

COLLOQUE SCIENTIFIQUE
"CHLORDÉCONE, COMPRENDRE & AGIR"
23 • 24 • 25 juin 2026

Evolution spatio-temporelle de la CLD dans les sols par une approche bayésienne – valorisation de la cartographie des sols Martiniquais

Jérémy LAVARENNE (CIRAD), Jean-François DESPRATS (BRGM / G-Eau), Jean-Baptiste CHARLIER (BRGM / G-Eau), Yves LE ROUX (U. Lorraine), Aurore FOURCOT (CIRAD/CPSN/CLoReCA)

Problématique

Problématique

Travaux antérieurs sur évolutions et dissipation CLD dans l'environnement

- SOLS : Modèle WISORCH (Cabidoche et al., 2009; Comte et al., 2022)
- EAUX : tendances à la baisse en Martinique (Cattan et al., 2019)
- et nombreux travaux sur présence de métabolites dans environnement

→ **Besoin d'affiner les modèles de dégradation**

Création du GT-SOLS (CPSN/CLORECA)

Comment résoudre la question de la durée de pollution de la CLD dans les sols ?

STRATÉGIE PROPOSÉE :

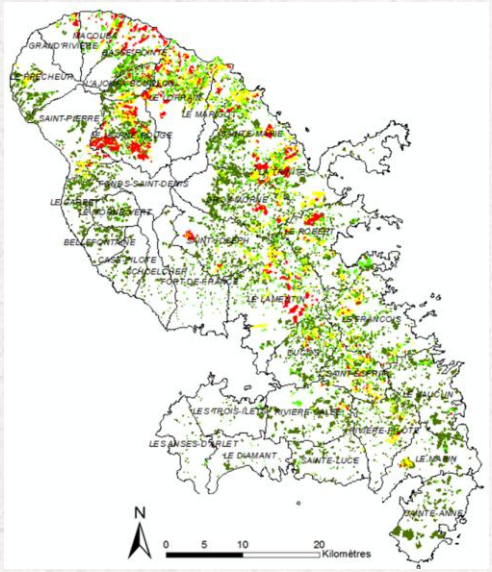
PHASE 1 de la stratégie proposée : traiter les données disponibles

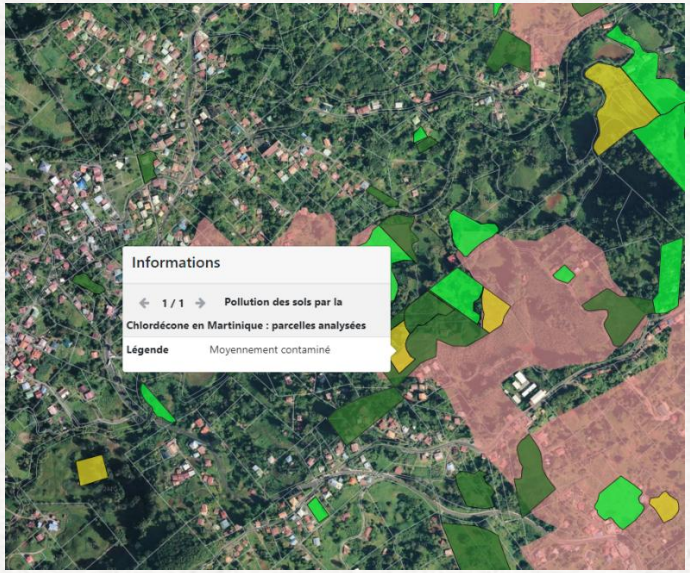
- **Analyse des grands nombres : bases de données SIG existantes**
- Analyse du parcours agronomique de certaines parcelles d'intérêt

PHASE 2 à construire en fonction des résultats de la phase 1

Problématique

Analyse des grands nombres :
bases de données SIG existantes
21 000 données sur 22 ans





Contexte : disponibilité et valorisation d'un jeu de données (SIG CLD sur la Martinique, Desprats et al., 2025)

- **Question principale : est-il possible d'estimer le temps nécessaire à la diminution de la [CLD] dans les sols à partir des données SIG CLD ?**
- ***Questions secondaires*** : est-il possible de prendre en compte un **effet "type de sol"** ? peut-on envisager **reconstruire des cartes historiques** de [CLD] ?
- **Problématique** : inférer une **dynamique spatio-temporelle de [CLD]** à partir de bases de surveillance hétérogènes et fortement censurées a gauche ("<LD")
- Hypothèse : une **évolution sur le temps long** existe mais il est **difficile à isoler** car la structure spatiale est dominante et l'échantillonnage est irrégulier

Approches

Méthodologie : données, structure d'échantillonnage, et enjeux statistiques

SIG CLD

- Géométries de parcelles + table d'analyses chlordécone
- Taille : N = 21 043 observations parcelle-temps (cutoff 12/2025)
- Censure: 8 904 mesures détectées et 12 139 mesures inférieures aux limites de détection ("<LD") (censure massive, majoritaire)

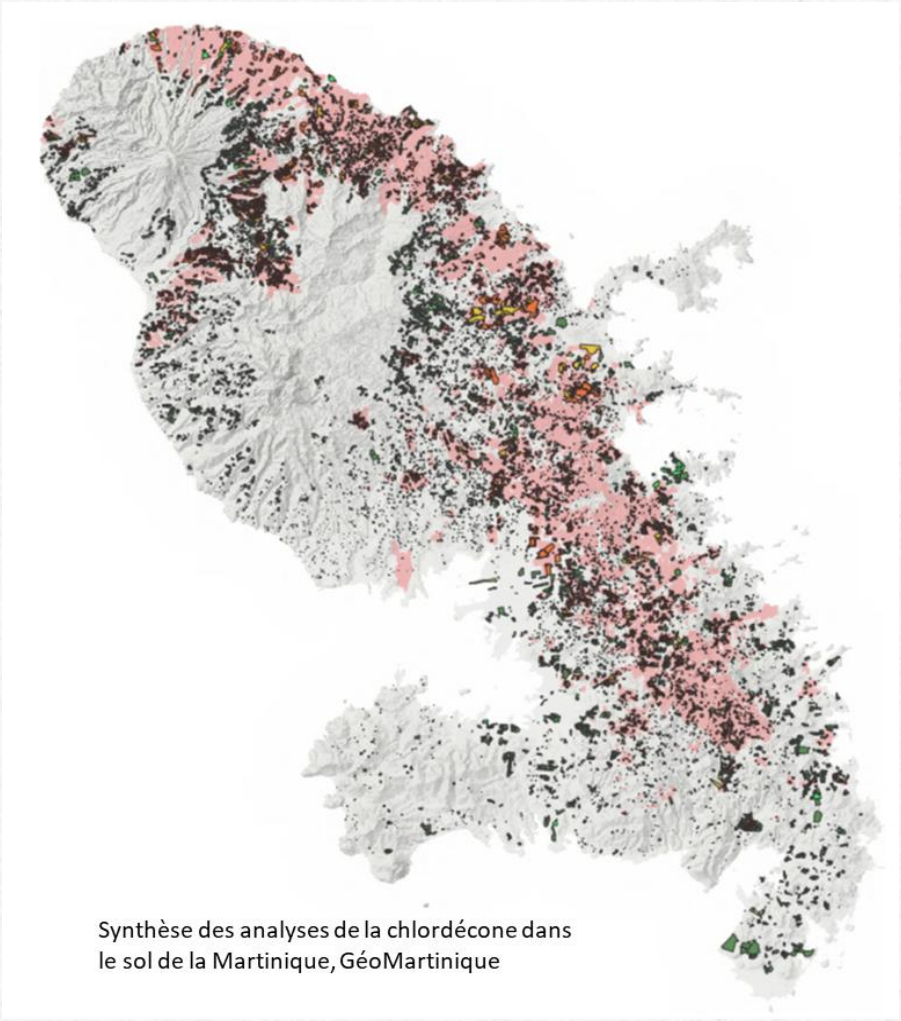
Spatialisation

- **Hétérogénéité spatiale**: gradients et hotspots, cohérents avec l'histoire d'usage, l'organisation des cultures
- **Irrégularités d'échantillonnage**: programmes multiples, densités variables selon zones.
- → besoin d'un modèle spatial, pas d'une lecture point à point

Temporalité

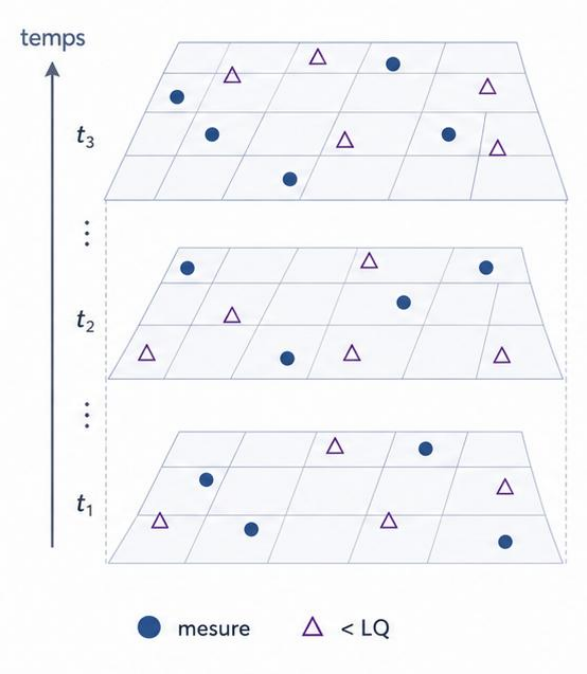
- fenêtre d'observation d'environ **22 ans**, i.e. courte au regard des cinétiques de dissipation multi-décennales (identifiabilité limitée).
- rares revisites de mêmes parcelles

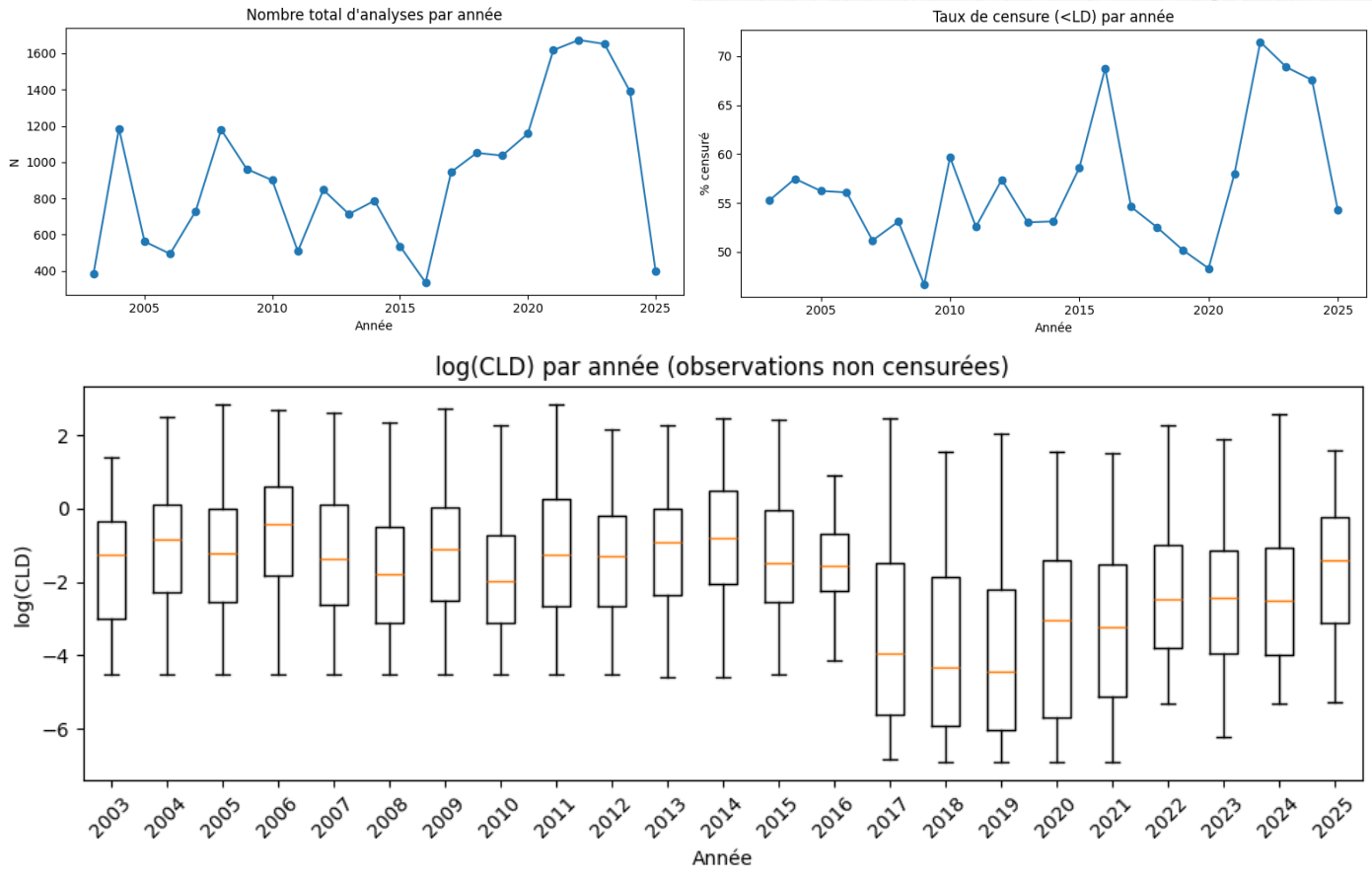
Risques si on fait "simple": sous-estimer la persistance, surinterpréter des variations locales, ou biaiser les tendances par substitution des "<LD".



Synthèse des analyses de la chlordécone dans le sol de la Martinique, GéoMartinique

Méthodologie : données, structure d'échantillonnage, et enjeux statistiques



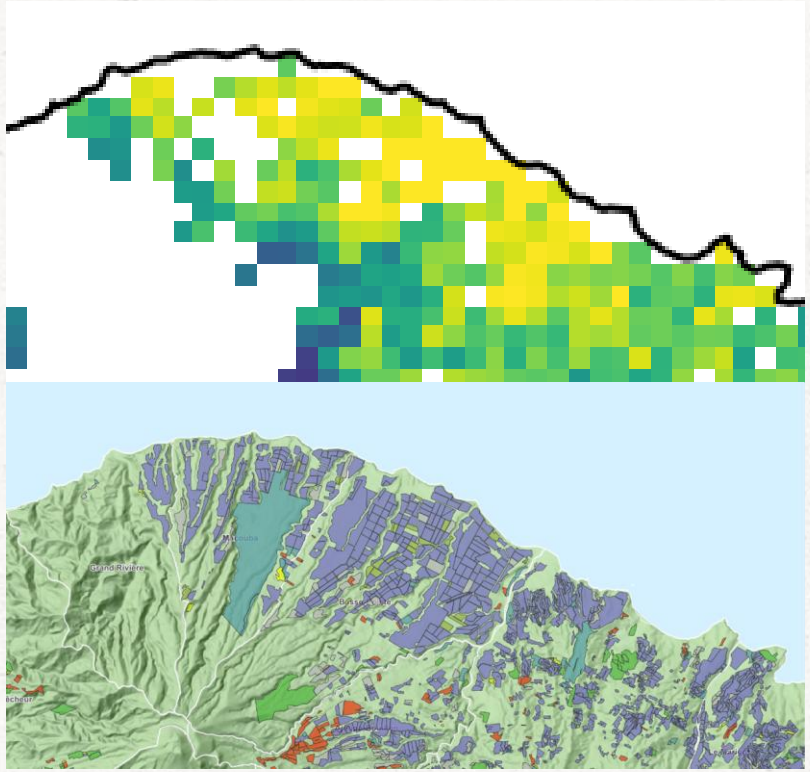


Méthodologie : cadre statistique

- **Peut-on reconstruire de telles cartes ?** → possiblement, mais avec certaines hypothèses de travail

- **Observations**
  - échelle log(concentration) pour gérer asymétrie et variance
  - Détection de loi normale sur log(y)
  - Censurées: contribution via vraisemblance censurée, Pr(log(Y) <= log(LD))
  - → **Contribution 1 : tirer parti de la vraisemblance censurée explicite (on exploite "<LD" comme bornes supérieures, sans substitution)**

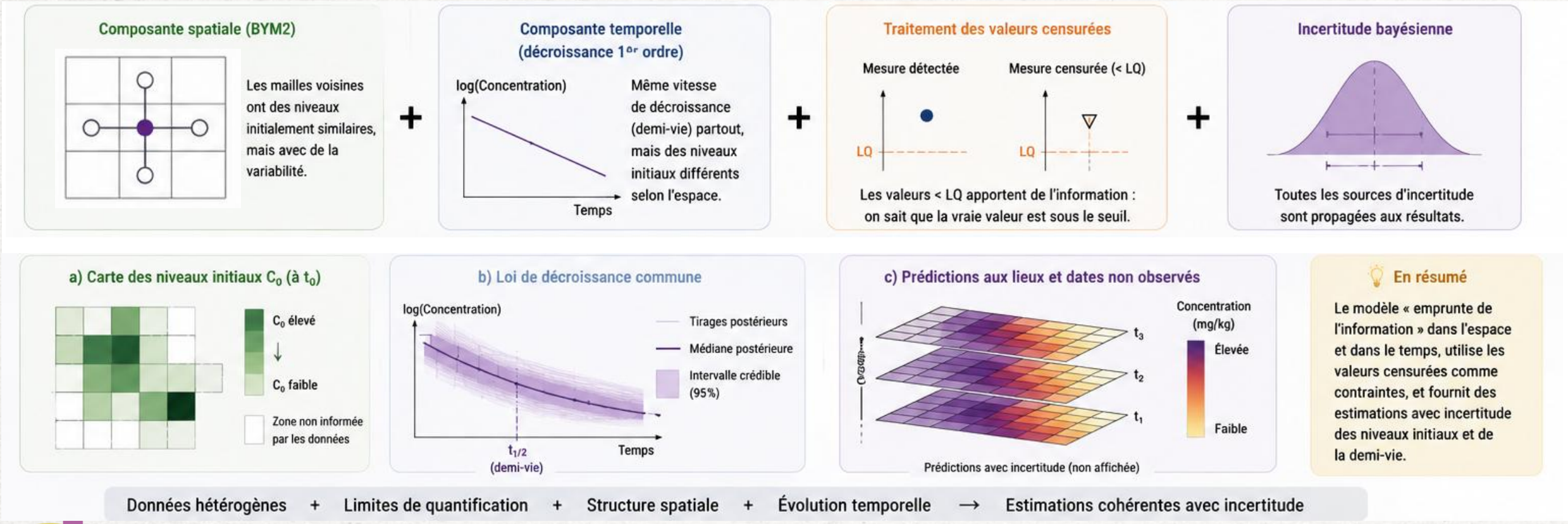
- **Espace**
  - Discrétisation en grille régulière 500 m, active set "cellules observées + voisines"
  - Taille du graphe: 4 410 cellules, 16 682 arêtes
  - BYM2: combinaison d'un effet structuré (ICAR) et d'un effet non structuré (i.i.d.), avec paramètre de mélange
  - → **Contribution 2 : champ spatial latent sur grille régulière et voisinage (BYM2: ICAR structuré + bruit)**



Comparaison résolution grille reconstruite vs RPG – exemple Nord Atlantique

- **Temps**
  - → **Contribution 3 : estimation d'une décroissance monotone paramétrée par une demi-vie effective, puis test d'une modulation par types de sols via pooling partiel**

- **Extension "sols"**
  - Niveau spatial ne dépend pas des sols
  - Pente temporelle (dissipation) dépend des classes de sol

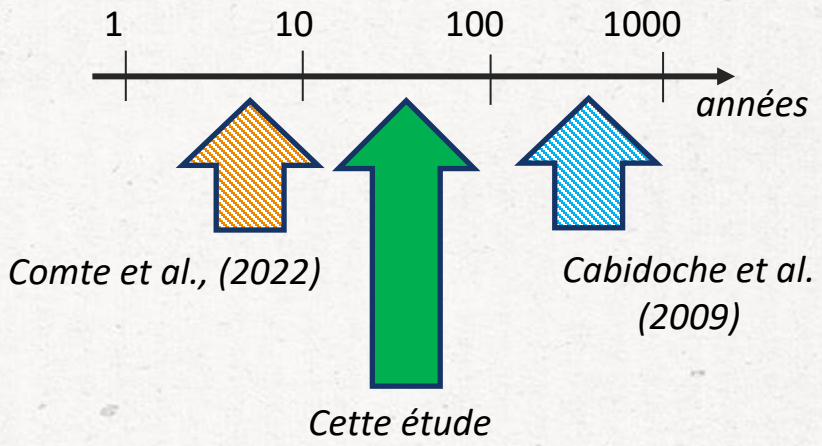


Résultats

Résultats : persistance multi-décennale (niveau global)

- **Modèle sans sols**
  - **demi-vie médiane ~36,4 ans** (IC95 [24,5 ; 67,2])
  - Variant avec prise en compte LQ dégradée **~14,8 ans** (IC95 [13,1 ; 16,9])
- **Modèle avec sols**
  - **demi-vie médiane** ~57,8 ans (IC95 [36,5 ; 120,5])
- **Interprétation**
  - **demi-vies estimées sur plusieurs décennies (même gamme de valeurs)** avec ou sans sols, avec ou sans biais LQ
  - Limites : fenêtre temporelle (~22 ans) courte relativement à ces demi-vies → incertitude inévitable

RAPPEL ⚠
demi-vies estimées sont des demi-vies "de dissipation" effectives (elles résument une tendance observée, pas une constante intrinsèque de dégradation)



Résultats : persistance multi-décennale (niveau global)

Comparaison de modèles

- **Hypothèse : biais lié à des LQ variées selon les laboratoires**
  - LQ dégradée : neutralise l'hétérogénéité inter-labos des LQ en appliquant partout la valeur la plus haute, demi-vie = 15 ans
  - Interprétation :
  - Le test incluant les non-détectés (< LQ) semble déplacer une partie de l'explication de "différences spatiales très fortes" vers "décroissance temporelle plus rapide"
  - → **Biais des LQ laboratoires ne change pas l'interprétation** (incertitude plus forte sur valeurs absolues mais tendance identique à la décroissance)
- **Hypothèse : effet « sols »**
  - → **L'extension "sols" apporte une lecture plus mécaniste des tendances, mais le gain prédictif est faible** au niveau agrégé (différences prédictives faibles vs incertitude)

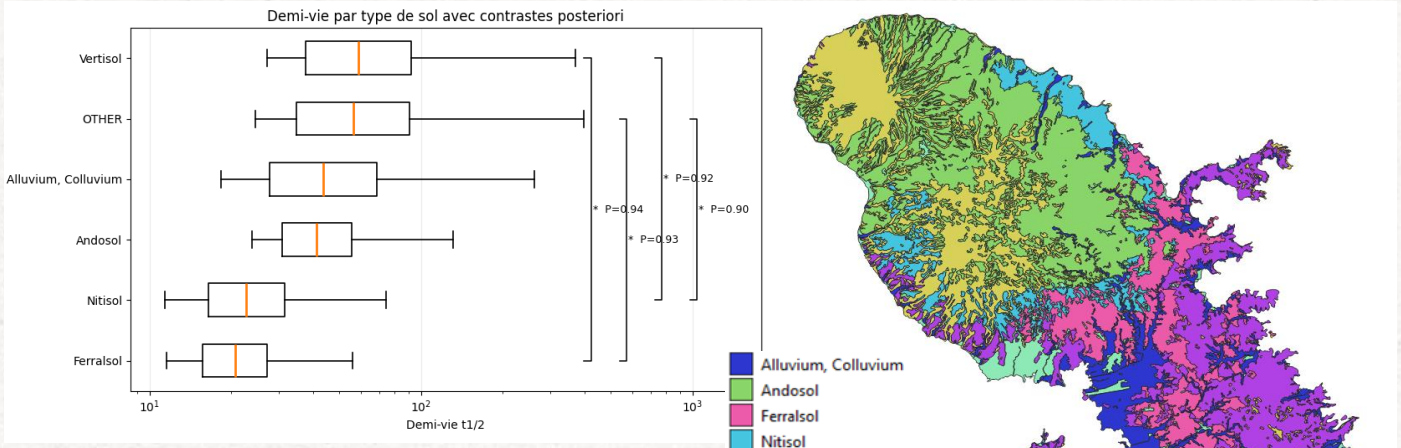
RAPPEL ⚠
demi-vies estimées sont des demi-vies "de dissipation" effectives (elles résument une tendance observée, pas une constante intrinsèque de dégradation)

Résultats : demi-vies "par type de sol"

- **Résultat du modèle "avec sols":** signal directionnel sur les médianes (années)

Ferralsol ~21; Nitisol ~23; Andosol ~41; Alluvion/Colluvion ~44; Vertisol ~59; OTHER ~56

- **Limites**: intervalles de crédibilité largement chevauchants et queues droites longues (pente parfois proche de 0 compatible avec les données), donc hétérogénéité plausible mais non tranchée

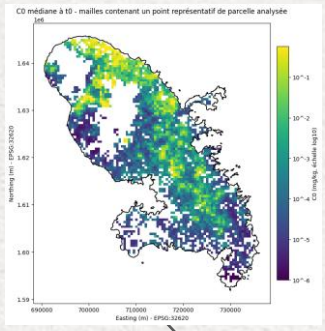


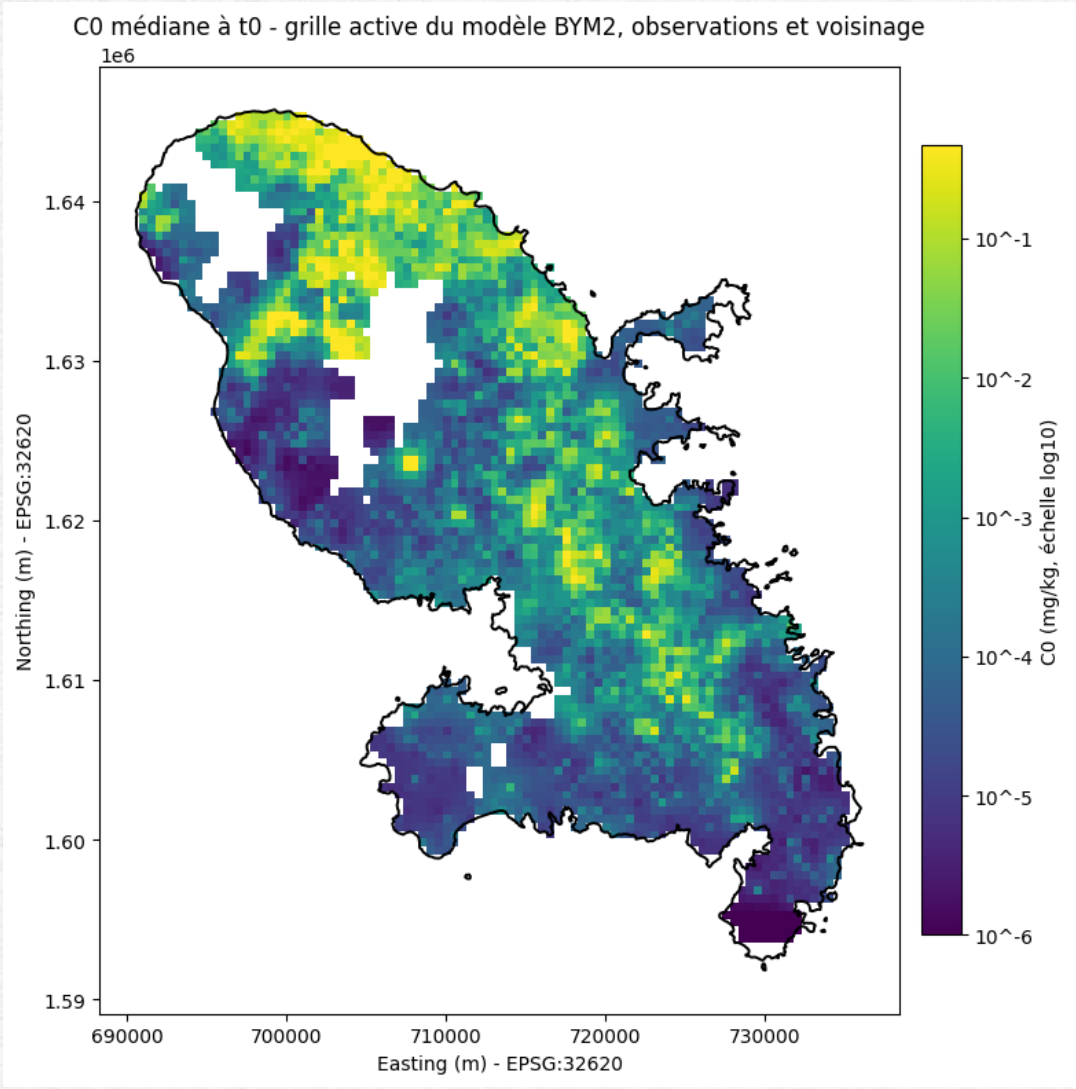
Carte ORSTOM/IRD de la délimitation des zones présentant les mêmes types de sols utilisée pour l'analyse

- **Interprétations**
  - Cohérent avec effet sols mis en évidence par Cabidoche et al. (2009)
  - Gradient dissipation et Koc : Nitisol < Ferralsol < Andosol
  - → andosols (+ riches en MO), allophanes favorise accumulation & séquestration (Woignier et al., 2015)
- **Mise en cohérence**
  - demi-vies effectives plus longues en Andosol (et possiblement Vertisol) cohérentes avec propriétés des sols (adsorption, structure/minéralogie)
  - Mêmes conclusions sur les tendances de [CLD] dans les eaux (Cattan et al., 2019)

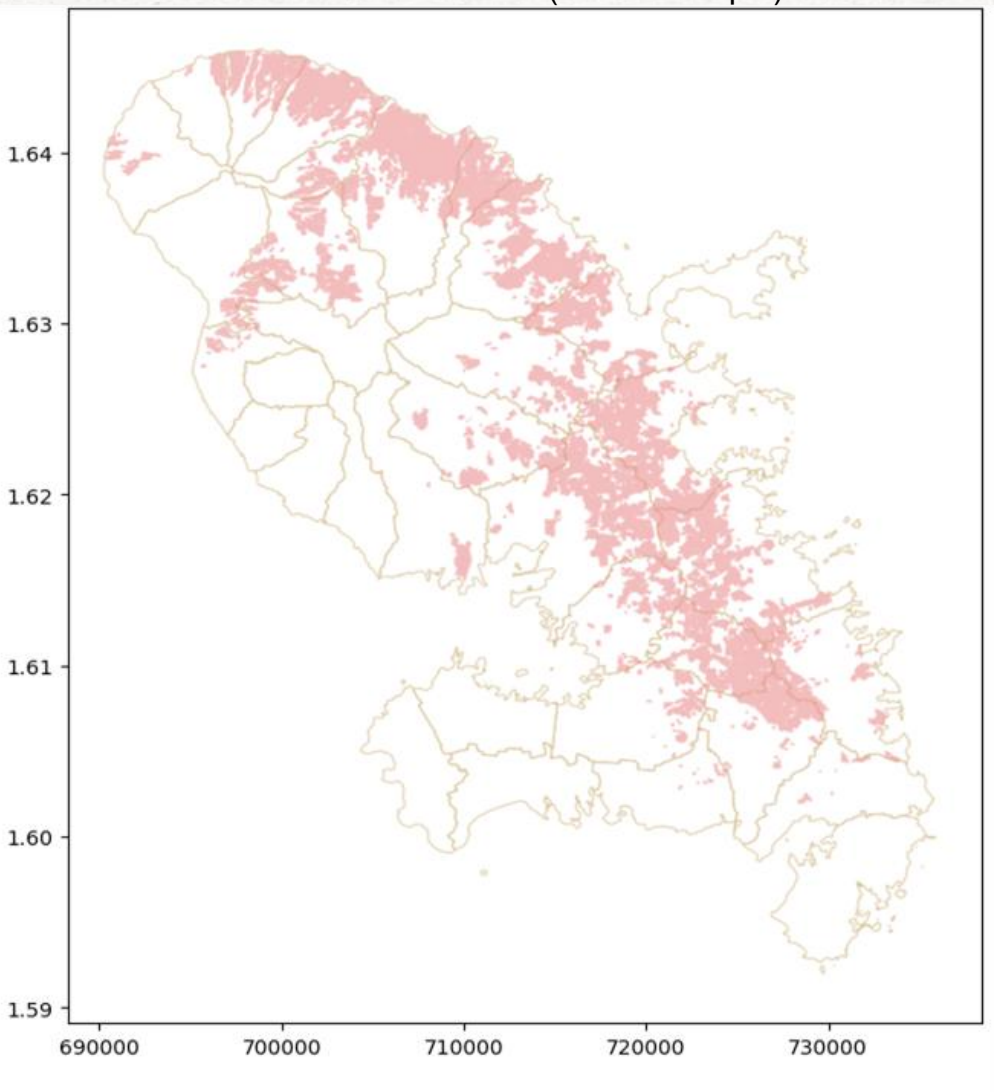
- → **« Effet sol » plausible cohérent avec littérature mais forte variabilité inter-classes**

Résultats : validation qualitative et interprétation spatio-historique

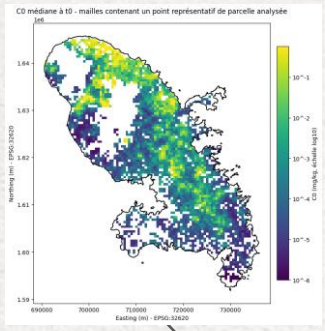


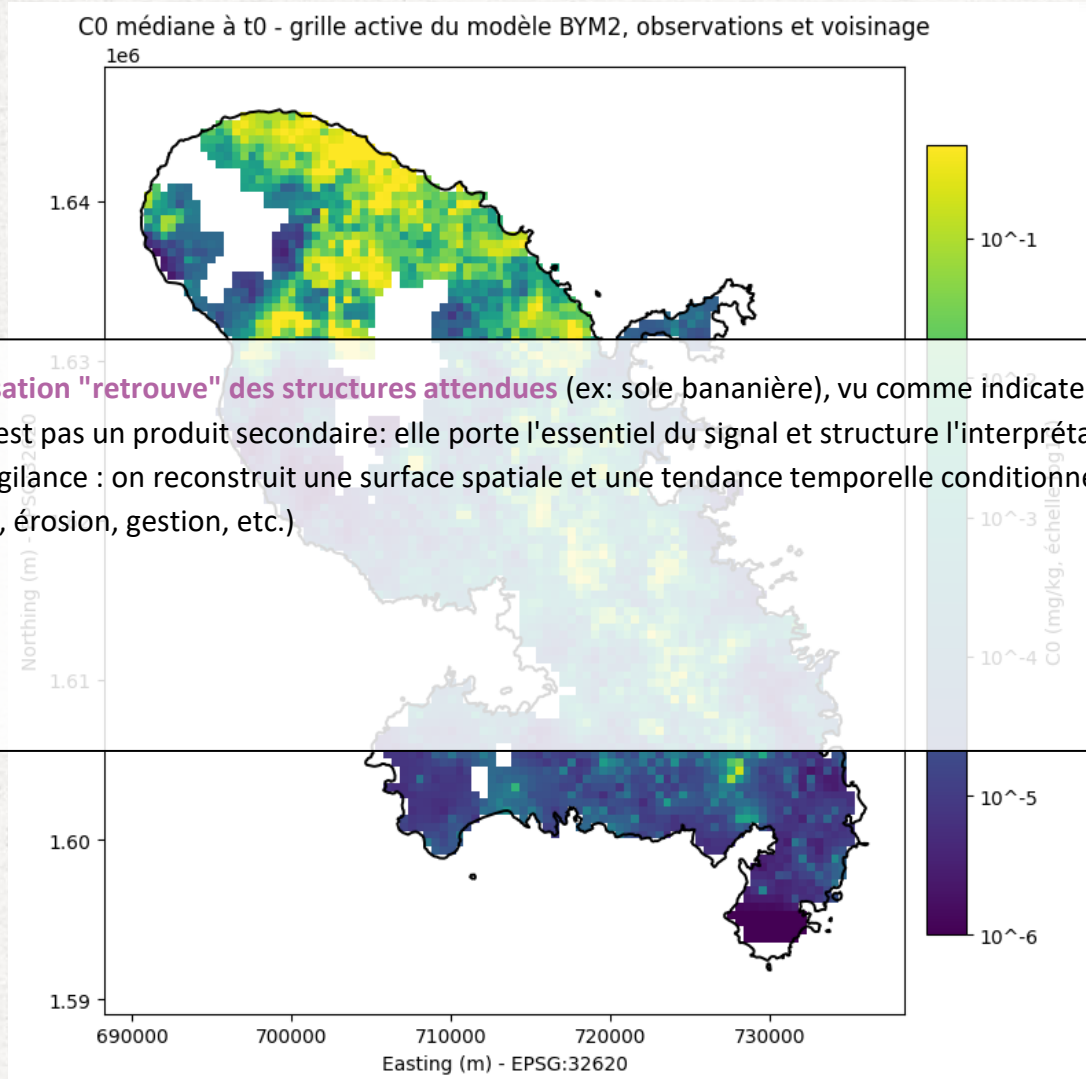


sole bananière (GéoMartinique)

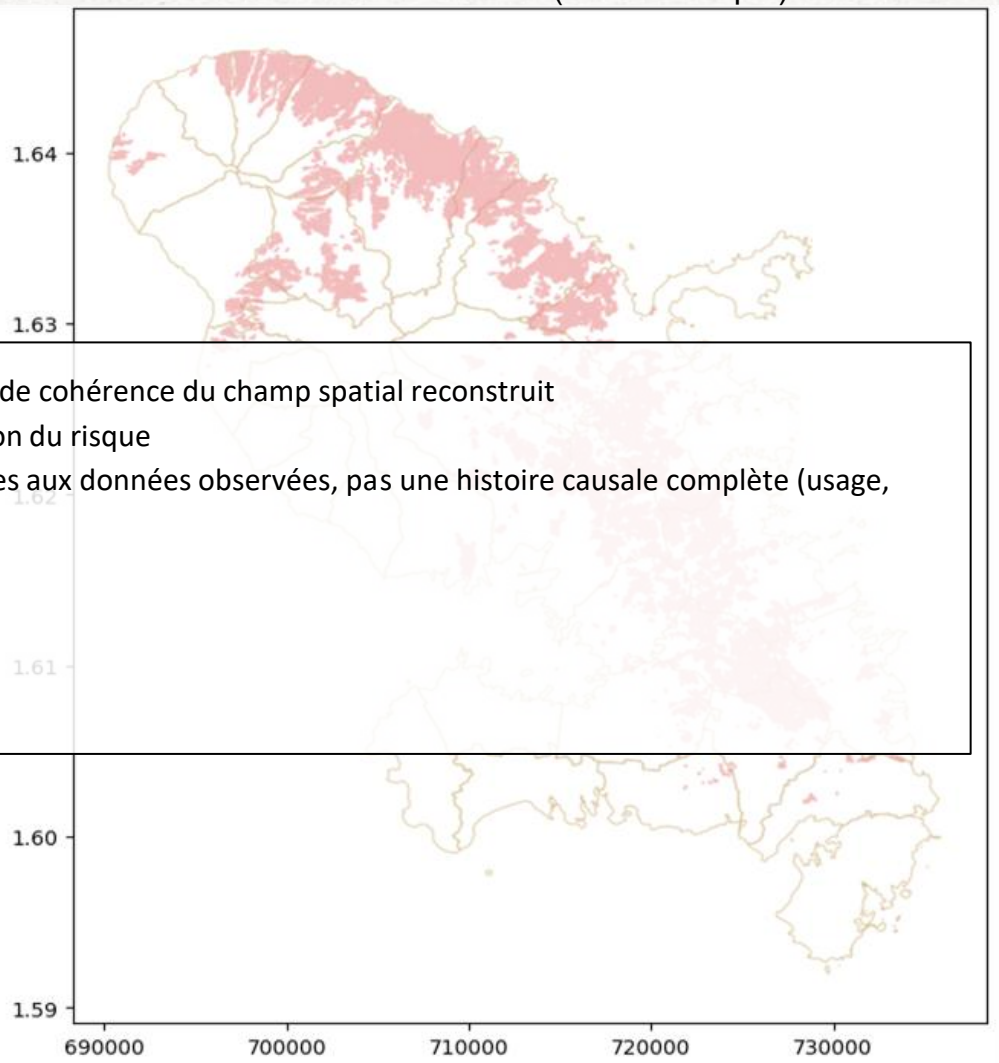


Résultats : validation qualitative et interprétation spatio-historique





sole bananière (GéoMartinique)



- **La modélisation "retrouve" des structures attendues** (ex: sole bananière), vu comme indicateur de cohérence du champ spatial reconstruit
- La carte n'est pas un produit secondaire: elle porte l'essentiel du signal et structure l'interprétation du risque
- Point de vigilance : on reconstruit une surface spatiale et une tendance temporelle conditionnelles aux données observées, pas une histoire causale complète (usage, hydrologie, érosion, gestion, etc.)

Perspectives

Perspectives scientifiques et plan de travail

- Intégrer explicitement **l'effet laboratoire** (inter et intra) pour dissocier tendance environnementale et évolution des méthodes analytiques

- Renforcer l'**identifiabilité des tendances**: revisites ciblées (même sites, plusieurs classes de sols, répétitions temporelles) pour dissocier espace, sols, et temps

- Approfondissements possibles:
    - **Covariables** (histoire d'usage, proxies hydro-topo, érosion) pour réduire la confusion et mieux relier tendance effective et processus
    - **Sensibilités**: Student-t, influence diagnostics, scénarios alternatifs de censure et LD hétérogènes

- Etendre le cadre à la **Guadeloupe** pour comparaison inter-ile et robustesse

- **GT-SOLS** : valoriser ces résultats pour définir les étapes de la phase 2
    - revisite de parcelles, dispositif temporel, expérimentations complémentaires…



Merci de votre attention.