

Evolution des teneurs en cadmium dans les sols français sous cultures annuelles : Scénarios pour le prochain siècle

T. Sterckeman, L. Gossiaux, S. Guimont, C. Sirguey, Z. Lin

Programme VARHYPEX, financement MAAF-CASDAR 2015

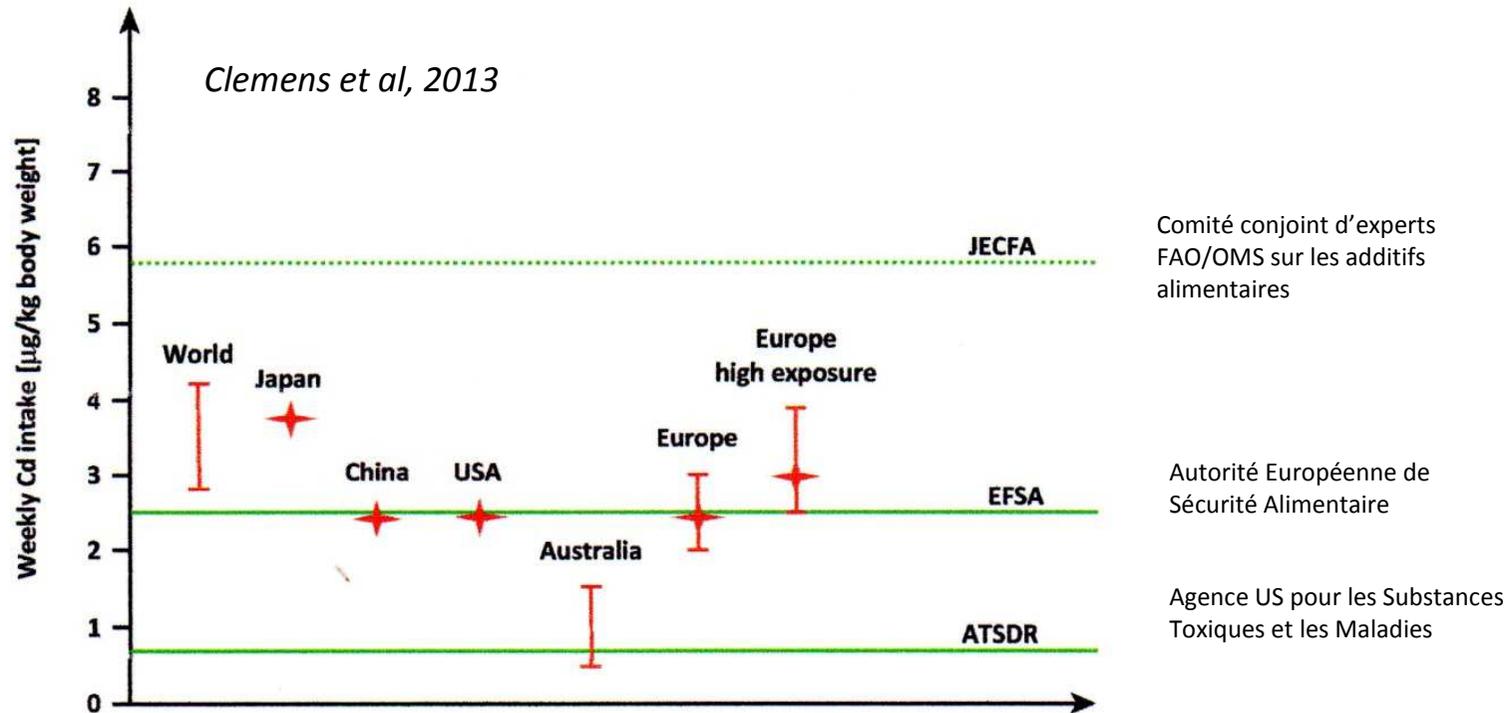


VARHYPEX

Création et production de variétés hyperaccumulatrices de métaux lourds pour la dépollution des sols (phytoextraction)

T. Sterckeman, C. Sirguy, J.-P. Jaubertie, L. Gossiaux, S. Guimont

La contamination des denrées par le Cd



- Le Cd ingéré provient majoritairement des denrées végétales
- Le Cd des végétaux provient de la contamination des sols

La contamination des denrées par le Cd

L 104/80

FR

Journal officiel de l'Union européenne

8.4.2014

RECOMMANDATIONS

RECOMMANDATION DE LA COMMISSION

du 4 avril 2014

sur la réduction de la présence de cadmium dans les denrées alimentaires

(Texte présentant de l'intérêt pour l'EEE)

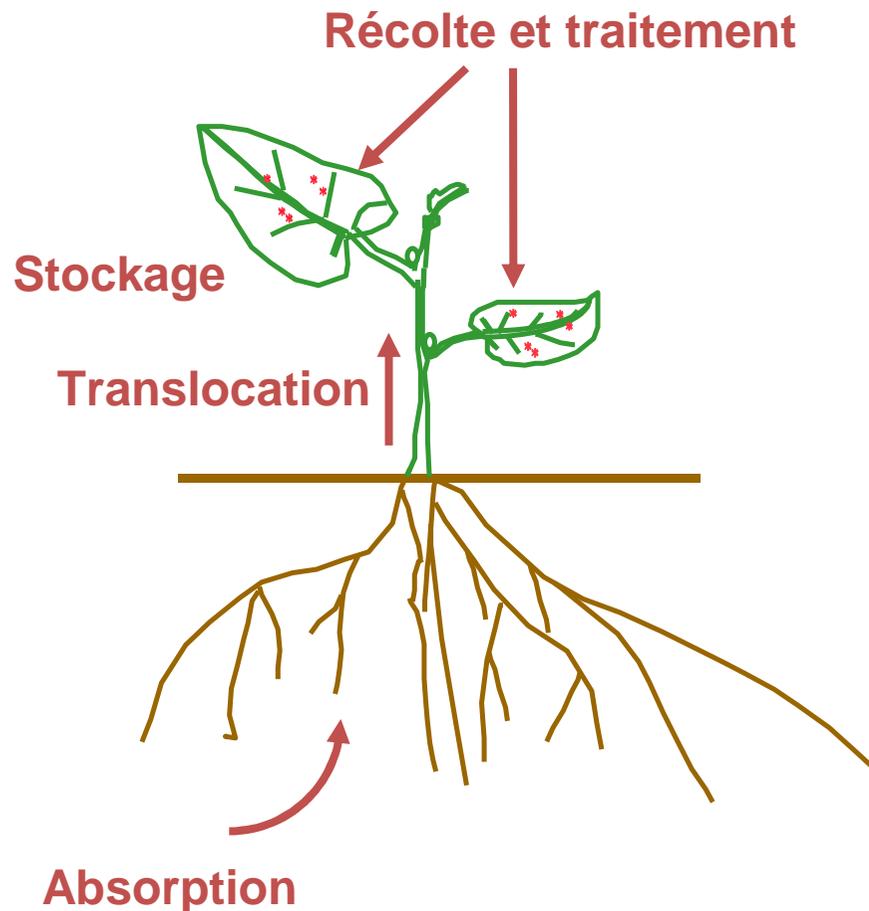
(2014/193/UE)

LA COMMISSION EUROPÉENNE,

A ADOPTÉ LA PRÉSENTE RECOMMANDATION:

1. Les États membres devraient veiller à ce que les mesures existantes de réduction des teneurs en cadmium des denrées alimentaires, en particulier les céréales, les légumes et les pommes de terre, soient progressivement appliquées par les agriculteurs et les exploitants du secteur alimentaire, par exemple en expliquant et en recommandant aux agriculteurs et aux exploitants du secteur alimentaire les méthodes de réduction connues.
2. Lorsqu'il s'avère nécessaire de disposer de connaissances supplémentaires pour déterminer les mesures de réduction appropriées, par exemple pour une culture ou une zone géographique données, les États membres devraient veiller à ce que des enquêtes ou des travaux de recherche soient effectués pour que ces lacunes dans les connaissances soient comblées.

La phytoextraction du Cd



- **Avec une plante hyperaccumulatrice**
 - des essais préliminaires ont démontré son potentiel
- **Dans trois domaines**
 - Dépollution des sols modérément contaminés (1 à 10 mg Cd kg⁻¹)
 - Agriculture : culture intermédiaire piège à métaux
 - Valorisation des sites et déchets miniers : agromine

Noccaea caerulescens



- **Brassicaceae**, autrefois rattachée au genre *Thlaspi*
- Sur les **sols non métallifères** de prairies et lisières forestières des **Ardennes**, des **Vosges**, du **Massif Central**, du **Jura** ou des **Pyrénées**
- Constitutivement **hyperaccumulatrice de Zn**
- Certains génotypes adaptés aux **sols nickelifères** (sols de serpentines)
- **Génotypes calaminaires** adaptés aux sols ou lourdement enrichis en Zn, Pb et Cd (miniers ou métallurgiques)
- **Espèce qui accumule le plus de Cd**, dont les génotypes sont en France
- Fort taux **d'autofécondation**

Noccaea caerulescens



- Brassicaceae, autrefois rattachée au genre *Thlaspi*
- Sur les sols non métallifères de prairies et lisières forestières des Ardennes, des Vosges, du Massif central, du Jura ou des Pyrénées

- **Aucune application commerciale de la phytoextraction**
- **Principal verrou : absence de production de semences d'hyperaccumulateur amélioré**



- Sur sols ou lourdement enrichis en Zn, Pb et Cd (miniers ou métallurgiques)
- Espèce qui accumule le plus de Cd, dont les génotypes sont en France
- Fort taux d'autofécondation

Objectifs du projet VARHYPEX

- Etude **prospective** (2 ans, 23 k€).
 - Etudier la faisabilité du développement commercial de la phytoextraction du Cd
 - Définir les conditions du développement d'une filière de création de cultivars et de production de semences d'hyperaccumulateurs de métaux
 - Donner des orientations de R & D en matière de sélection, de multiplication, de traitement de la biomasse
- Basée en partie sur des **scénarios de bilan en Cd** dans les sols agricoles, sous culture annuelle

Modèle du bilan de Cd dans les sols

$$[\text{Cd}]_{\text{sol},n} = [\text{Cd}]_{\text{sol},n-1} + \frac{(Q_{\text{Ent}} - Q_{\text{Sor}}) * 1000}{M_{\text{sol}}}$$

$$Q_{\text{Ent}} = Q_{\text{atm}} + Q_{\text{pho}} + Q_{\text{cal}} + Q_{\text{org}}$$

$$Q_{\text{Sor}} = Q_{\text{lix}} + Q_{\text{rec}} (+Q_{\text{phy}})$$

- Pas de temps annuel
- Dans les 25 cm superficiels (horizon labouré)
- SAU sous culture annuelle (« grande culture »)
- Pour la France entière
- Pour chacune de ses 22 régions administratives
- Chaque unité spatiale assimilée à une parcelle aux propriétés et pratiques culturelles homogènes
- Caractérisée par des paramètres correspondant aux moyennes des variables obtenues dans les bases de données

Les scénarios simulés

- **PAA** : pratiques agricoles actuelles
- **BPF** : raisonnement de la fertilisation P et N selon COMIFER
- **UE** : PAA + réduction progressive du Cd dans l'engrais selon réglementation UE
- **BPUE** : BPF + réglementation UE
- **BIO** : conversion à l'agriculture biologique
- **BIOUE** : BIO + réglementation UE
- Simulés pour les **100 prochaines années**

Les postes du bilan

- $Q_{atm} : 0,2 \text{ g ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$

- $Q_{pho} = M_{pho} * [Cd]_{pho}$

- M_{pho} : données statistiques pour PAA

- $M_{pho} = P_{rec} Y C_r - P_{org}$ pour BPF et BIO (COMIFER)

- avec $P_{org} = \sum_{i=1}^n m_i P_{org_i} K_{eq_i}$

- $[Cd]_{pho}$

- Scénario PAA : $51 \text{ mg Cd (kg P}_2\text{O}_5)^{-1}$ (Nziguheba & Smolders, 2008)

- Scénario BIO : $47 \text{ mg Cd (kg P}_2\text{O}_5)^{-1}$

- Scénario UE : 51 (3 ans), 40 (9 ans), 20 $\text{mg Cd (kg P}_2\text{O}_5)^{-1}$

Les postes du bilan

- $Q_{org} = R_N \sum_{i=1}^n m_{org_i} Cd_{org_i} K_{Cd_i}$
 - $R_N = 1$ pour scénario PAA
 - $R_N \leq 1$ pour scénario BPF et BIO (COMIFER)
- $Q_{cal} = 0,02 \text{ g ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$ (ANPEA)
- $Q_{rec} = [Cd]_{rec} Y = TF [Cd]_{sol} Y$
avec $TF = \frac{[Cd]_{rec}}{[Cd]_{sol}}$

Les postes du bilan

- $Q_{lix} = 10 W_{lix} [Cd]_w$

avec $[Cd]_w = \frac{[Cd]_{sol}}{K_D}$

et $\log(K_D) = -0.94 + 0.51pH_{CaCl_2} + 0.79\log(C_{org})$

d'après Six et Smolders, 2014, non validé exp.

W_{lix} : Météo France (modèle SAFRAN-ISBA-MODCOU)

- Après comparaison à données de lixiviation du Cd en plein champ (SOERE-PRO, litt.)

- $Q_{lix} = 10 W_{lix} [Cd]_w / 6$ (Colmar, Suède)

- $Q_{lix} = 10 W_{lix} [Cd]_w / 12$ (Feucherolles)

Les postes du bilan

- $Q_{lix} = 10 W_{lix} [Cd]_w$

avec $[Cd]_w = \frac{[Cd]_{sol}}{K_D}$

et $\log(K_D) = -0.94 + 0.51pH_{CaCl_2} + 0.79\log(C_{org})$

d'après Six et Smolders, 2014, non validé exp.

W_{lix} : Météo France (modèle SAFRAN-ISBA-MODCOU)

- Après comparaison à données de lixiviation du Cd en plein champ (SOERE-PRO, litt.)

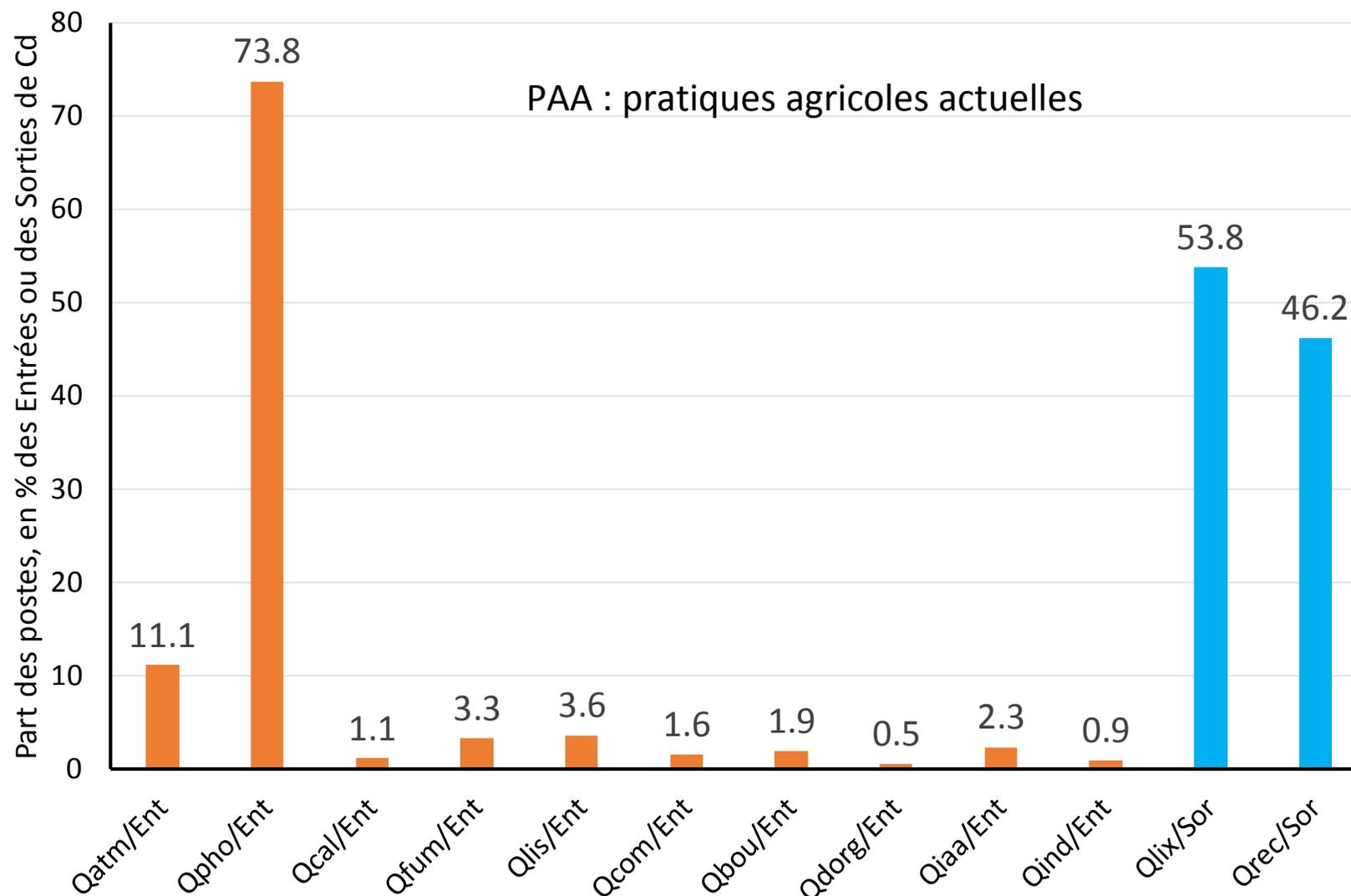
- $Q_{lix} = 10 W_{lix} [Cd]_w / 6$ (Colmar, Suède)

- $Q_{lix} = 10 W_{lix} [Cd]_w / 12$ (Feucherolles)

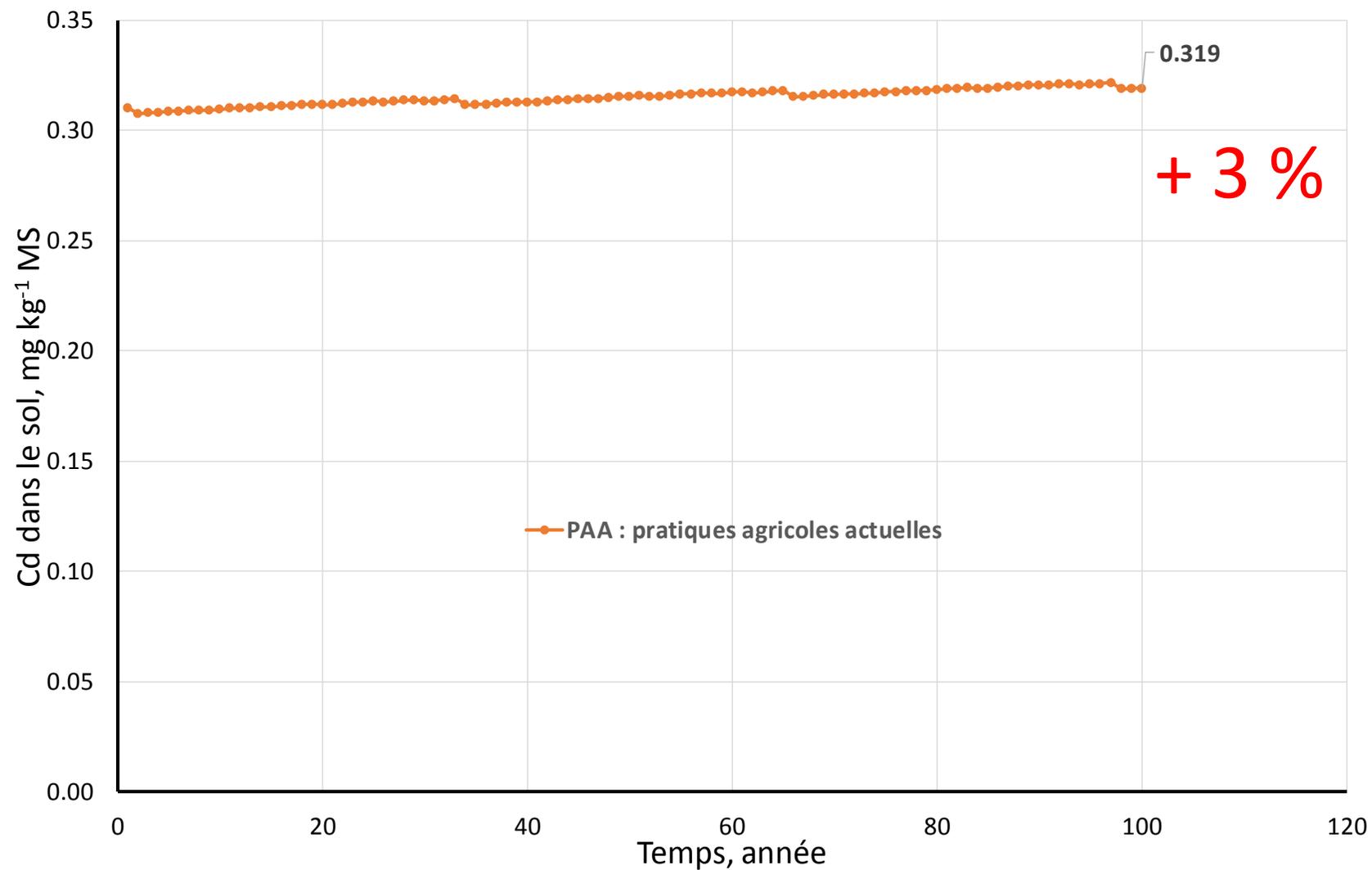
Les sources de données

- **GIS SOL**
 - BDETM : Cd initial
 - BDAT : pH, C org., argile, carbonates, P Olsen
- **AGRESTE** : SAU, rendements, rotations, fertilisation P des cultures
- **FranceAgriMer** : quantités de fumier, lisier, CDVOM
- **Ministère de l'Environnement** : quantités de boues de STEP
- **Houot et al. 2014, ESCo MAFOR (INRA, CNRS, IRSTEA)**
 - Teneurs Cd, N, P dans les MAFORs
 - Quantités de déchets industriels
- **Arvalis et COMIFER**
 - Teneur en P dans les récoltes, seuils de diagnostic P des sols, K_{eq_i}
- **Météo-France** : pluie efficace
- **SOERE-PRO** : données de lixiviation des essais de Feucherolles et Colmar
- **ANPEA** : données de chaulage
- **Littérature scientifique** : TF, Cd des engrais P

Part des postes dans le bilan



Evolution des teneurs en Cd



Les connaissances actuelles

ABSTRACT

The gradual increase of environmental legislation during the period 1980–1995 produced a 40% reduction in Cd outputs via crop uptake in EU-27 + Norway (EU-27) by 40%. The current me

than values used in the previous EU mass balances ($\sim 3 \text{ g Cd ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$). Leaching of Cd was estimated with most recent data of soil solution Cd concentrations in 151 soils, which cover the range of European soil properties. No significant time trends were found in the data of net applications of Cd via manure, compost, sludge and lime, all being small sources of Cd at a large scale. Modelling of the future long-term changes in soil Cd concentrations in agricultural top soils under cereal or potato culture predicts soil Cd concentrations to decrease by 15% over the next 100 years in an average scenario, with decreasing trends in some scenarios being more prevalent than increasing trends in other scenarios. These Cd balances have reverted from the general positive balances estimated 10 or more years ago. Uncertainty analysis suggests that leaching is the most uncertain relative to other fluxes.

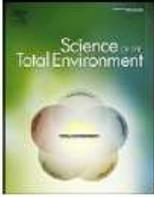
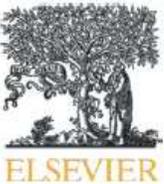
© 2014 Elsevier B.V. All rights reserved.

Science of the Total Environment 485–486 (2014) 319–328

Contents lists available at ScienceDirect

Science of the Total Environment

journal homepage: www.elsevier.com/locate/scitotenv



Future trends in soil cadmium concentration under current cadmium fluxes to European agricultural soils

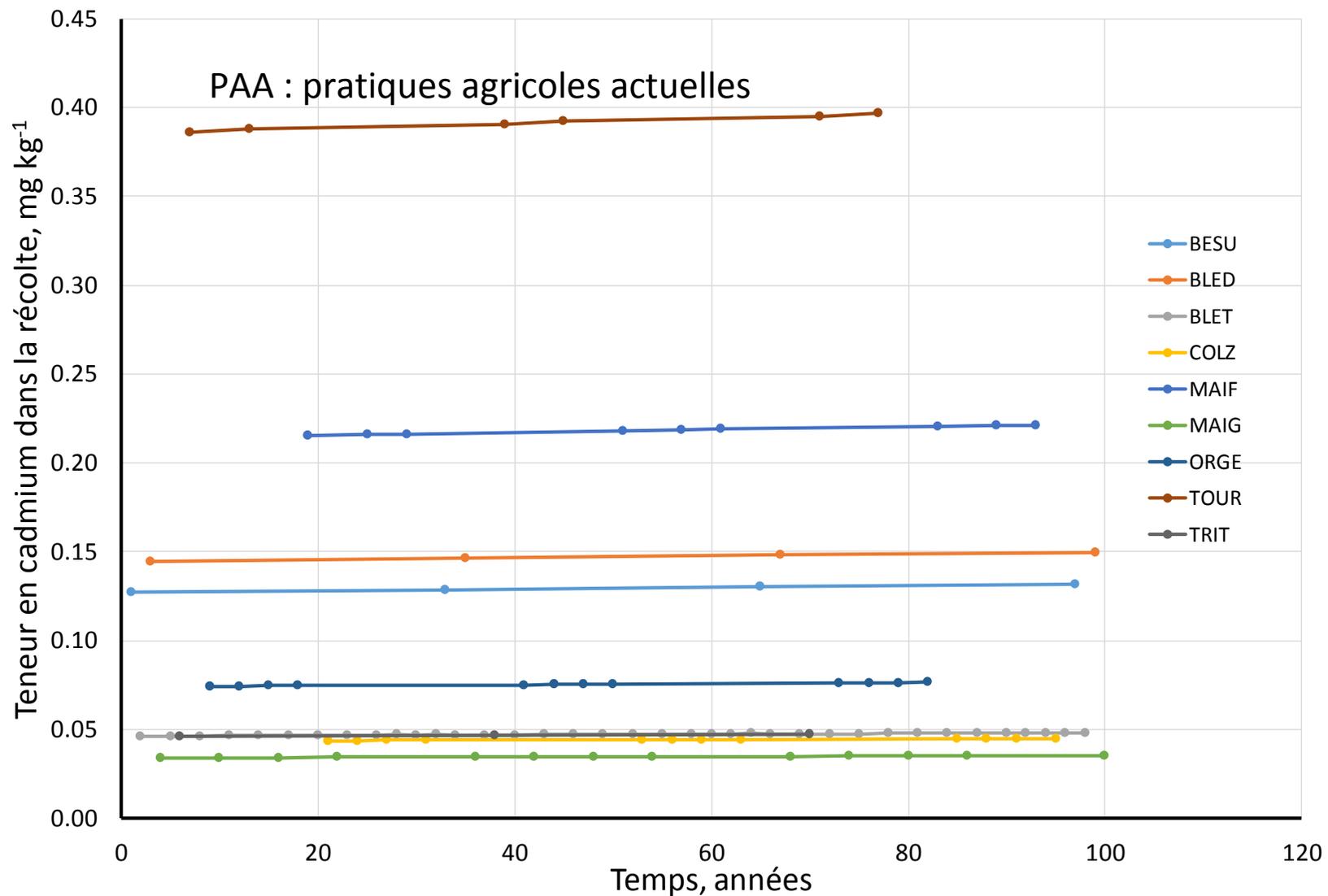
L. Six, E. Smolders*

Department of Earth and Environmental Sciences, Division of Soil and Water Management, K.U. Leuven, Kasteelpark Arenberg 20, 3001 Heverlee, Belgium

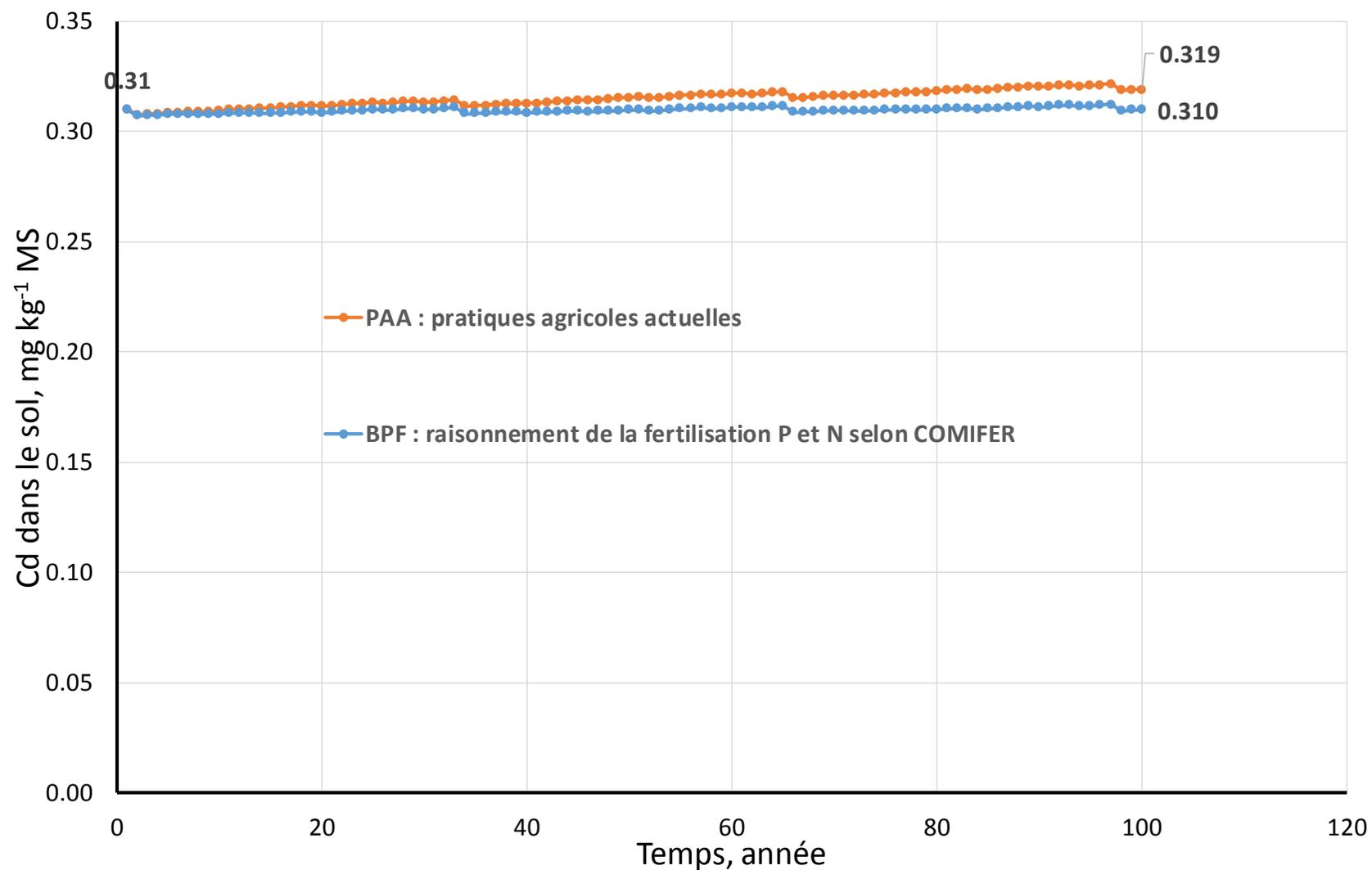
Acknowledgements

We acknowledge Fertilizers Europe for financing this study.

Evolution des teneurs en Cd



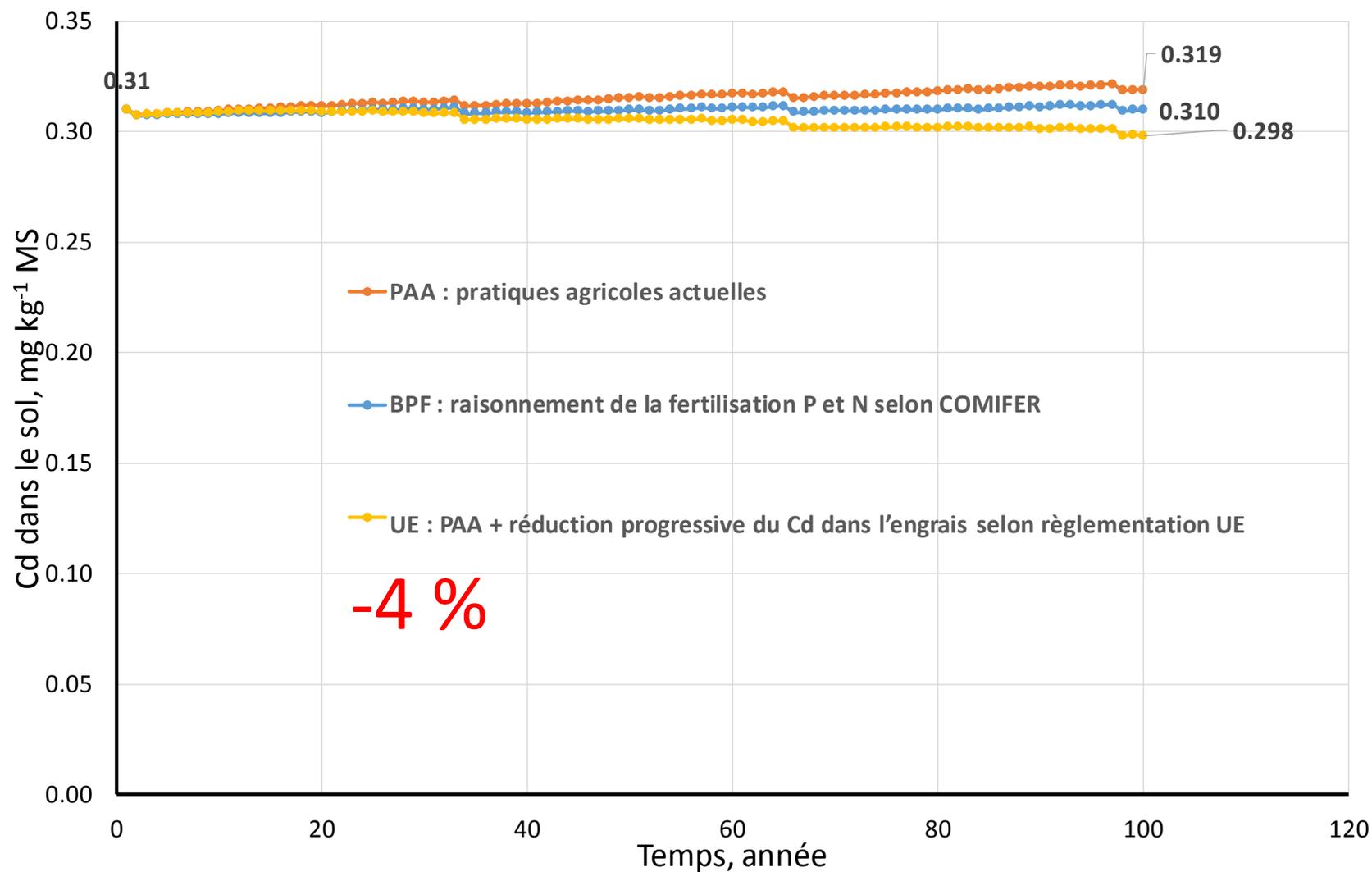
Evolution des teneurs en Cd



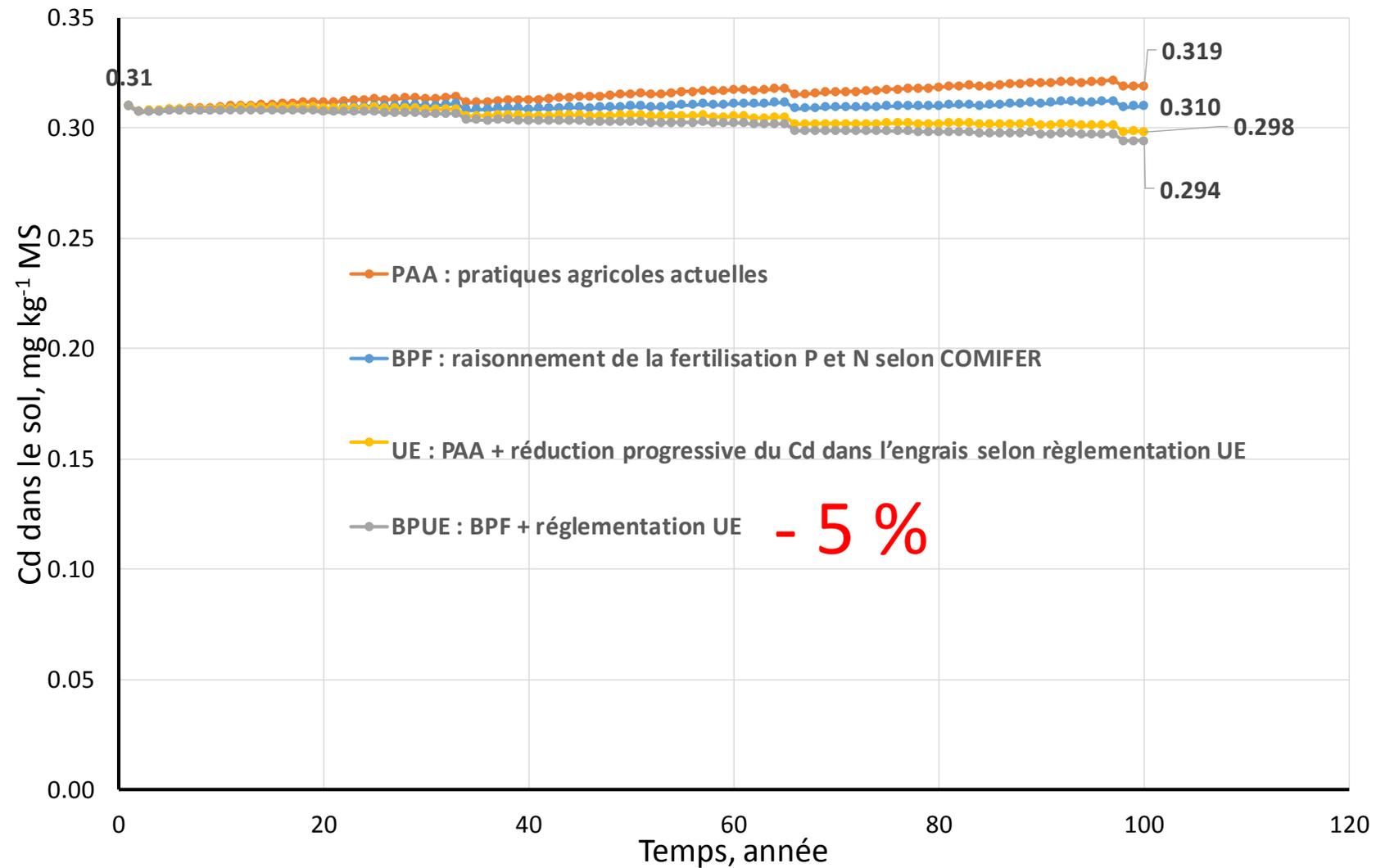
Sur-fertilisation phosphatée

Unité spatiale	PAA	BPF	Variation
	kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹ (100 ans) ⁻¹		%
Alsace	5492	3830	-30
Aquitaine	4787	2195	-54
Auvergne	2801	1439	-49
Bourgogne	3513	2245	-36
Bretagne	1920	2395	25
Centre	3557	3994	12
Champagne-Ardenne	4349	3851	-11
Corse	3271	4464	36
Franche-Comté	3736	1788	-52
Ile de France	2004	3173	58
Languedoc-Roussillon	2873	2828	-2
Limousin	1736	1075	-38
Lorraine	2887	1885	-35
Midi-Pyrénées	3325	1946	-41
Nord-Pas de Calais	2645	1763	-33
Basse-Normandie	2258	1180	-48
Haute-Normandie	2403	2797	16
Pays de Loire	1357	690	-49
Picardie	1757	4097	133
Poitou-Charentes	2202	2376	8
Provence-Alpes- Côte d'Azur	1864	2728	46
Rhône-Alpes	3015	2067	-31
France (moyenne des Regions)	2807	2458	-12
France (bilan niveau nat.)	2788	2098	-25

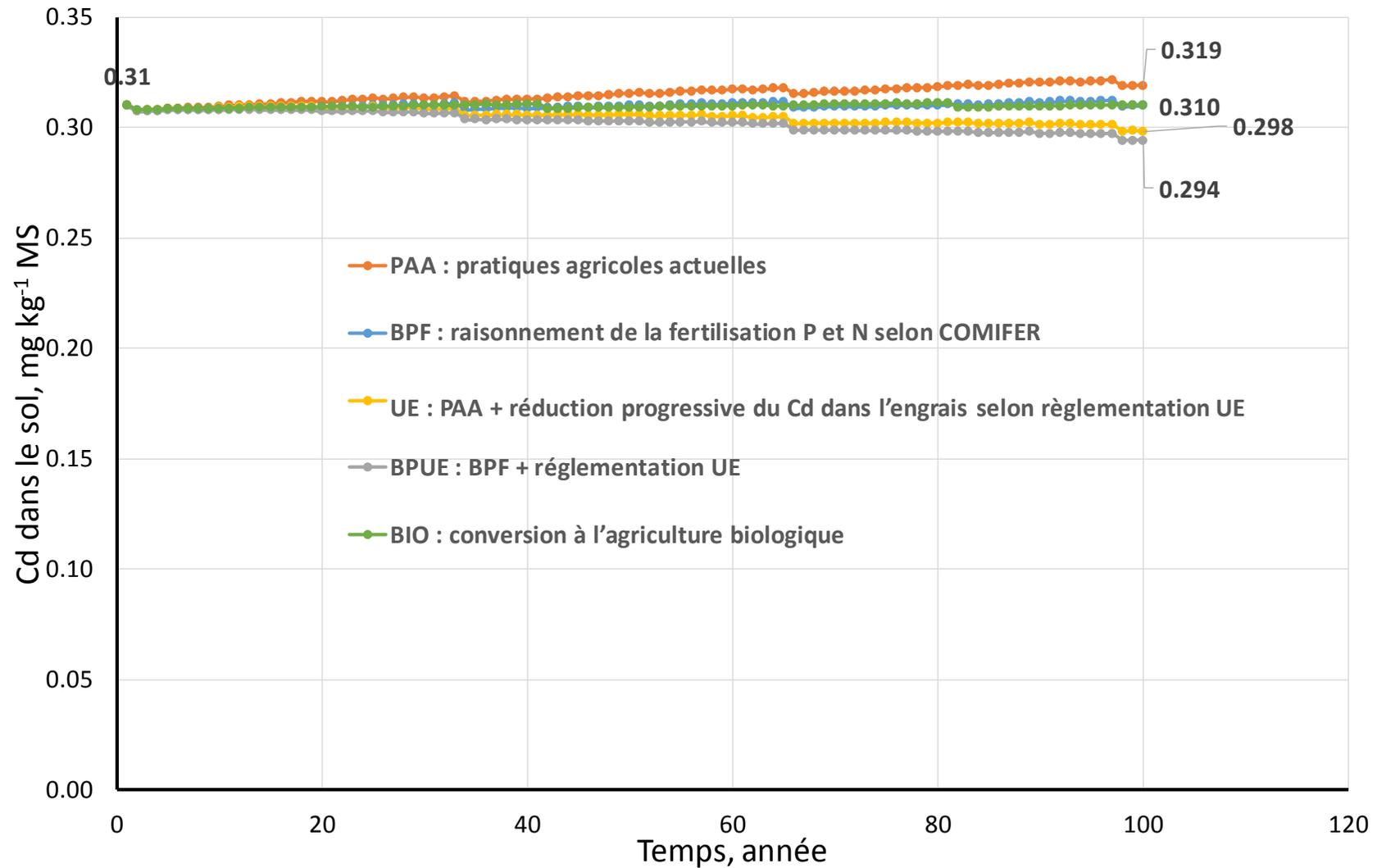
Evolution des teneurs en Cd



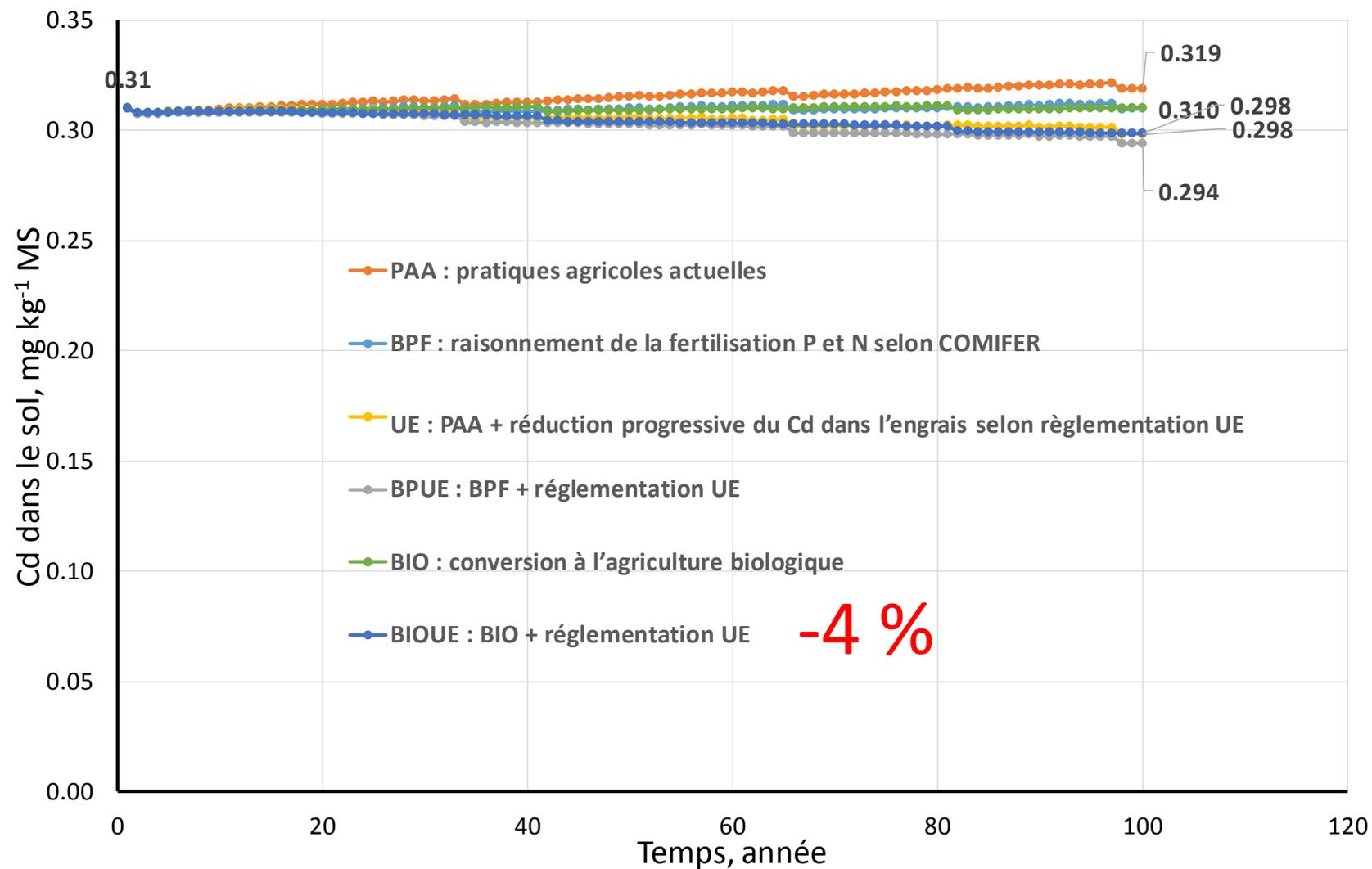
Evolution des teneurs en Cd



Evolution des teneurs en Cd



Evolution des teneurs en Cd

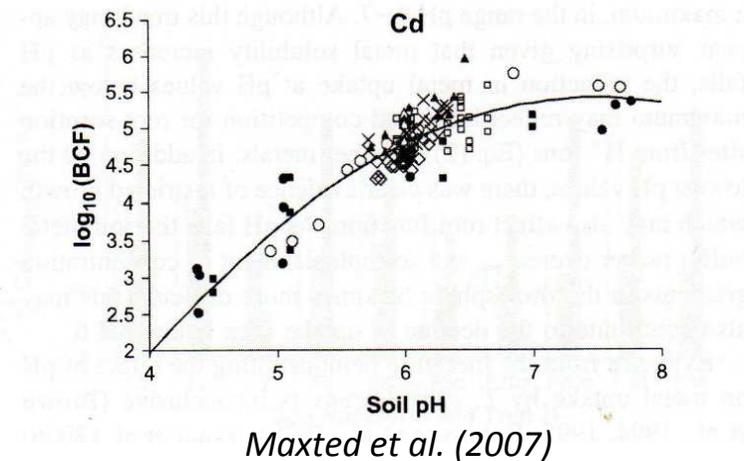


Modèle de phytoextraction du Cd

$$Q_{phy} = [Cd]_{PA} MS_{PA}$$

$$[Cd]_{PA} = BCF_{Cd} [Cd^{2+}]$$

$$BCF_{Cd} = 10^{(-0,281 pH_{sol}^2 + 4,21 pH_{sol} - 10,39)} \quad r^2 = 0,80$$



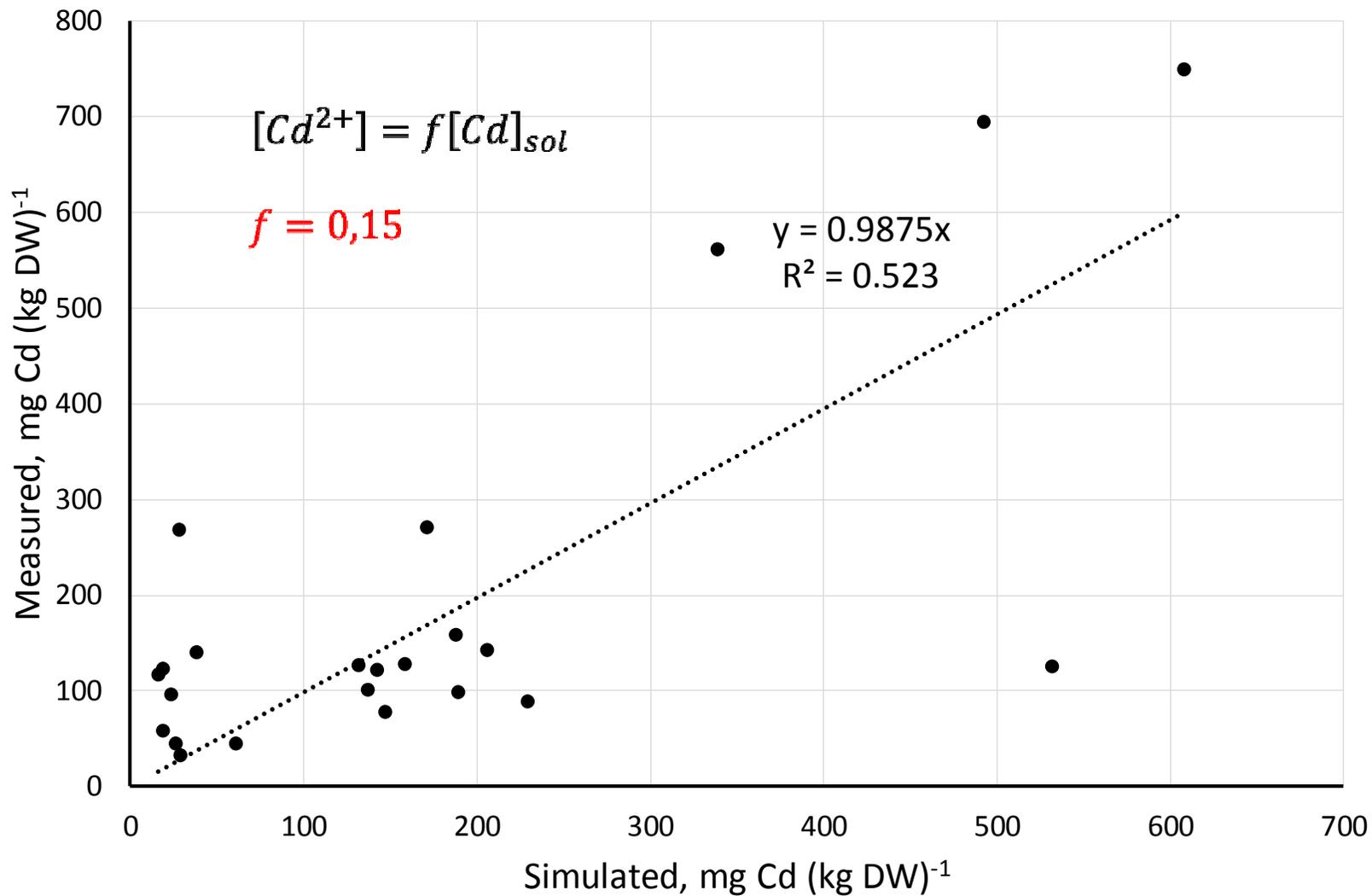
$$[Cd^{2+}] = f [Cd]_{sol}$$

$$[Cd]_{sol} = \frac{[Cd]_{sor}}{K_D}$$

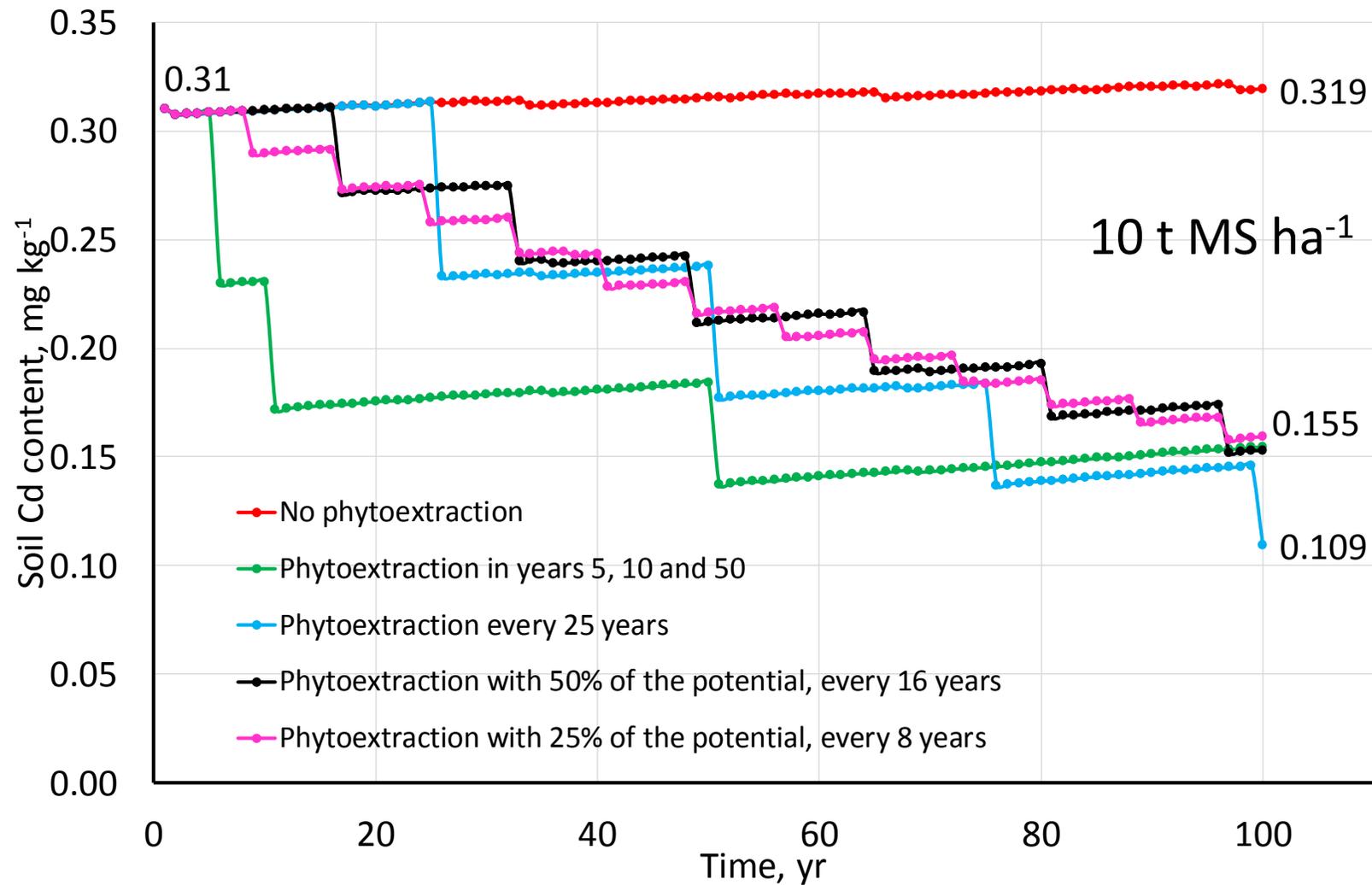
$$\log(K_D) = -0,94 + 0,51 pH_{sol} CaCl_2 + 0,79 \log(C_{org}) \quad r^2 = 0,71$$

Six et Smolders (2014)

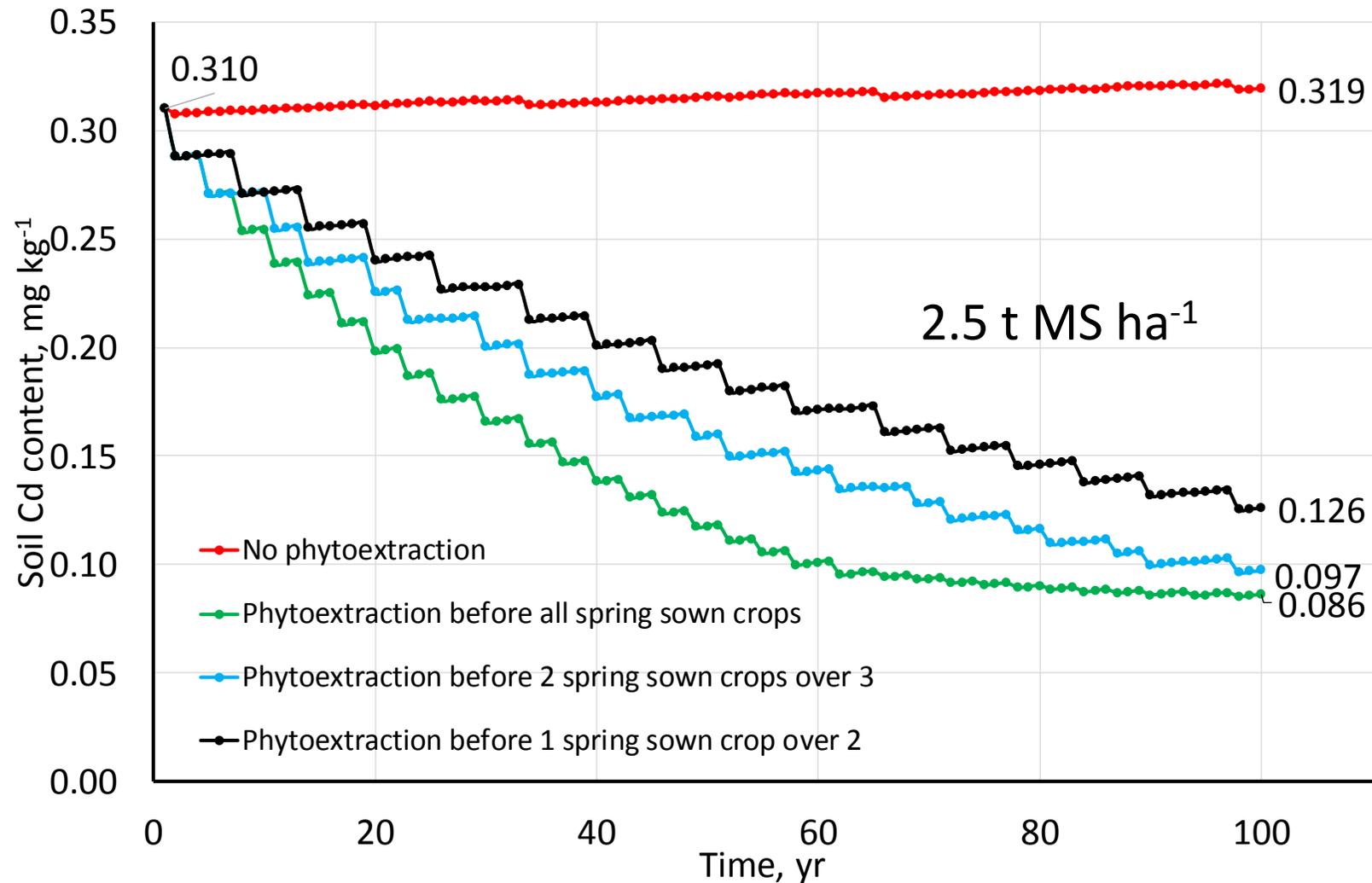
Modèle de phytoextraction du Cd



Evolution des teneurs en Cd



Evolution des teneurs en Cd



Conclusions

- En France, les engrais P représentent environ 74 % des apports de Cd au sol
- Le maintien des pratiques actuelles conduirait à une augmentation des teneurs en Cd de 3 à 5 % après 100 ans
- La réduction du Cd dans l'engrais P selon la proposition UE abaisserait les teneurs du sol de 2 à 4 %
- Réduire le Cd dans l'engrais et la surfertilisation P abaisserait les teneurs du sol de 3 à 5 % (pour un surcoût très faible)
- Nécessité de vérifier les pertes par lixiviation
- Pour réduire l'exposition au Cd
 - Diminution du Cd dans les engrais et de la fertilisation P,
 - Hausse du pH et MO du sol,
 - Sélection de variétés peu accumulatrices de Cd,
 - Phytoextraction du Cd en culture intermédiaire.

Merci de votre attention !