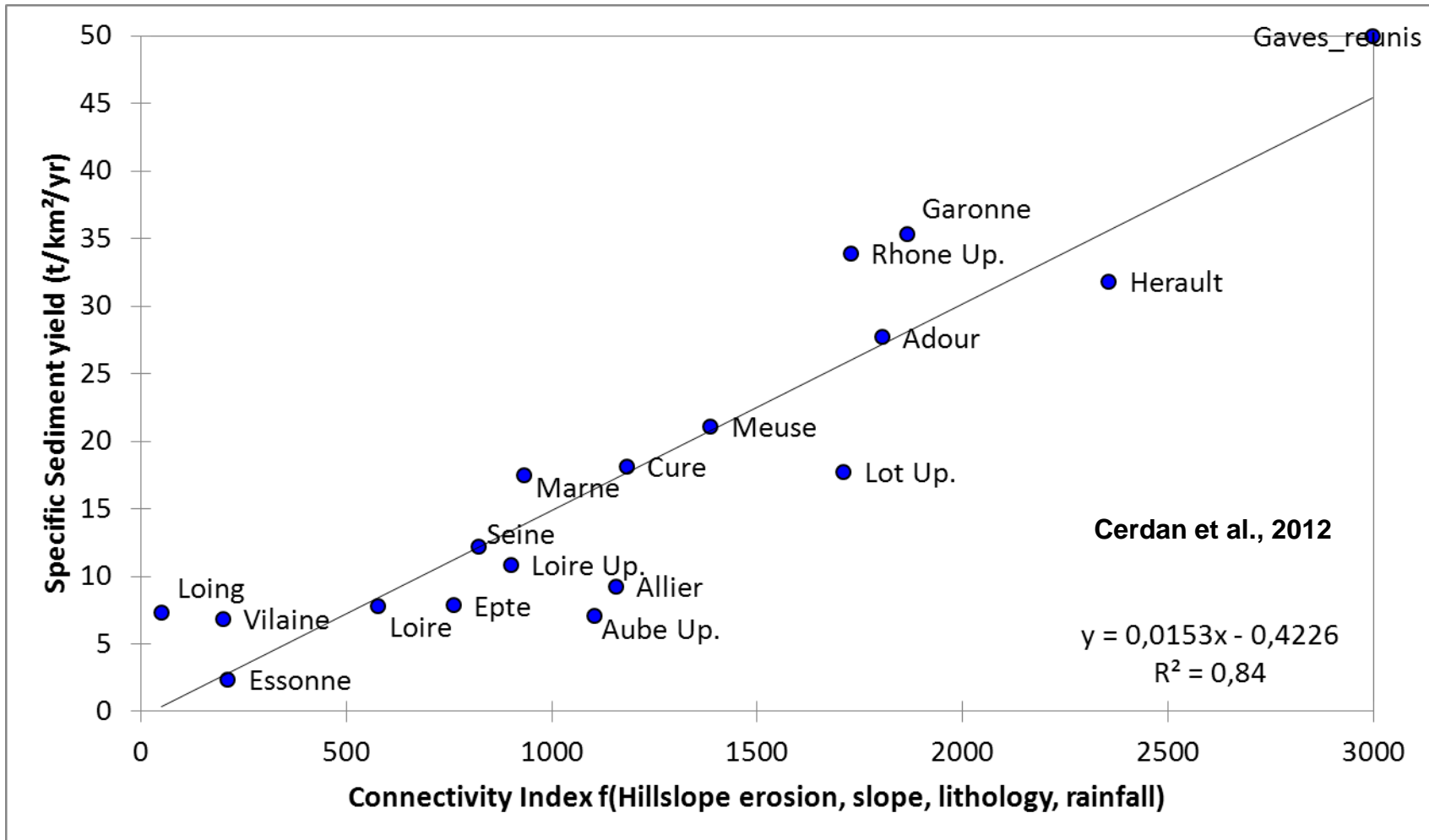


SSL against Soil loss



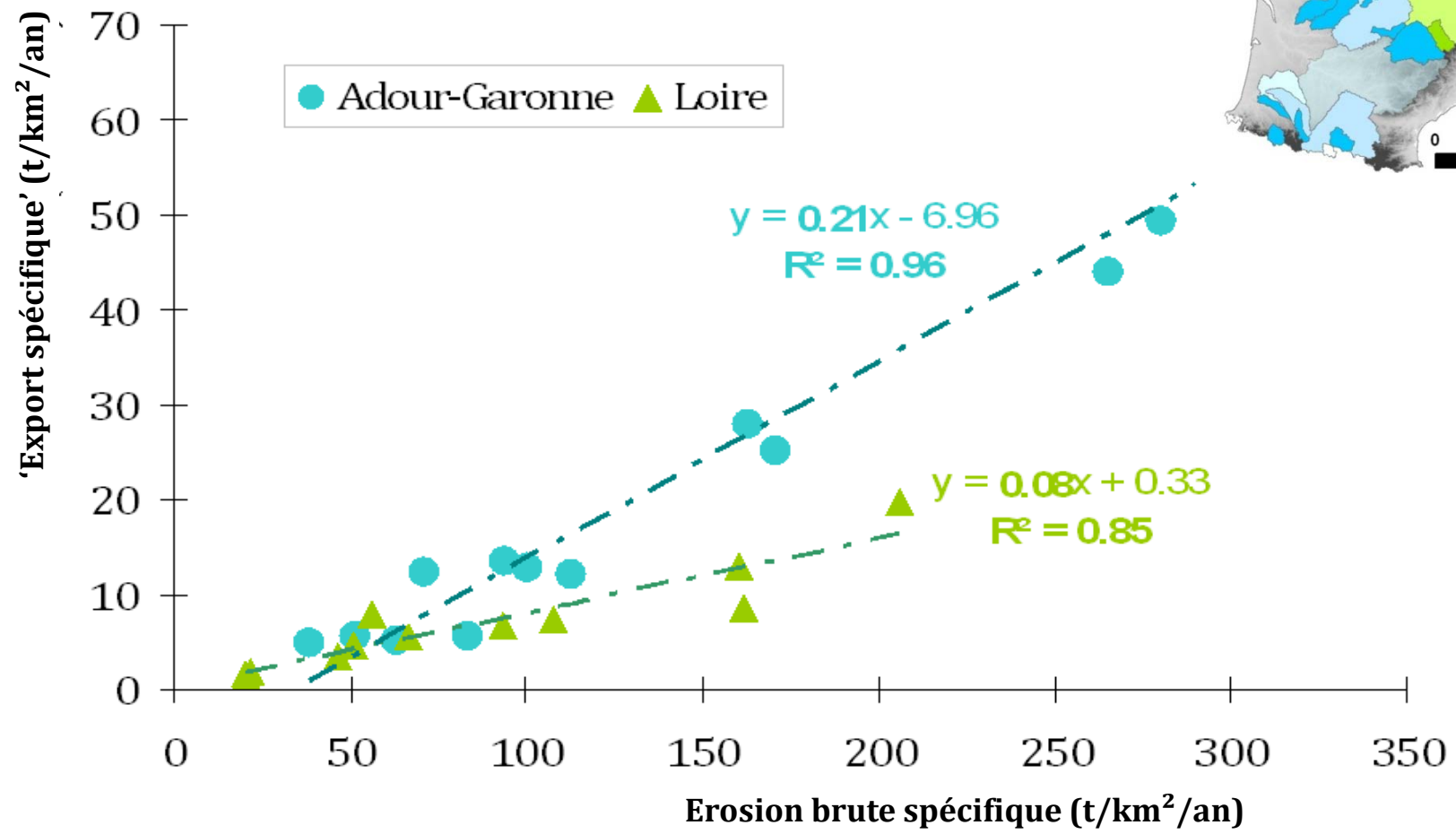
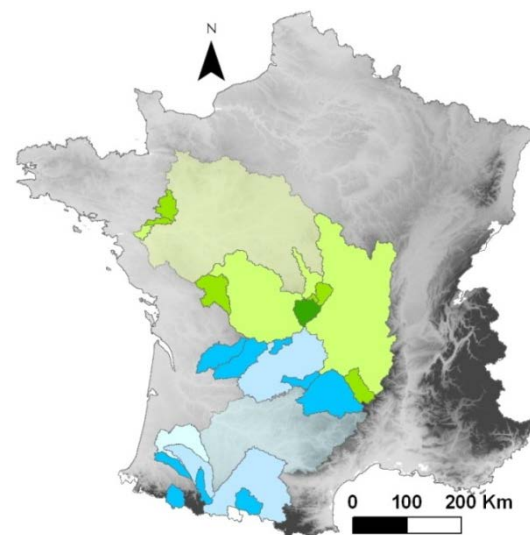
PROCESSUS / ECHELLE : LES BASSINS HYDROGRAPHIQUES

CONNECTIVITÉ DES VERSANTS À LA RIVIÈRE

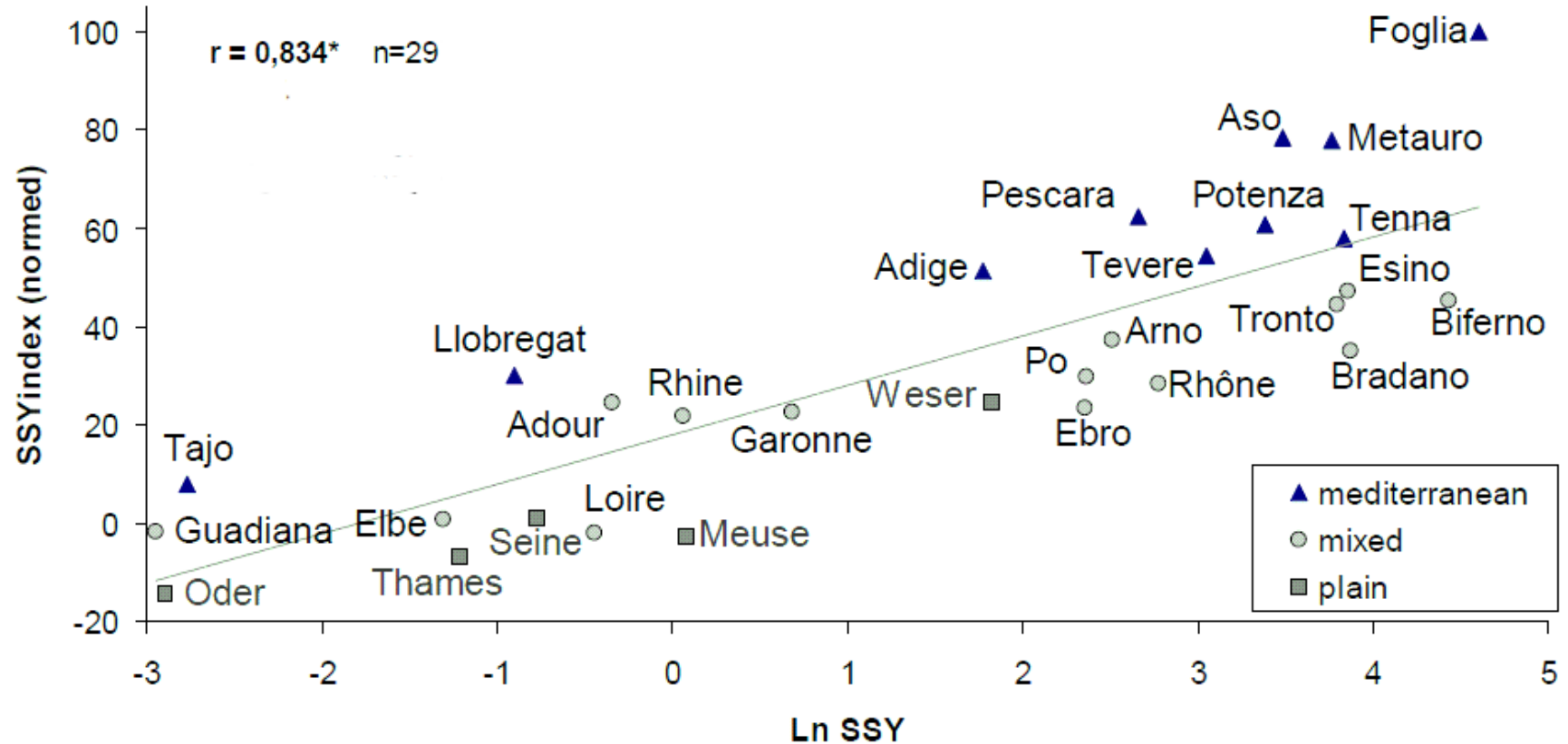


PROCESSUS / ECHELLE : LES BASSINS HYDROGRAPHIQUES

CETTE DIFFERENCE N'EST PAS ALÉATOIRE...



CONNECTIVITÉ DES VERSANTS À LA RIVIÈRE



LES MESSAGES

- **Une érosion historique qui a fragilisé les écosystèmes « finis »**
- **Accélération du phénomène après la deuxième guerre mondiale**
 - Principalement dans les systèmes en culture intensive
 - Efficacité technique théorique des systèmes de conservation des sols
 - Abandonnement des terres - Sécurité alimentaire
 - Perte de la réserve de biodiversité des sols
- **Diminution des exports à la mer**
- **De très gros enjeux sur la qualité des milieux récepteur**
 - Eutrophisation (marée verte...)
 - Export polluant (radionucléide, métaux lourds, HAP, métalloïdes, médicaments, ...)
 - Captage eau souterraine, Lagons, ...
 - Envasement masses d'eaux et rivières, dégradation habitat écologique
 - Inondation par ruissellement
- **Des enjeux émergents en termes de Services écosystémiques, Cycle du carbone, Recharge des nappes**

