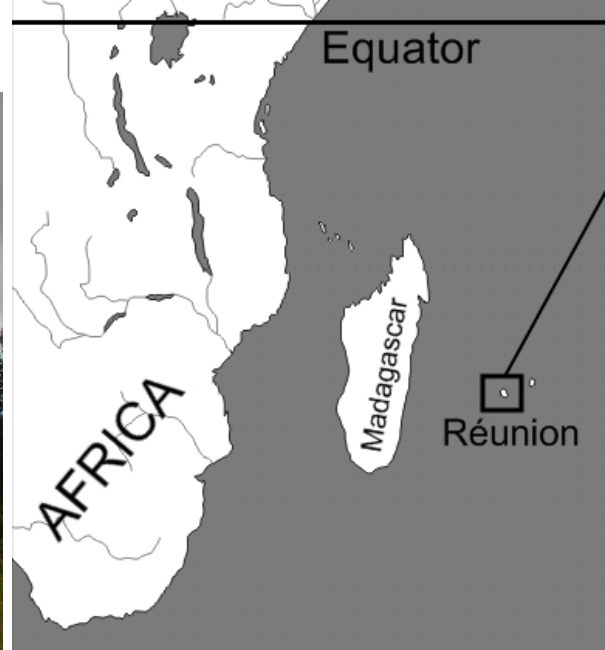


Frédéric Feder,
unité « recyclage
et risque », Cirad.
séminaire réseau
Reuse, Inrae, 25
mai 2022.



La Reuse pour l'irrigation en conditions climatiques humides : retour sur un projet de Reuse à La Réunion et impact sur les sols et les rendements des cultures





- Éléments de contexte (La Réunion, le projet, les objectifs)
- Expérimentation sur une culture de canne à sucre en plein champ
- Expérimentation, en conditions contrôlées, en colonnes de sols remaniés
- Irrigation with treated wastewater in humid regions: Effects on Nitisols, sugarcane yield and quality, Agricultural Water Management. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106733>






Piton des neiges

Carte géologique simplifiée
en relief de la Réunion :

-Formations du
Piton des Neiges :

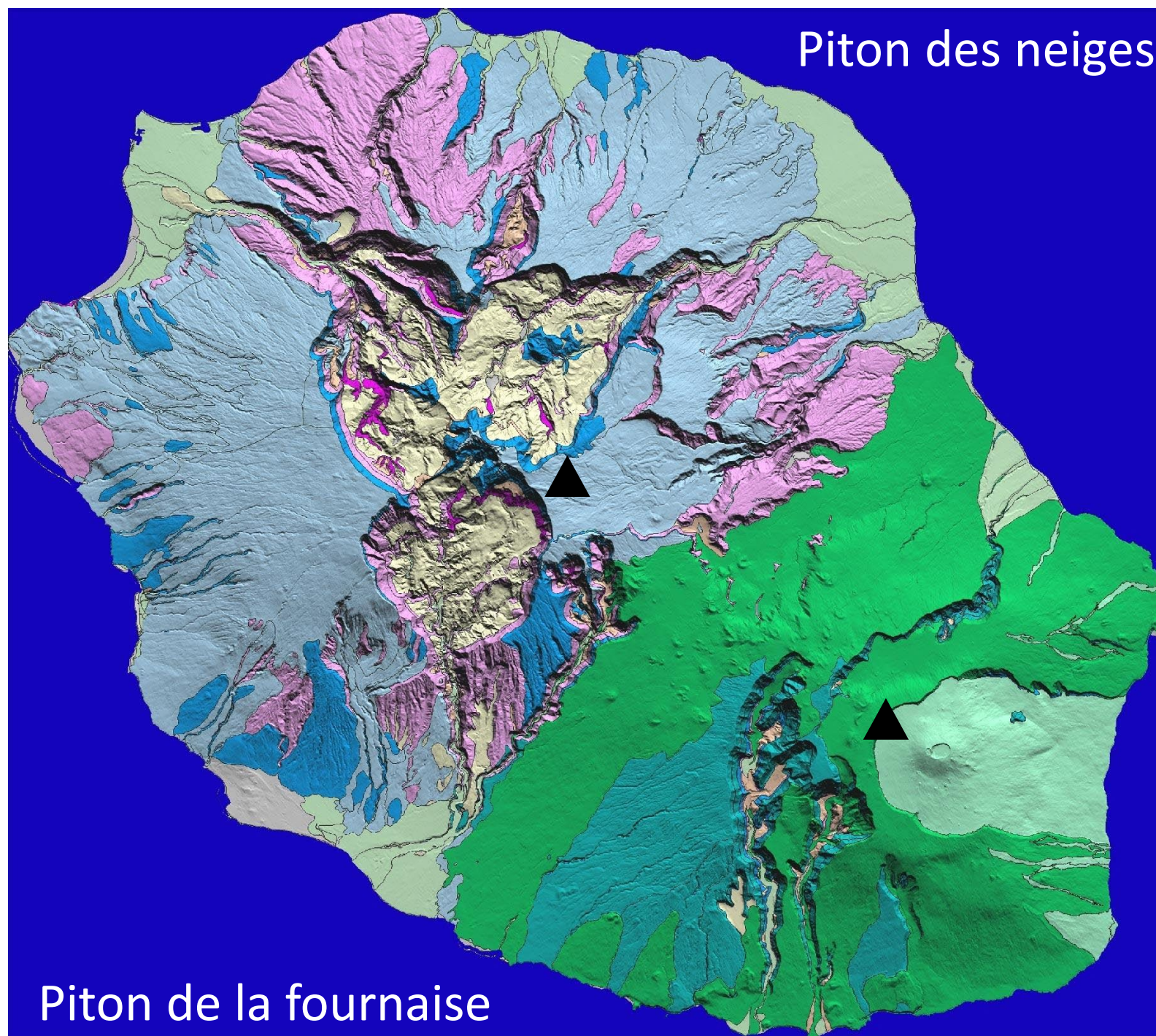
-  Phase 4
(70 000 à 230 000 ans)
-  Phase 3
(250 000 à 350 000 ans)
-  Phase 2
(430 000 à 2 100 000 ans)
-  Phase 1
(> 2 100 000 ans)

-Formations du
Piton de la Fournaise :

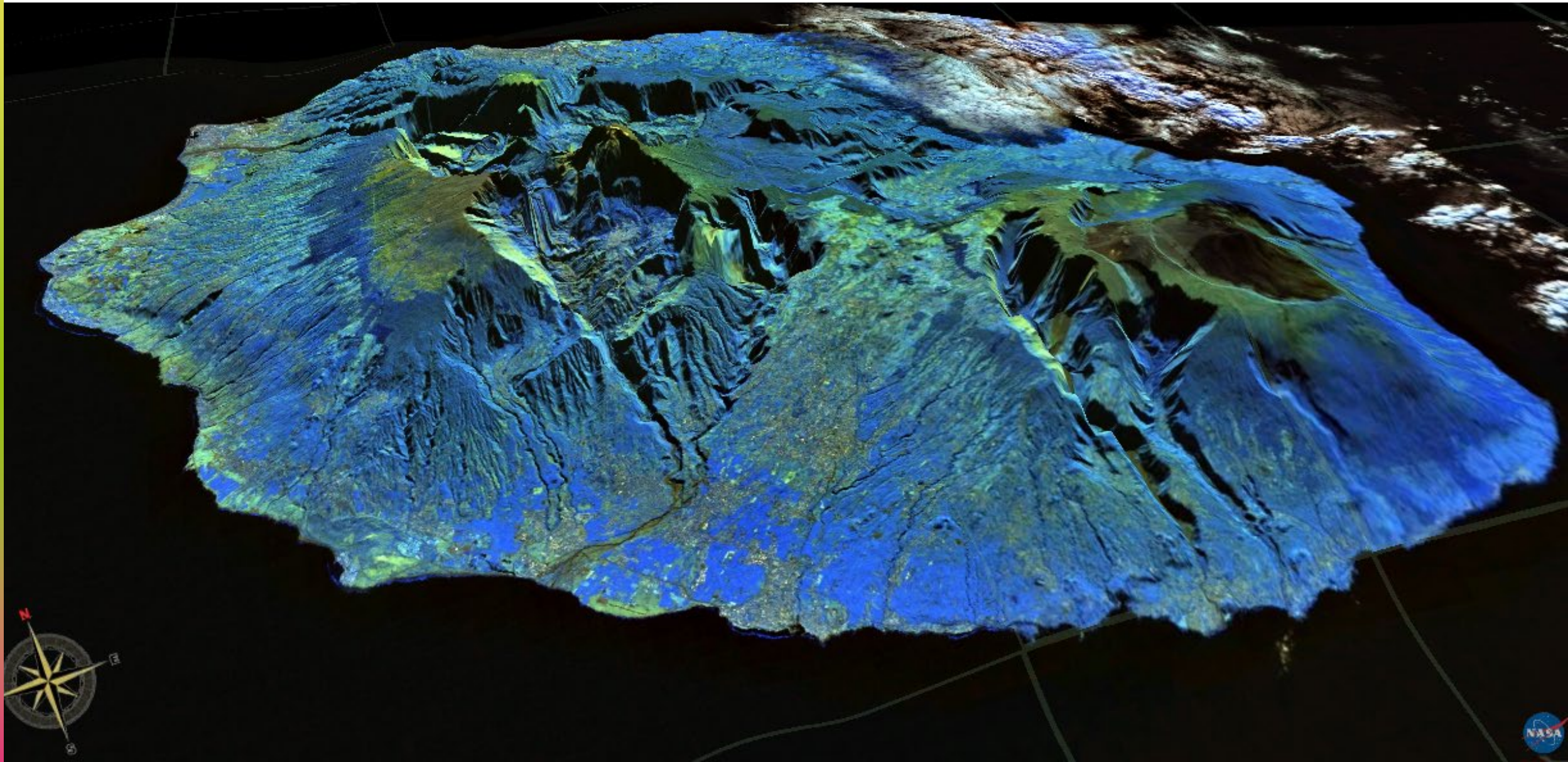
-  Phase 5
(actuelle à sub-actuelle)
-  Phase 4
-  Phase 3

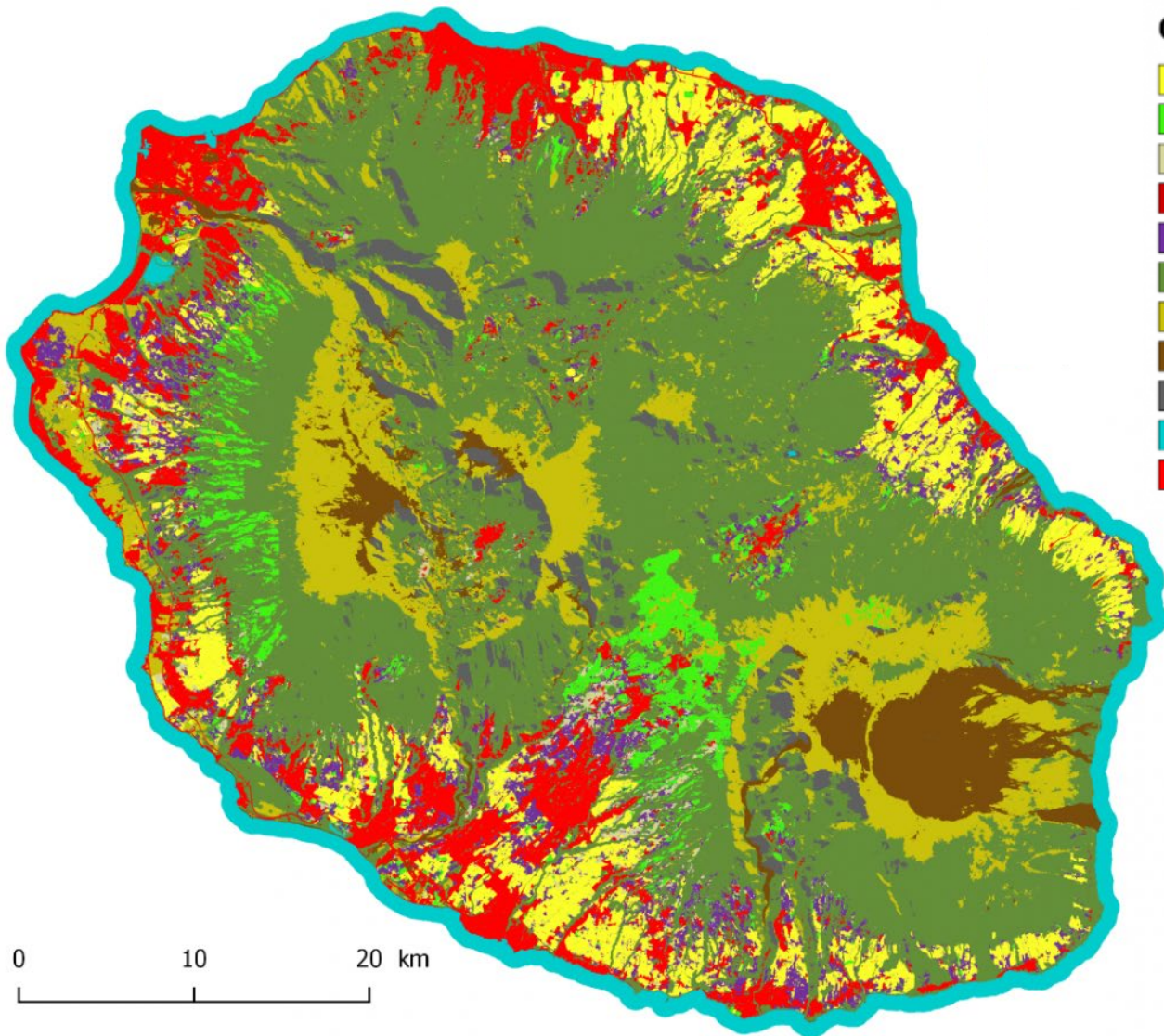
-Autres :

-  Lahars, Tufs ...
-  Alluvions diverses
-  Eboulis divers
-  Divers (dépos lacustres,
travertin, ... etc)



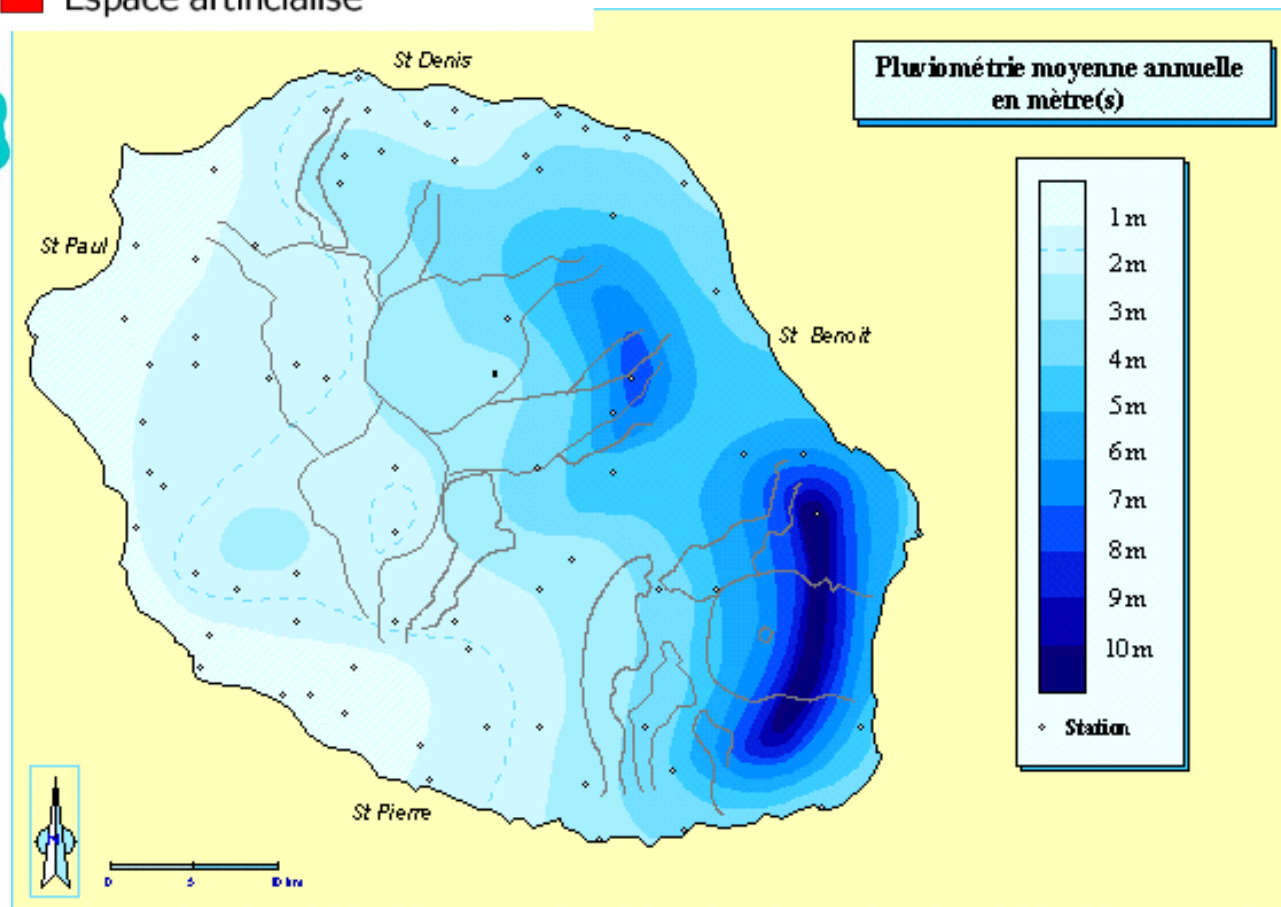
Piton de la fournaise

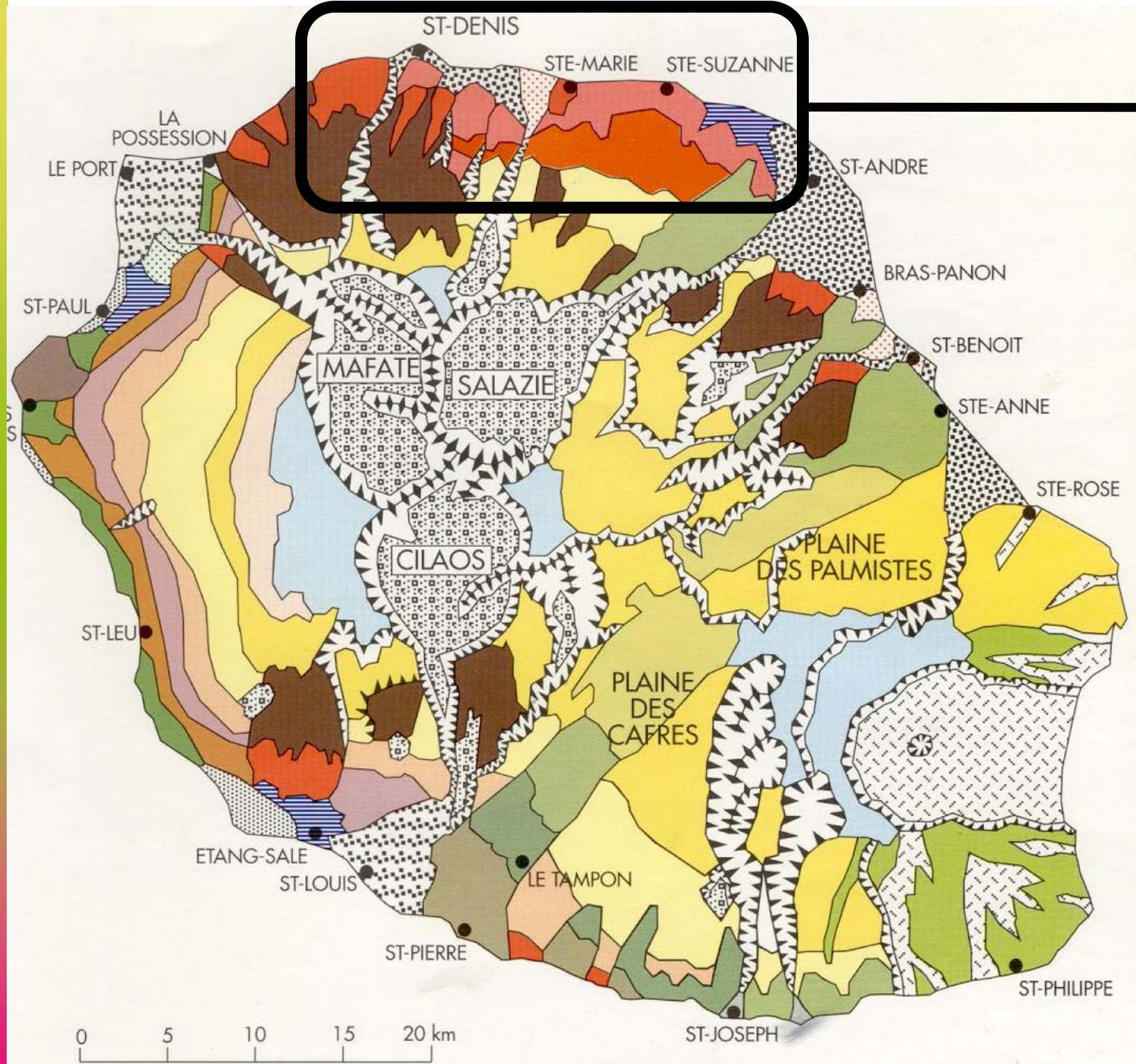




Classification de niveau 2

- Canne a sucre
- Pâturage et fourrage
- Maraichage
- Culture sous serre ou ombrage
- Arboriculture
- Espace boisé
- Landes et savane
- Rocher et sol nu naturel
- Ombre due au relief
- Eau
- Espace artificialisé





Cinor : communauté de communes du nord de La Réunion (210 000 hab.)

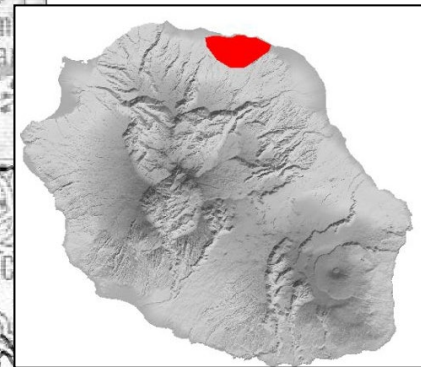
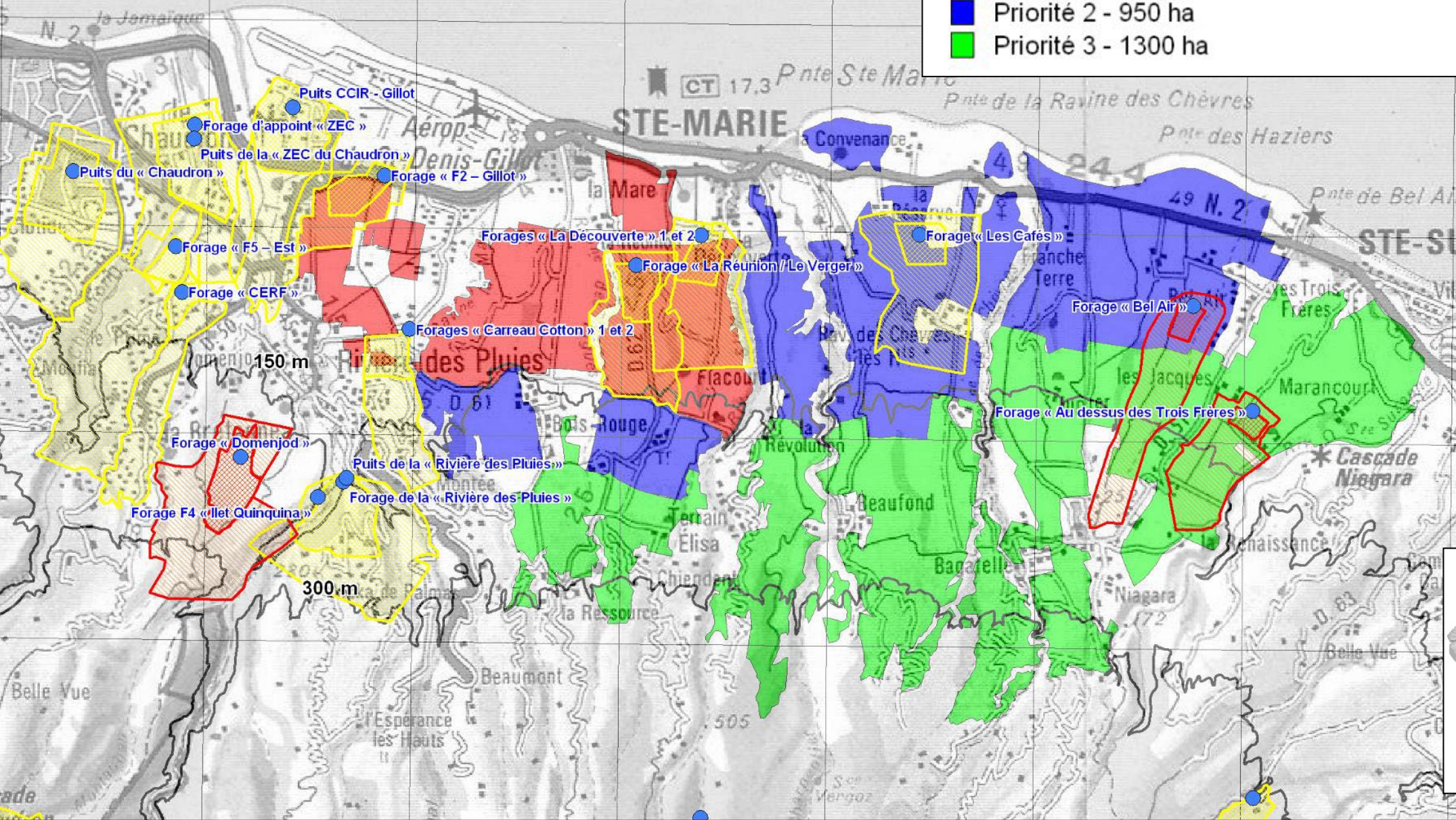
En 2010, la Cinor décide de construire une nouvelle Step au Grand Prado ; 200 000 EH.

Le projet de Reuse s'insère dans un projet de développement de l'irrigation dans la même zone

Projet de périmètres irrigués du Conseil Général 974

Secteur Asine

- Priorité 1 - 550 ha
- Priorité 2 - 950 ha
- Priorité 3 - 1300 ha



Le projet de Reuse

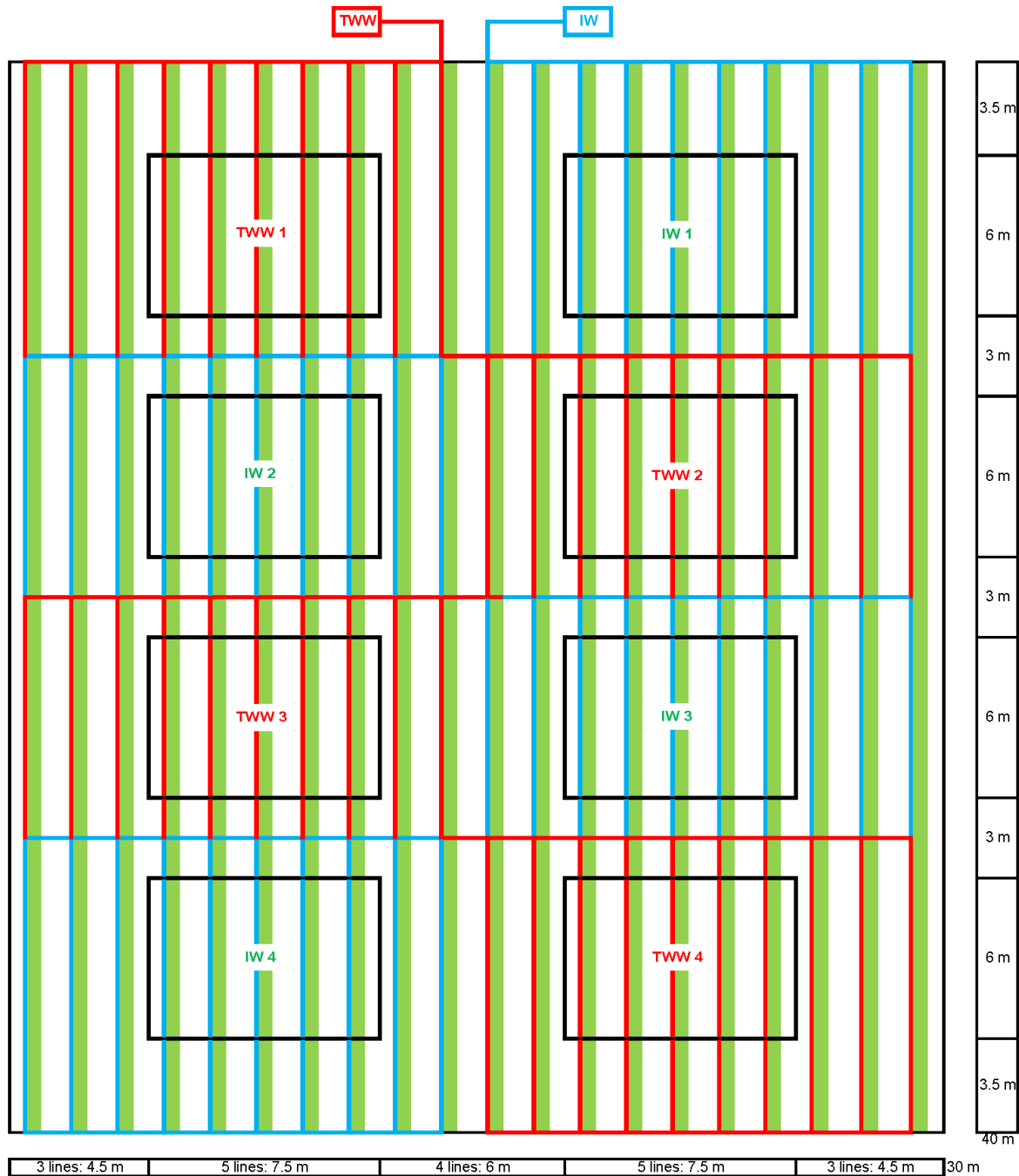
- En 2010, la Cinor décide de construire une nouvelle Step au Grand Prado ; 200 000 EH.
- Le projet de Reuse s'insère dans un projet de développement de l'irrigation dans la même zone
- Objectifs : quels seraient les impacts sur les sols, les rendements et caractéristiques de la canne à sucre
 - Expérimentation sur une culture de canne à sucre en plein champ
 - Expérimentation, en conditions contrôlées, en colonnes de sols remaniés
 - Expérimentation en pots sous serre et modélisation (non présentée ici)

Matériel et méthode

Expérimentation sur une culture de canne à sucre en plein champ

Contexte agronomique :

- La pluviométrie moyenne sur le territoire de la Cinor est de 1600 mm/an, le besoin en irrigation est d'environ 5000 m³/ha
- Le rendement moyen de la càs en irrigué est de 123 t/ha contre 93 t/an en pluvial.
- Les besoins en fertilisants pour la càs (pour un rendement de 80 T/ha) sont :
 - 200 kg/ha de N
 - 55 kg/ha de P
 - 415 kg/ha de K
- Ces éléments sont apportés en début de cycle, voire après quelques mois (complémentation).
- La càs doit être stressée en eau en fin de culture.
- => Difficulté d'une gestion prévisionnelle des apports minéraux avec la Reuse



parcelle de 40 x 30 m (10 lignes de càs)
découpée en :

- 4 sous-parcelles irriguées avec de l'eau d'irrigation + fertilisation normale
- 4 sous-parcelles irriguées avec de l'eau usée épurée + sans fertilisation

Objectifs spécifiques :

- peut-on obtenir des rendements en càs avec la Reuse semblables à une irrigation normale et en utilisant moins de fertilisants ?
- les caractéristiques de la càs (teneur en sucre...) sont-elles modifiées ?



Expérimentation, en conditions contrôlées, en colonnes de sols remaniés

Objectifs spécifiques : *déterminer en conditions de flux la capacité épuratoire du sol* : adsorption vs. lixiviation

- des formes de l'azote
- des cations éch.
- des contaminants

Conditions contrôlées (labo)

- sol homogénéisé (reconstitution de deux horizons, D_a , V_p , propriétés constantes)
- trois colonnes témoin (control) et cinq colonnes TWW (treated wastewater)
- flux d'eau reproduisant à l'identique les deux années pluviométriques
- régime transitoire saturé
- conditions maîtrisées de laboratoire (volumes apportés et recueillis, température, etc.)



Résultats 1

Résultat de l'expérimentation en plein champ

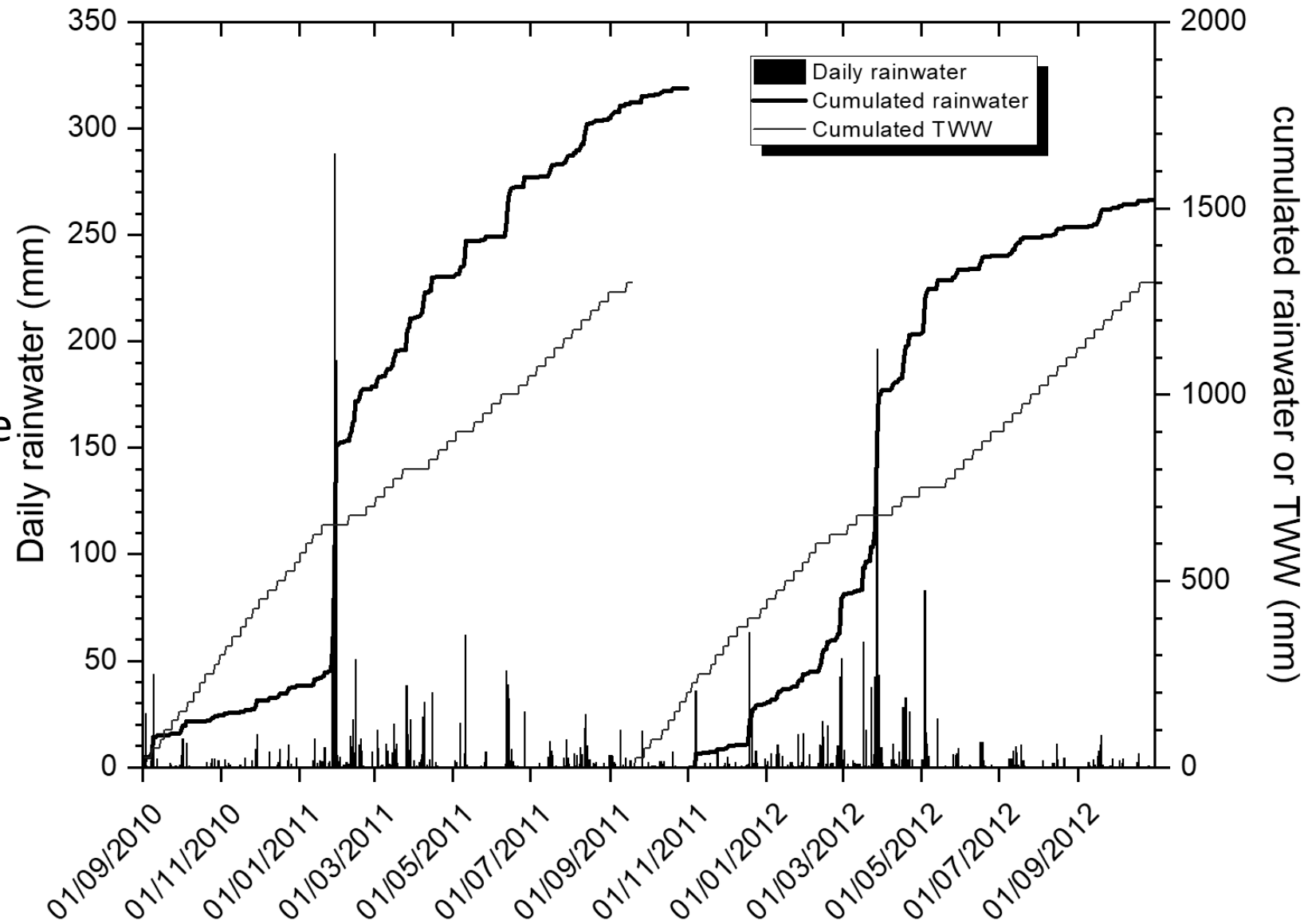
Deux années culturales

(2010-2011 et 2011-2012) :

- pluvio = 1600 + 1900 mm
- irrigation = 1300 + 1300 mm
- TWW = 1300 + 1300 mm

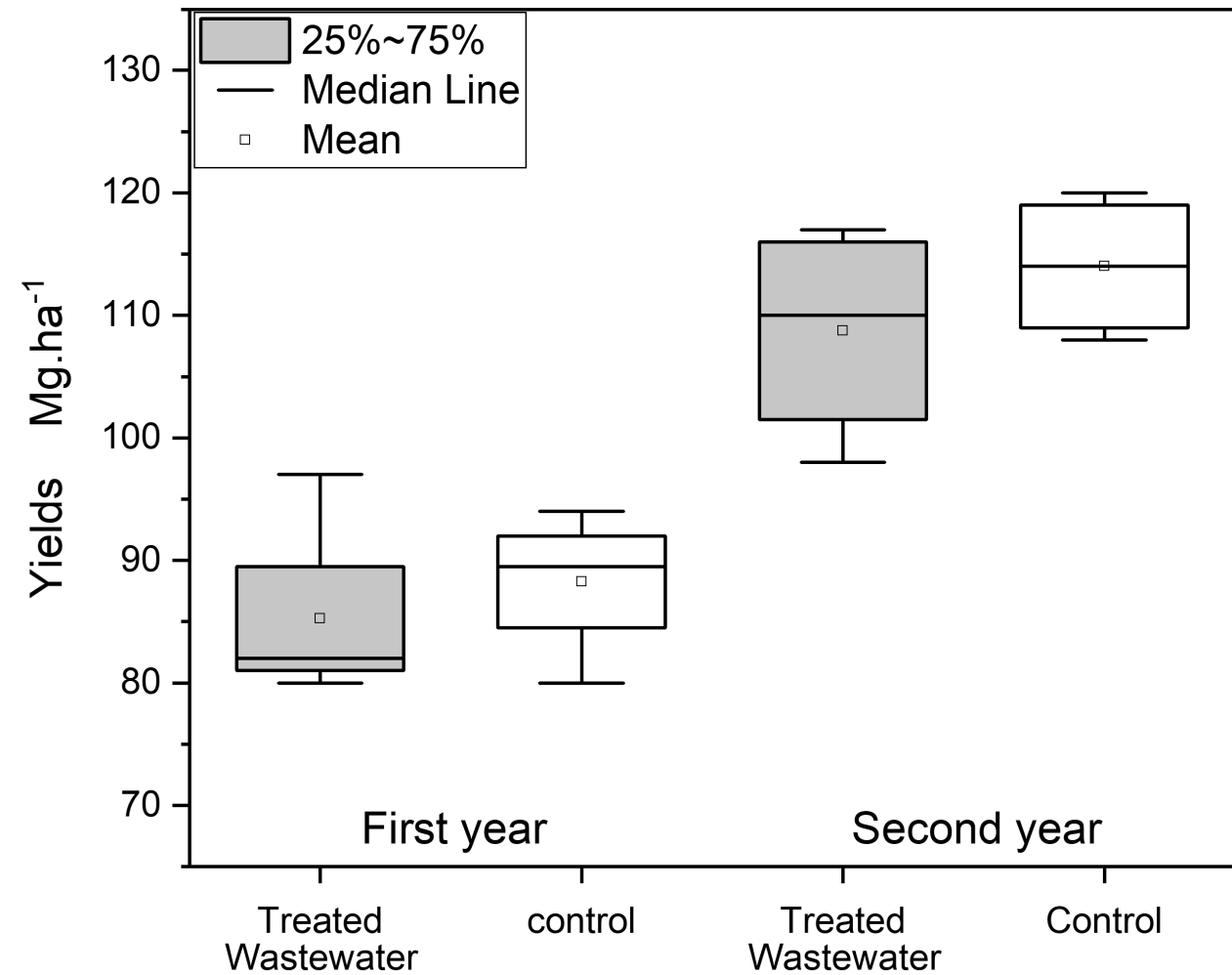
« pluvio + irrigation » semblable
les deux années :
2900 vs. 3200 mm

Un cyclone chaque année !



Résultat de l'expérimentation en plein champ

- Deux années de culture de càs :
 - Rdmts semblables chaque année
 - Rdmts meilleurs en année 2



Caractéristiques de la canne à sucre

- Brix : pourcentage de matière sèche soluble (saccharose et impuretés)
- Fiber : teneur en fibres
- Sucrose : teneur en sucre cristallisable

		First year		Second year	
		Control	Treated wastewater	Control	Treated wastewater
Brix	g.100g ⁻¹	21.4(0.32)	21.7(0.71)	20.5(0.75)	20.8(0.4)
Fiber	g.100g ⁻¹	10.97(0.03)	11.02(0.31)	10.2(0.52)	10.76(0.49)
Sucrose	g.100g ⁻¹	17.35(0.35)	17.51(0.74)	16.02(0.94)	17.16(0.54)

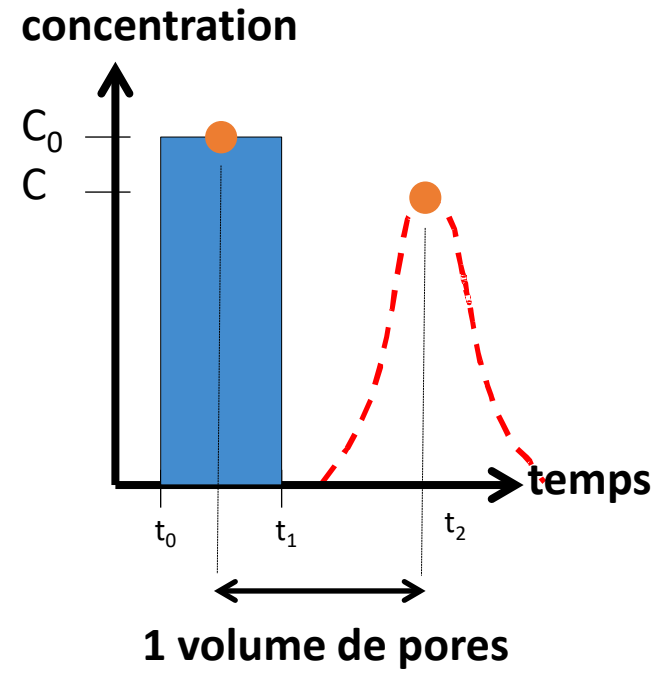
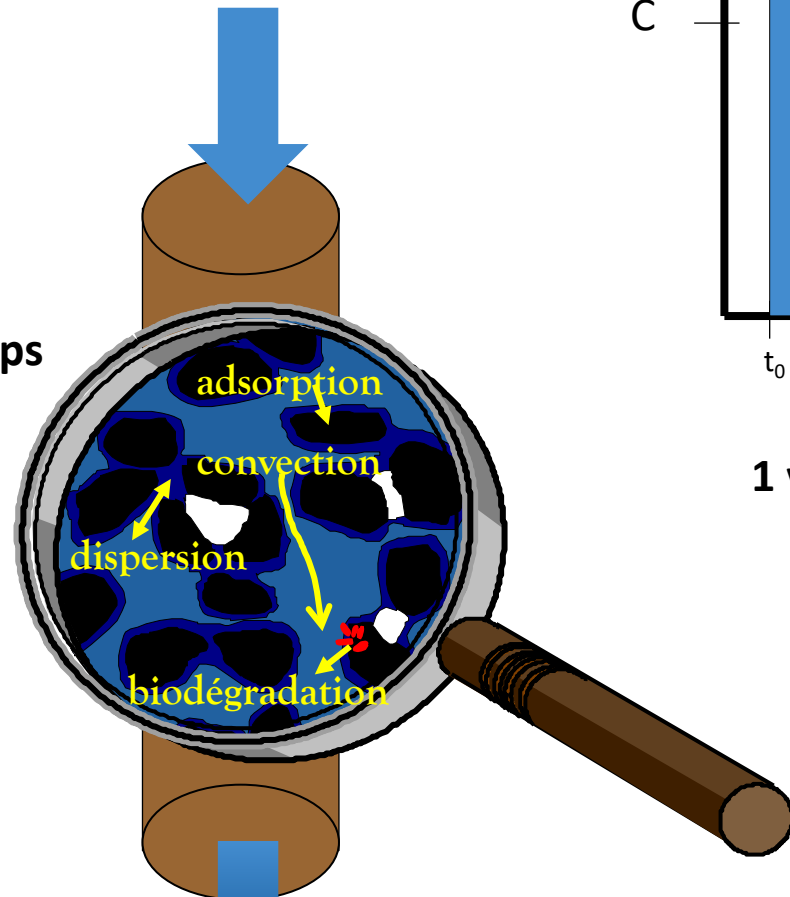
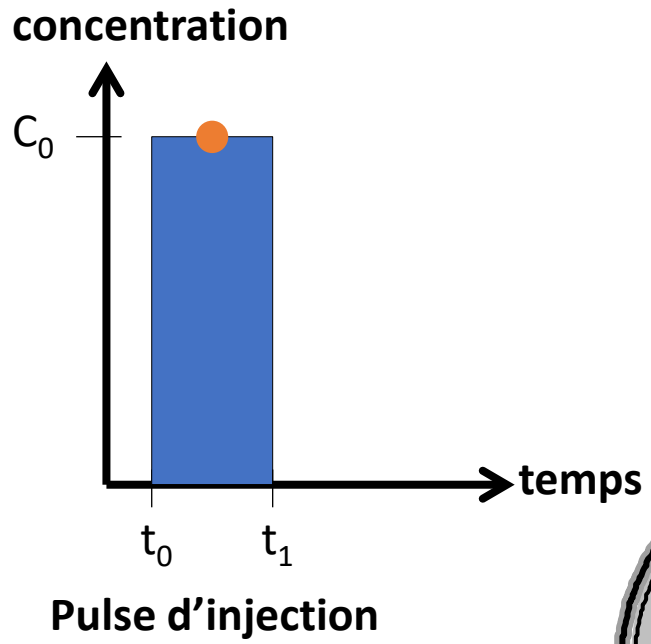
Conclusions sur l'expérimentation en plein champ

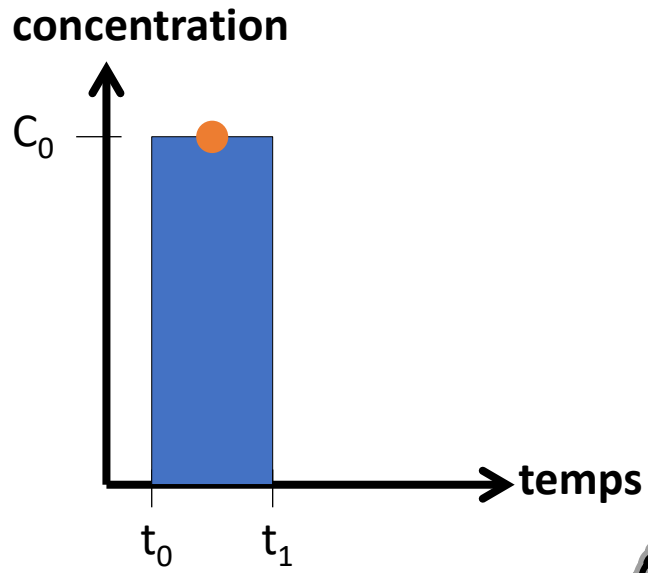
- En ajustant la quantité de TWW pour qu'elle apporte une dose de fertilisants équivalente à la fertilisation normale, on peut obtenir des rendements en càs avec la Reuse semblables à ceux obtenus avec une irrigation normale + une fertilisation.
- Les caractéristiques de la càs (teneur en sucre...) ne sont pas modifiées
- Économies sur le prélèvement de la ressource en eau et sur la fertilisation

Résultats 2

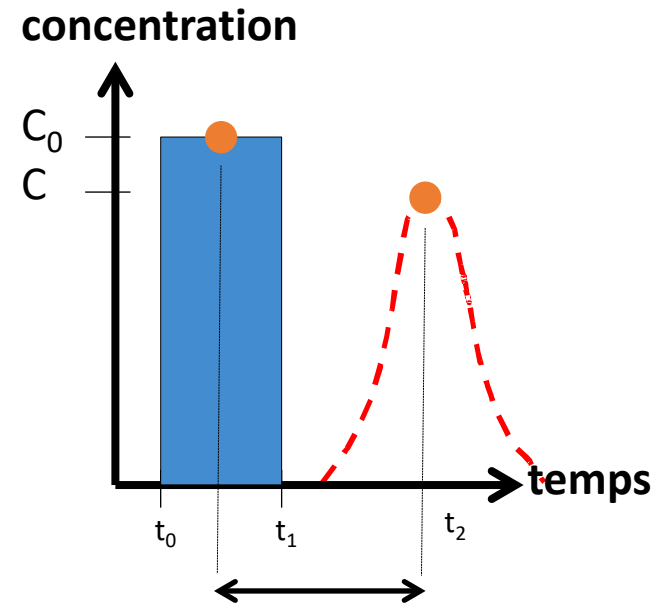
Résultats sur l'expérimentation en colonnes de sol (conditions contrôlées)

- Données physico-chimique (CE, pH) et chimiques sur les flux de solutés aux exutoires des colonnes.
- Données sur quantités d'éléments adsorbés sur le sol.

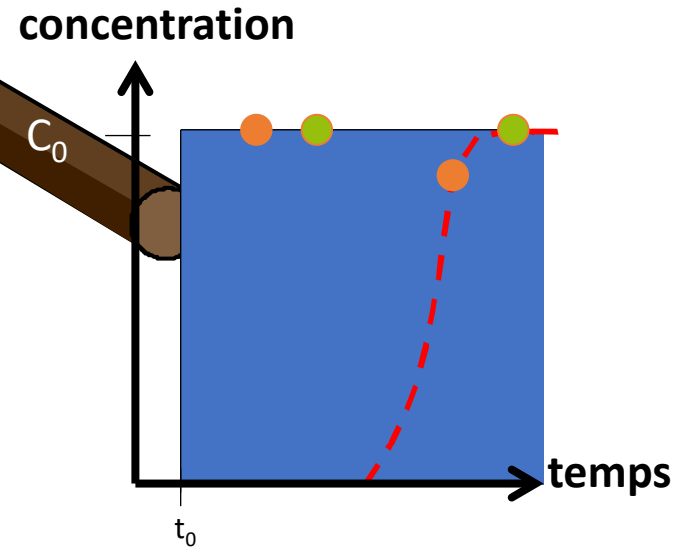
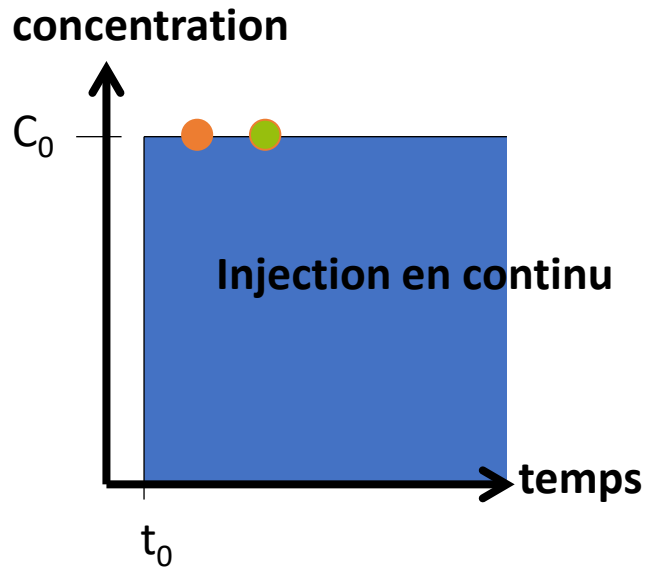
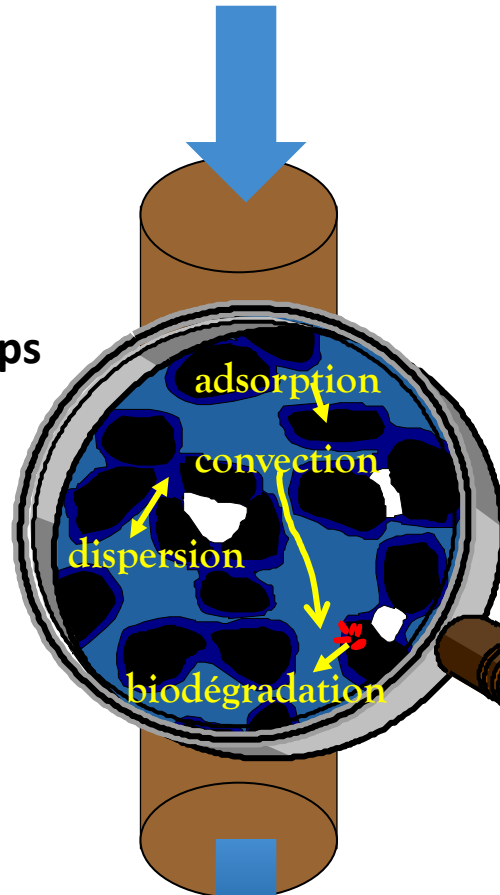




Pulse d'injection



1 volume de pores



1 volume de pores

C/C_0

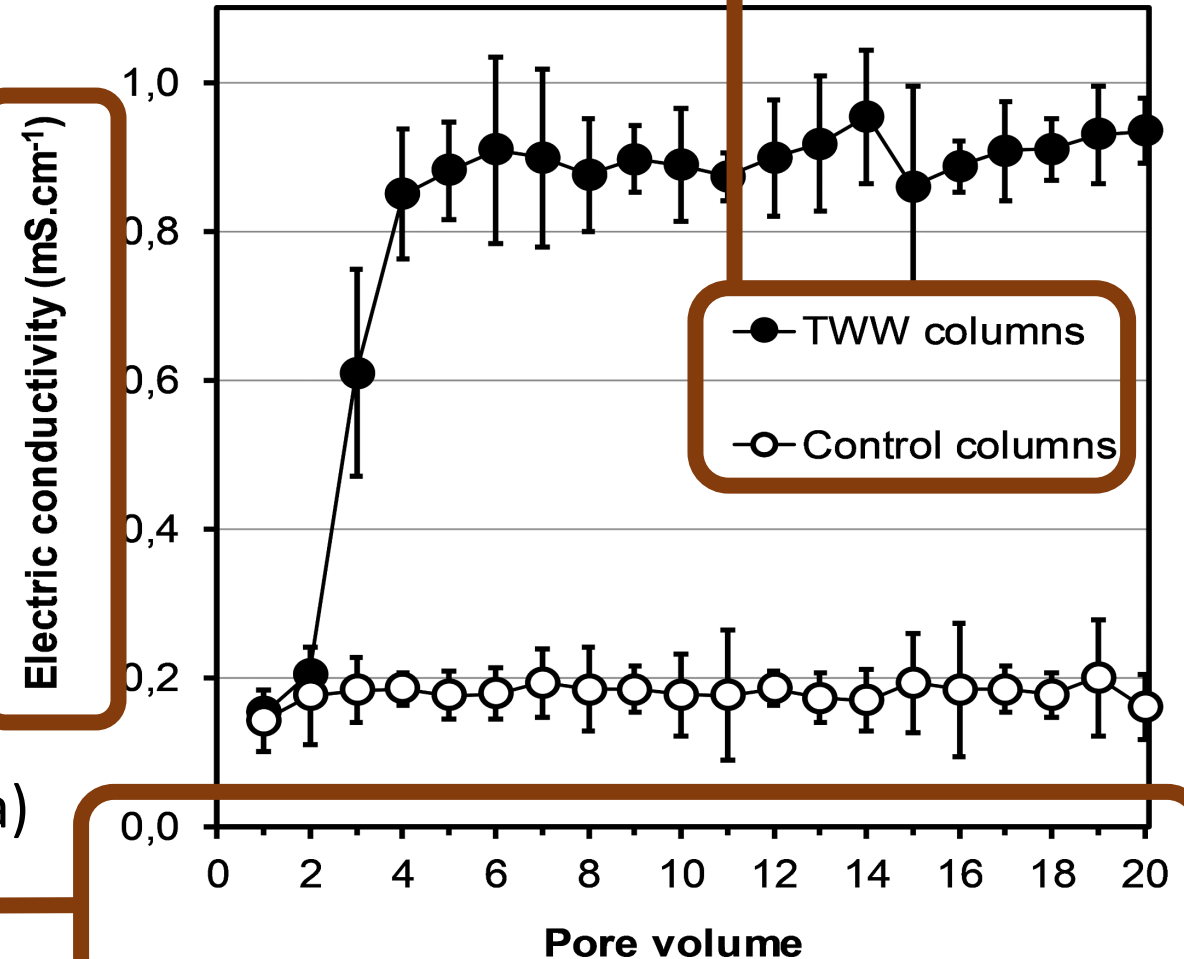
VP

Conductivité électrique à l'exutoire des colonnes

Comparaison entre les colonnes recevant des eaux d'irrigation (control) et celles recevant des treated wastewater (TWW)

mesures à l'exutoire

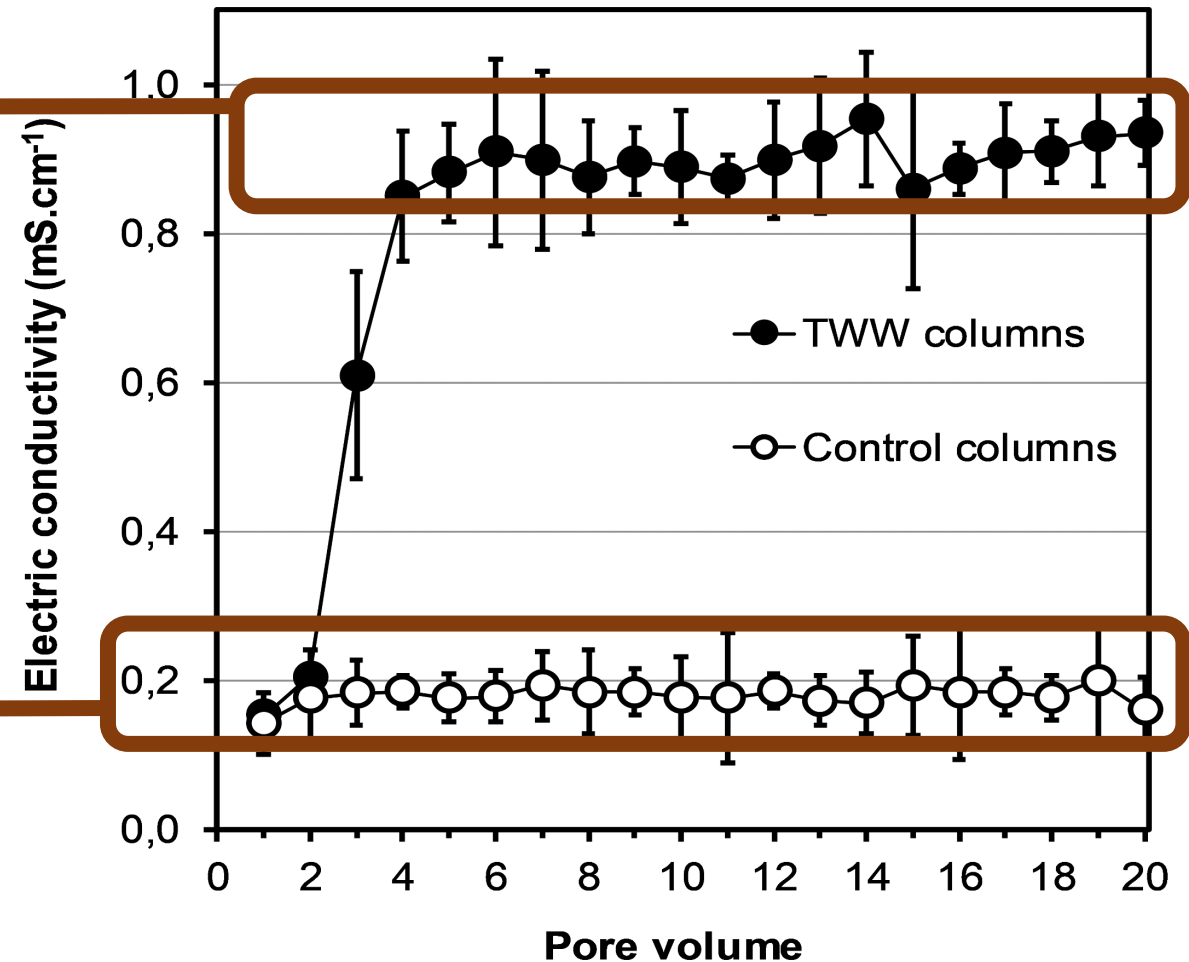
abscisse en nombre de volume de pores :
volume de chaque colonne = $18,8 \text{ dm}^3$
volume poral = 51,8 % (calculé à partir de la Da)
1 VP = $9,8 \text{ dm}^3 = 310 \text{ mm}$
20 VP = 6 200 mm



Conductivité électrique à l'exutoire des colonnes

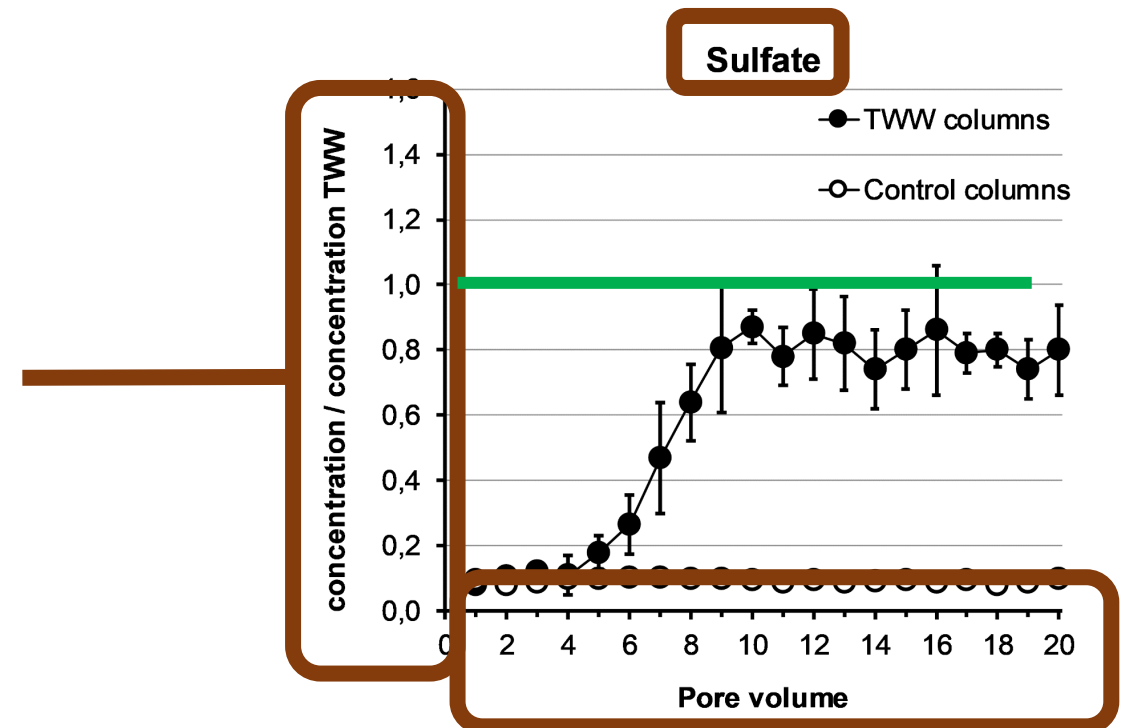
valeur de la conductivité électrique des TWW = 1,7 mS/cm
=> accumulation d'éléments

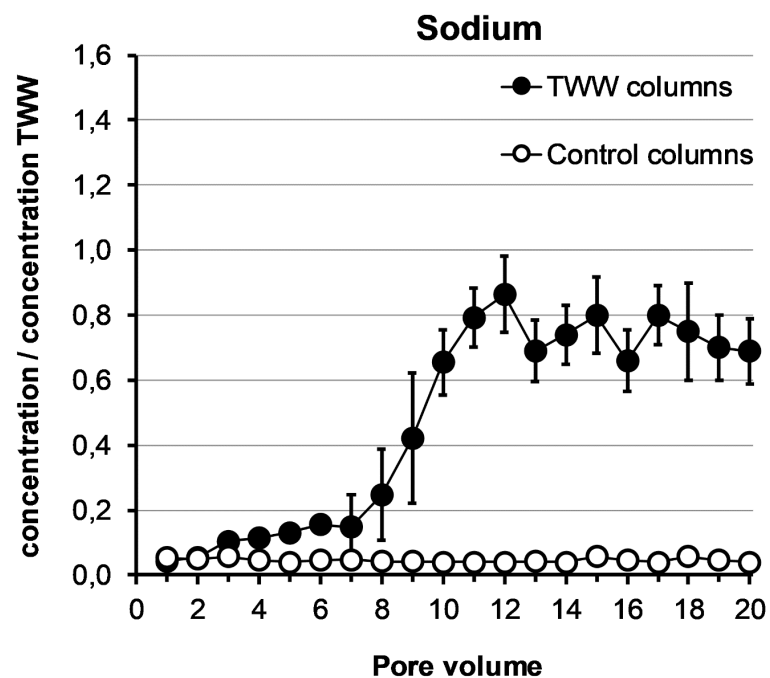
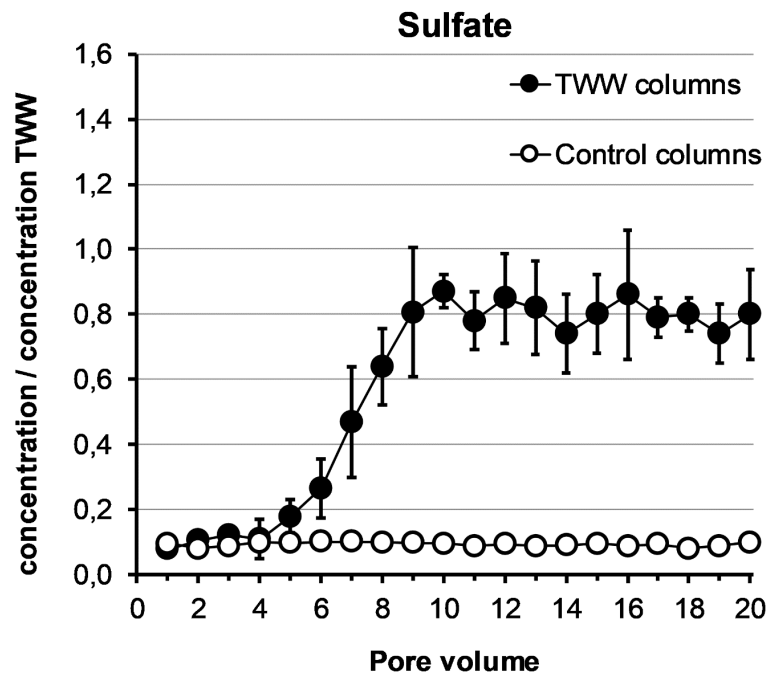
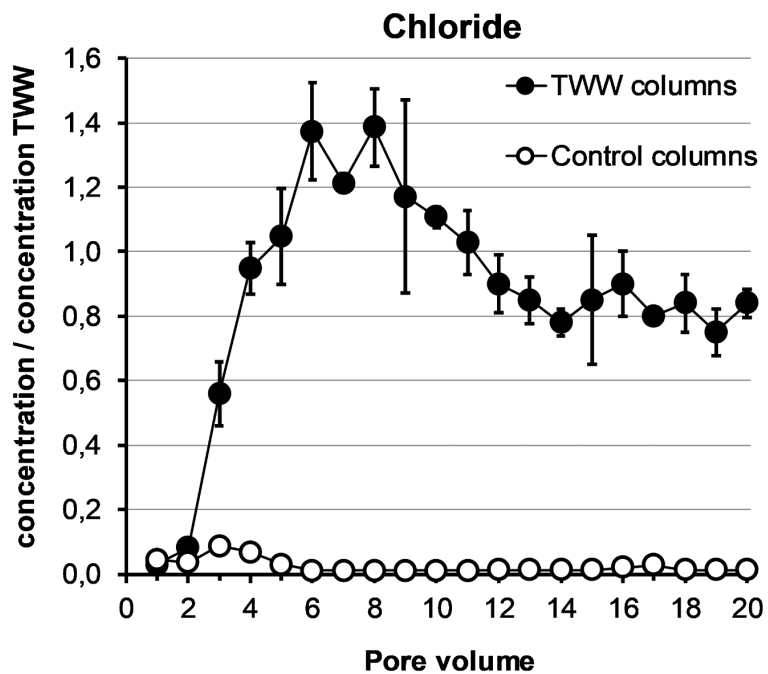
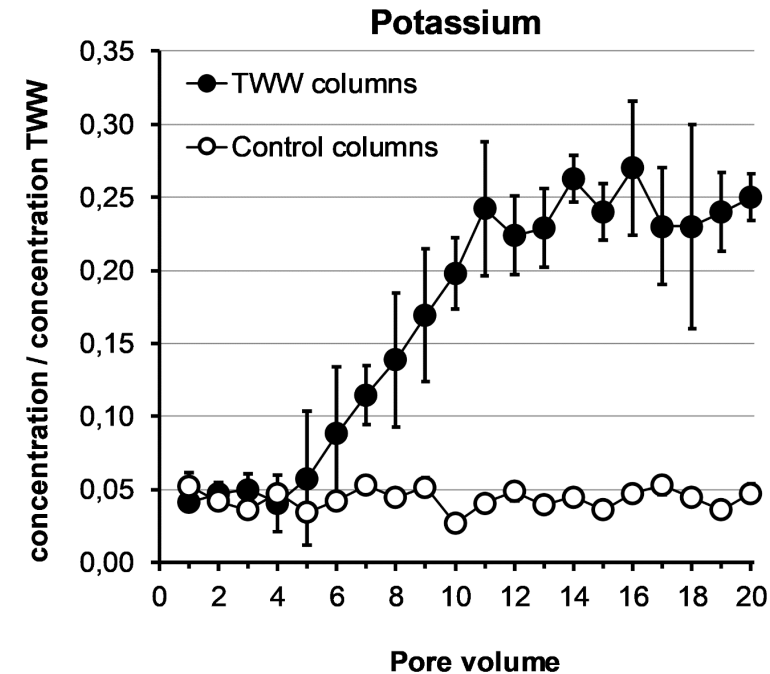
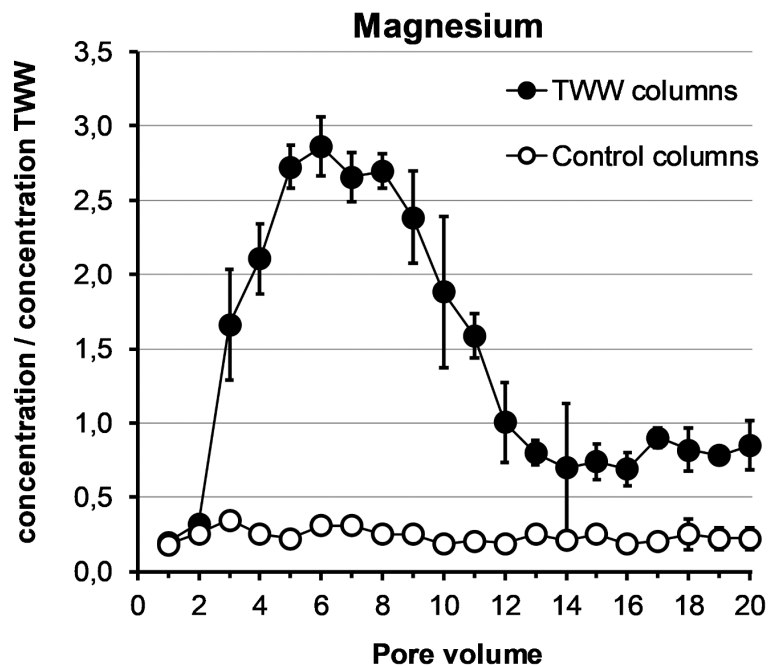
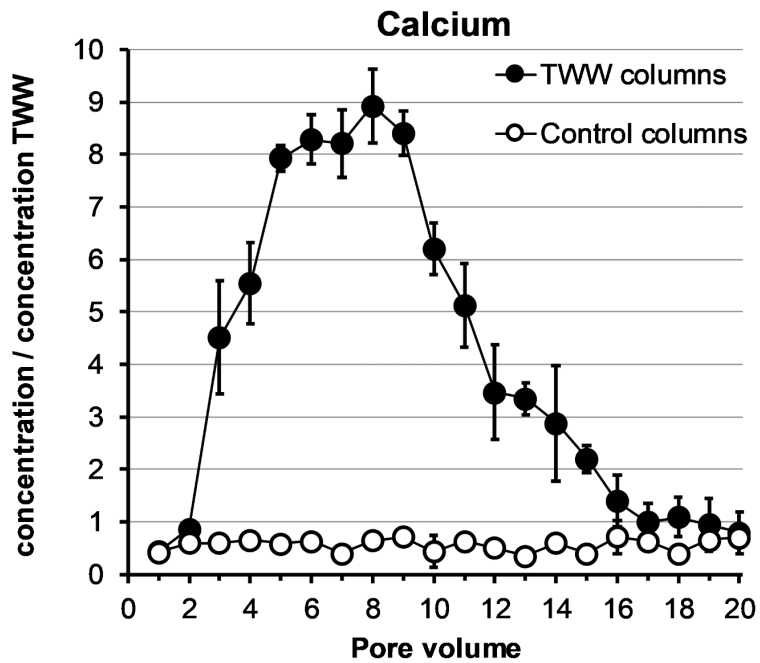
valeur de la conductivité électrique des IW = 0,13 mS/cm

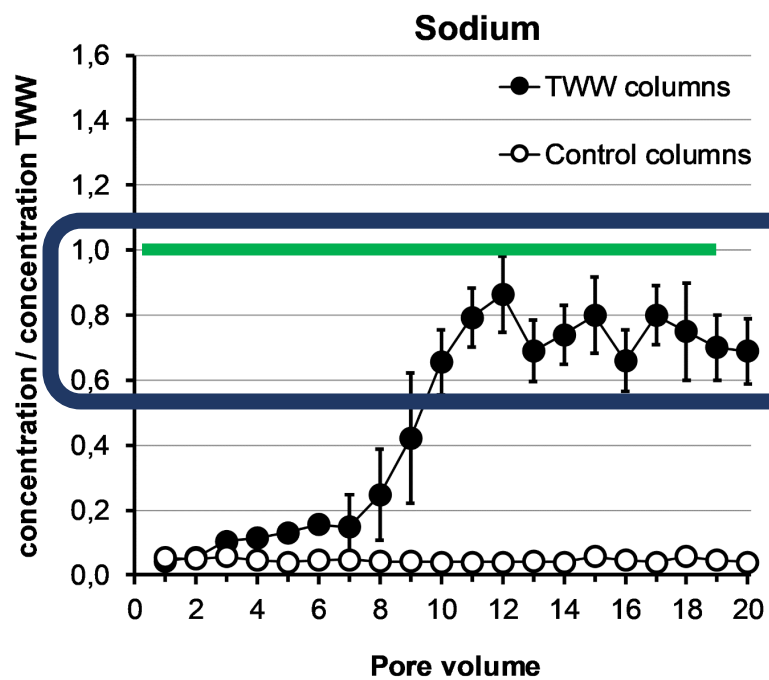
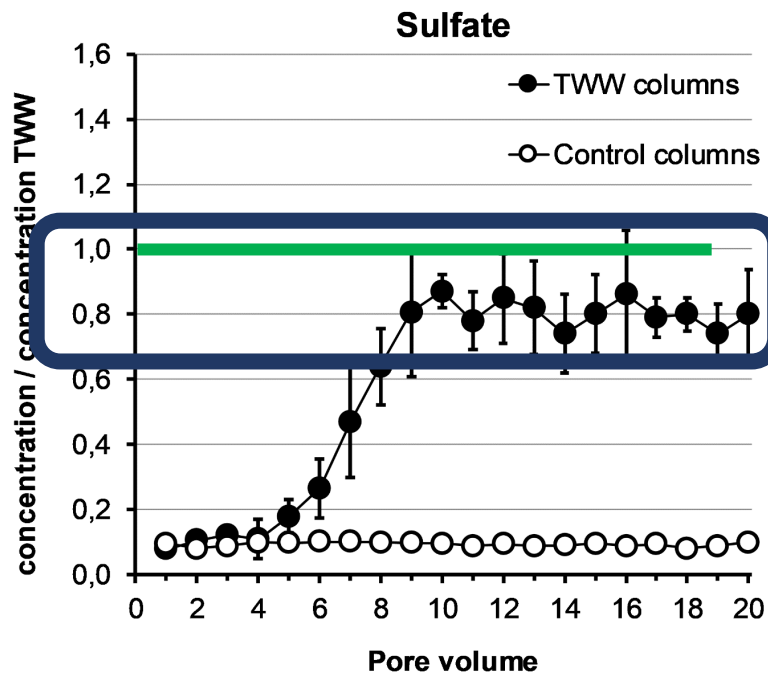
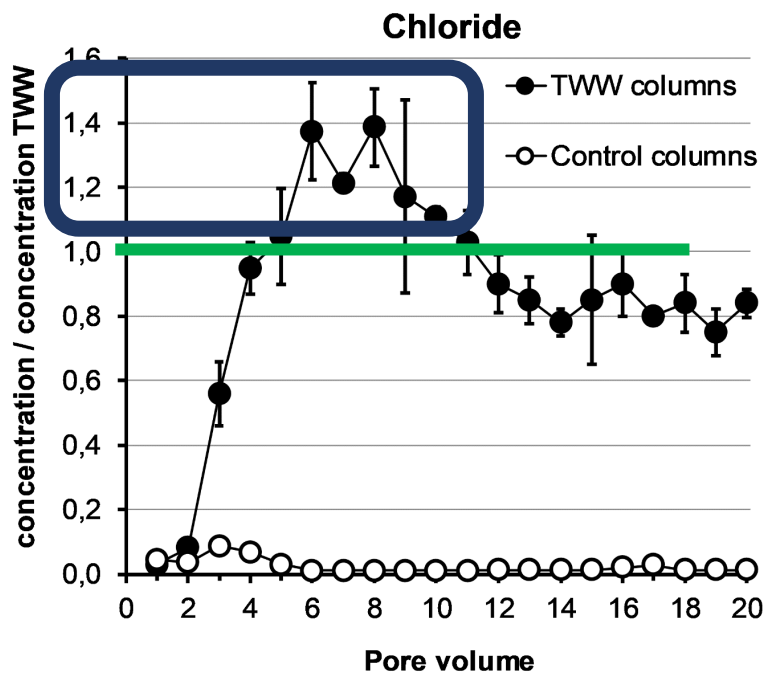
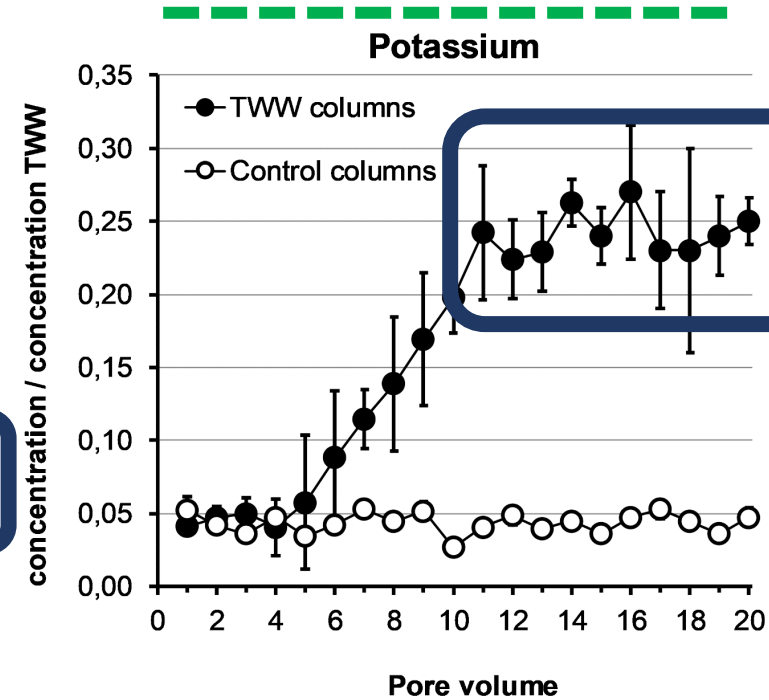
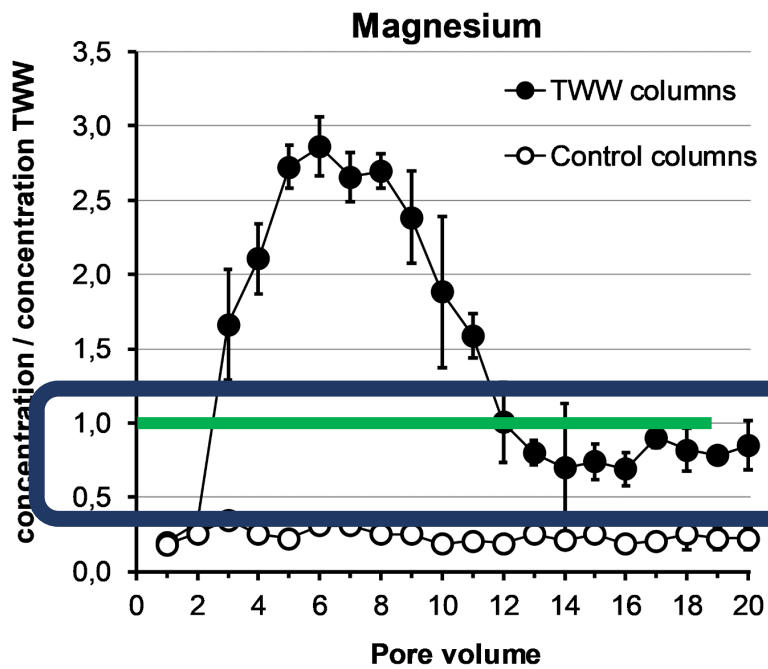
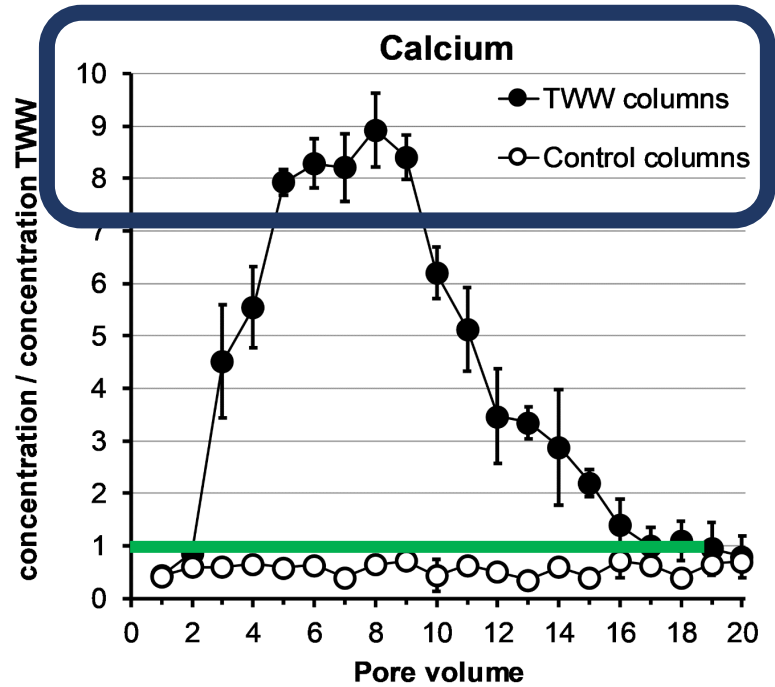


Flux de soluté à l'exutoire des colonnes

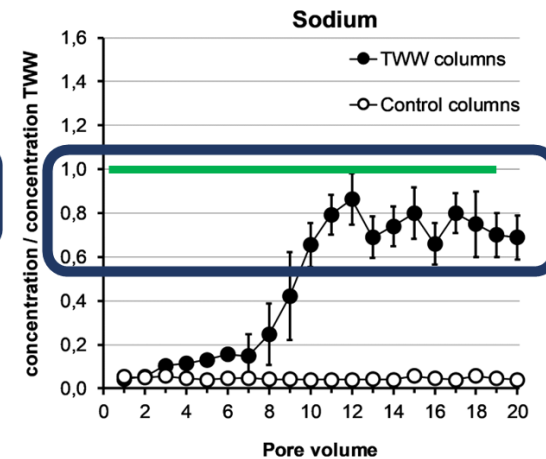
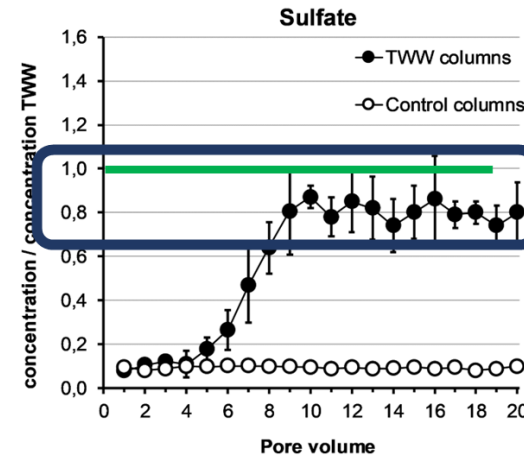
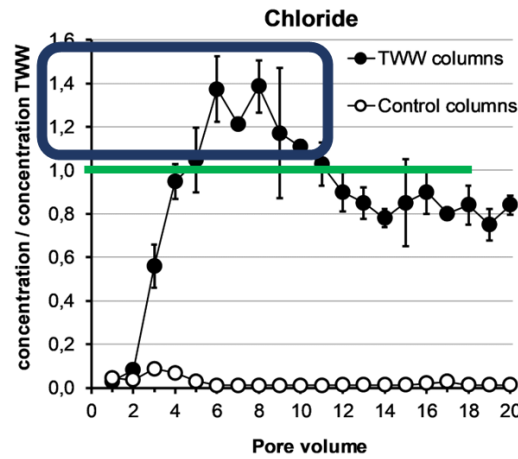
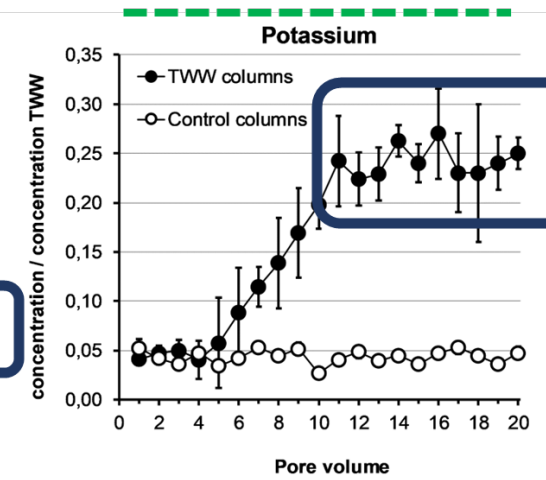
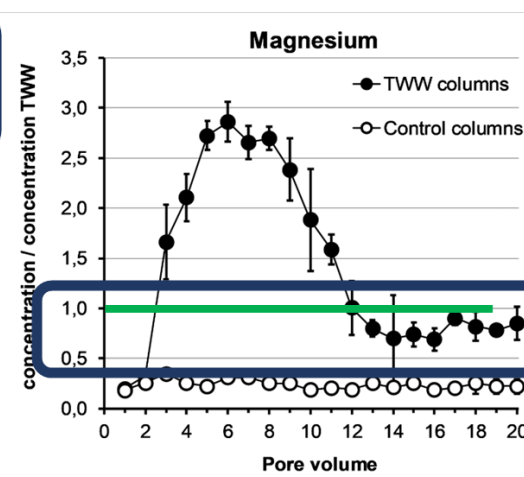
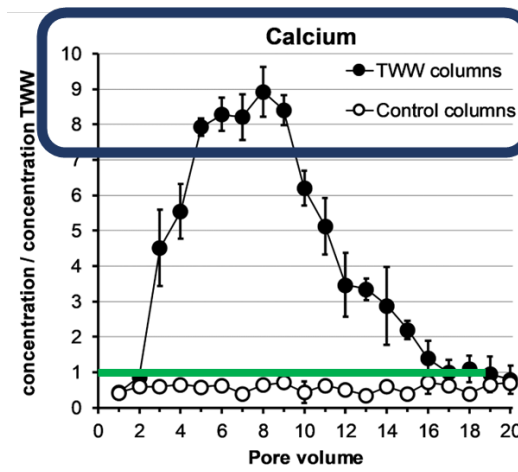
$$\frac{\text{concentration mesurée}}{\text{concentration de la TWW}}$$







Différents comportements



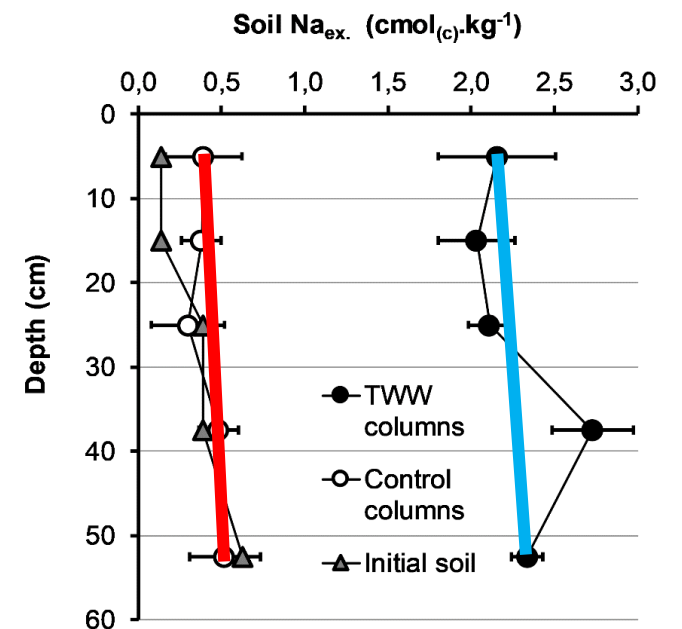
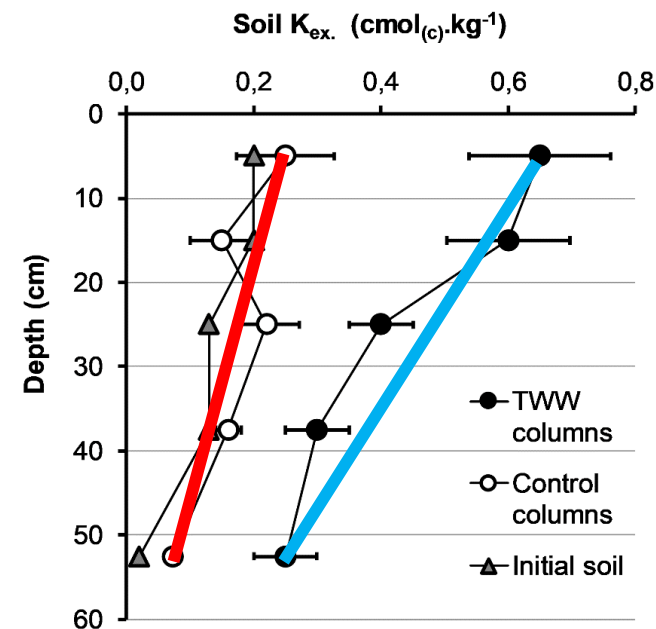
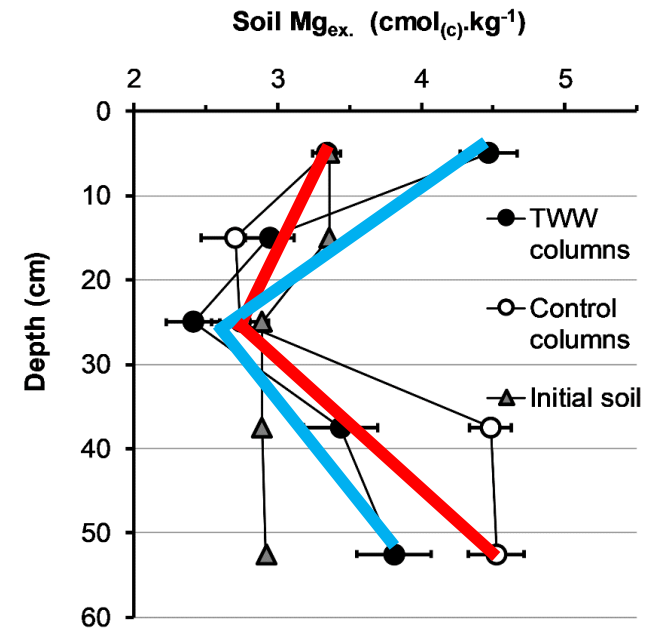
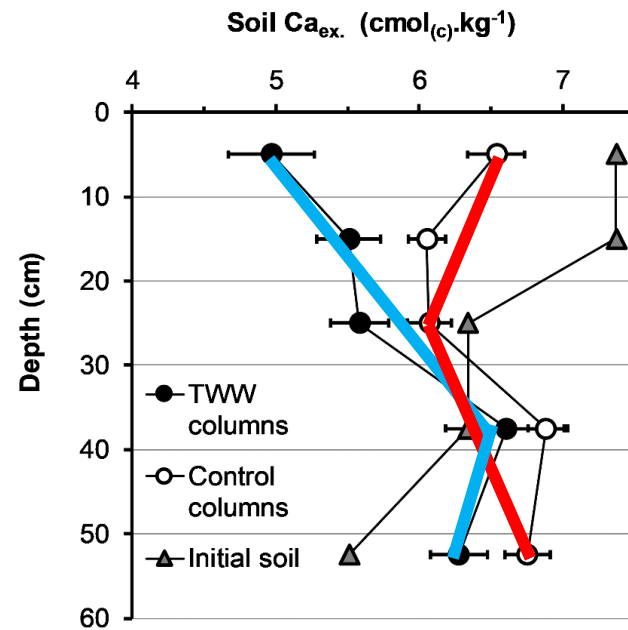
- « courbe d'élution » : Ca^{2+} (9), Mg^{2+} (3),
- « croissance et plafonnement » : K^+ (0,25), Na^+ (0,8), SO_4^{2-} (0,8)
- un peu les deux : Cl^- (1,4)
- après 20 VP, régime stable (?).

Évolutions des cations échangeables



À l'échelle de la colonne de sol, entre les colonnes control et TWW :

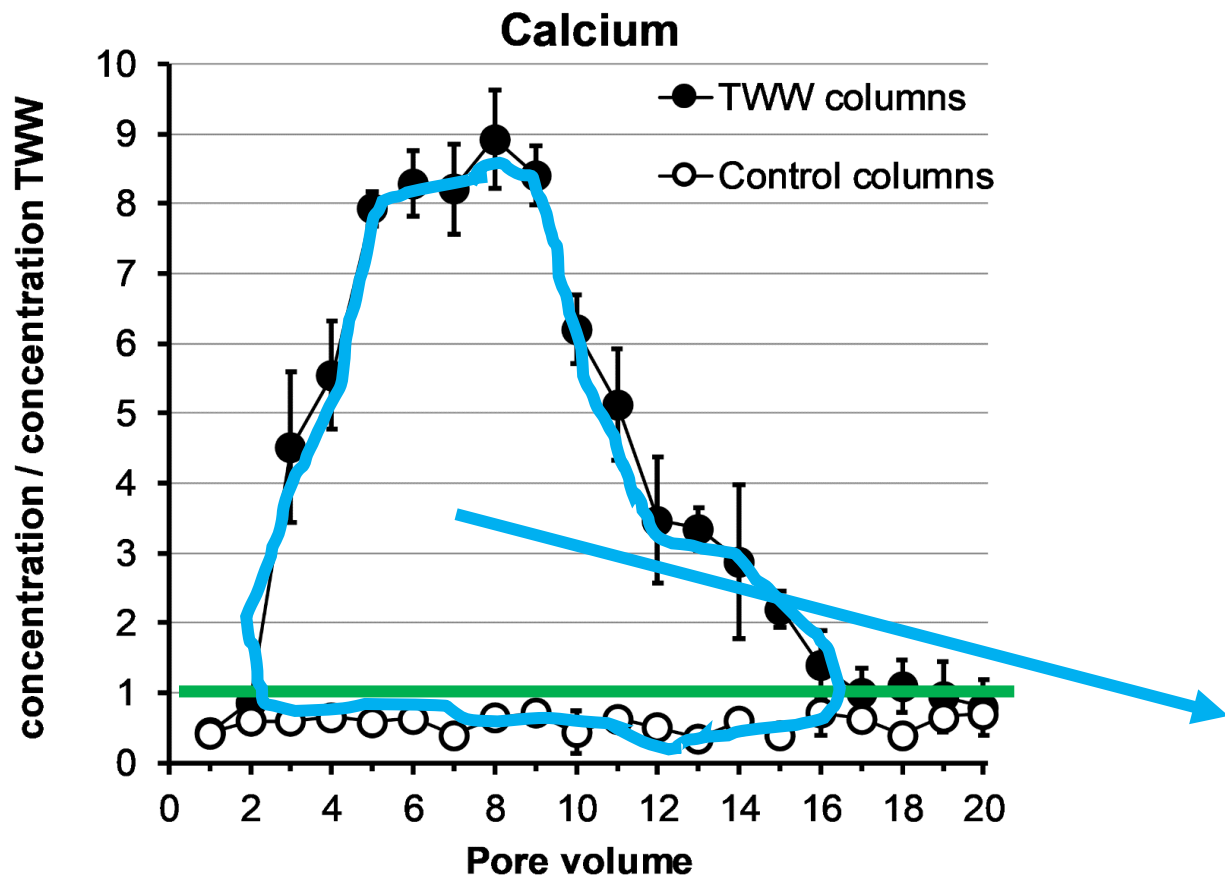
- diminution du $\text{Ca}_{\text{éch.}}$
- augmentation du $\text{K}_{\text{éch.}}$ d'environ $0,4 \text{ cmol}_{(+)} / \text{kg}$
- augmentation du $\text{Na}_{\text{éch.}}$ d'environ $1,5 \text{ cmol}_{(+)} / \text{kg}$
- pour $\text{Mg}_{\text{éch.}}$ dépendant de la prof.



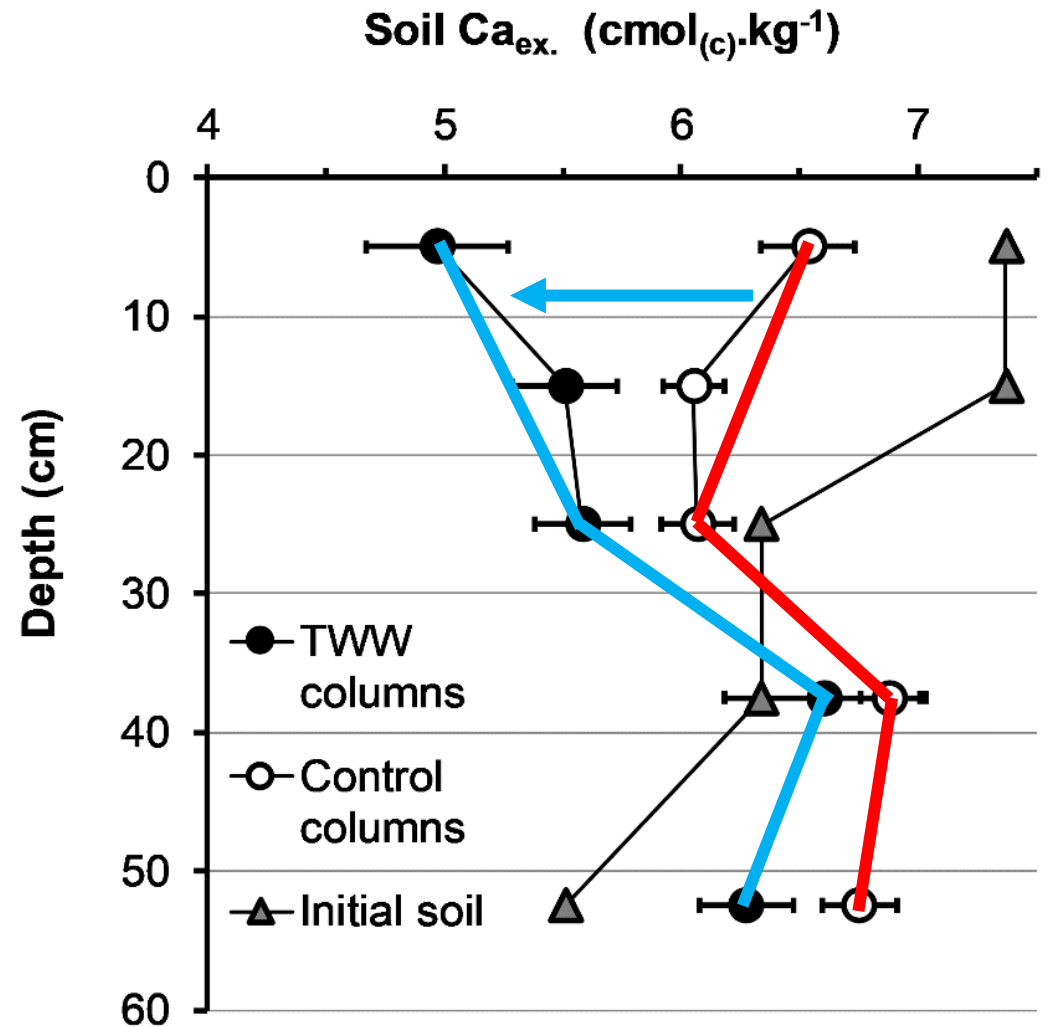


À l'échelle de la colonne de sol,
entre les colonnes control et TWW :

- diminution du $Ca_{éch.}$



Perte du calcium à l'exutoire des colonnes



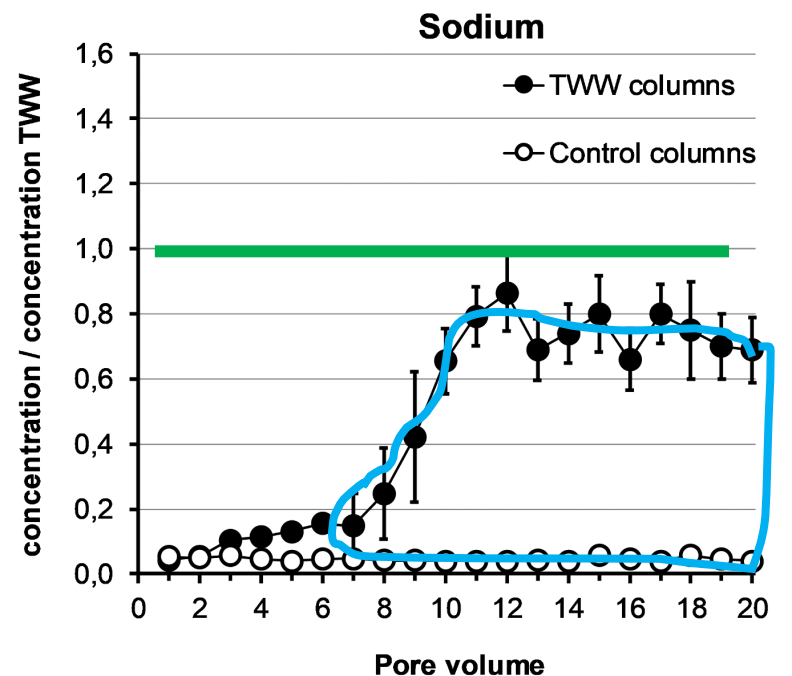
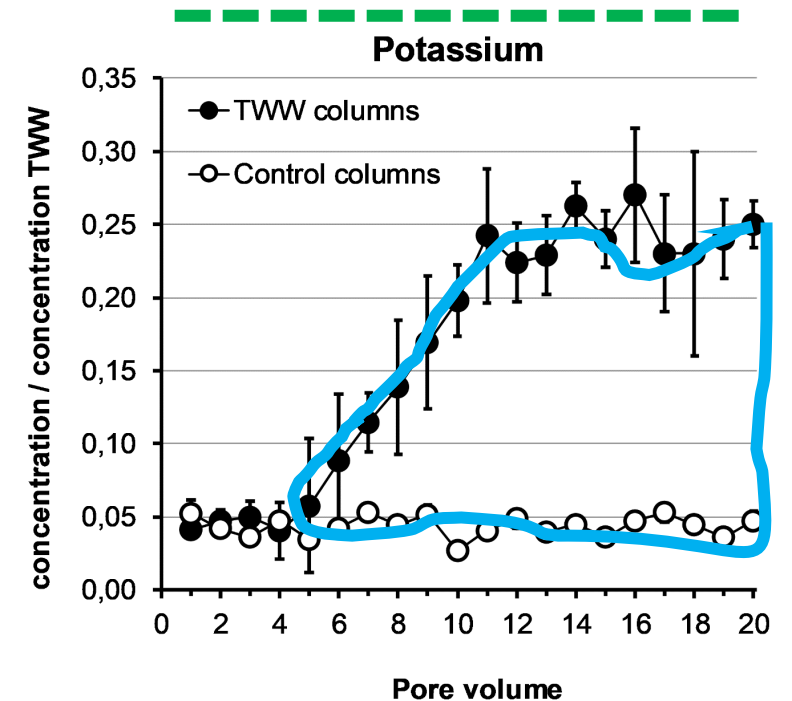
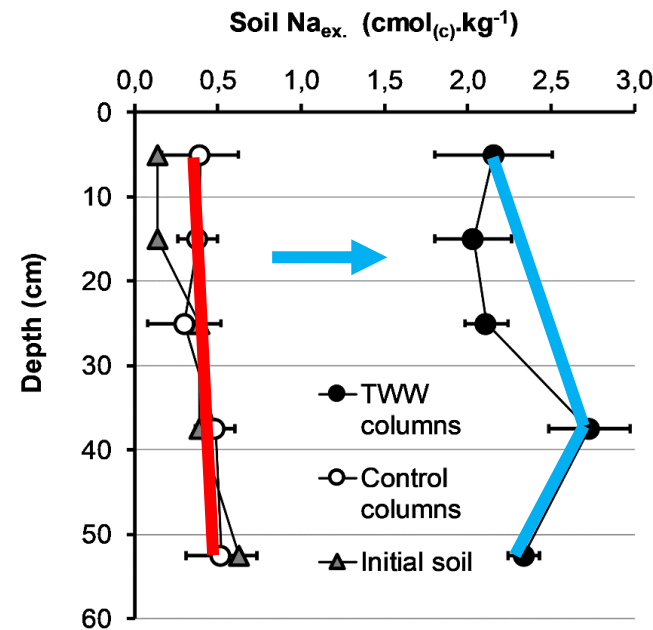
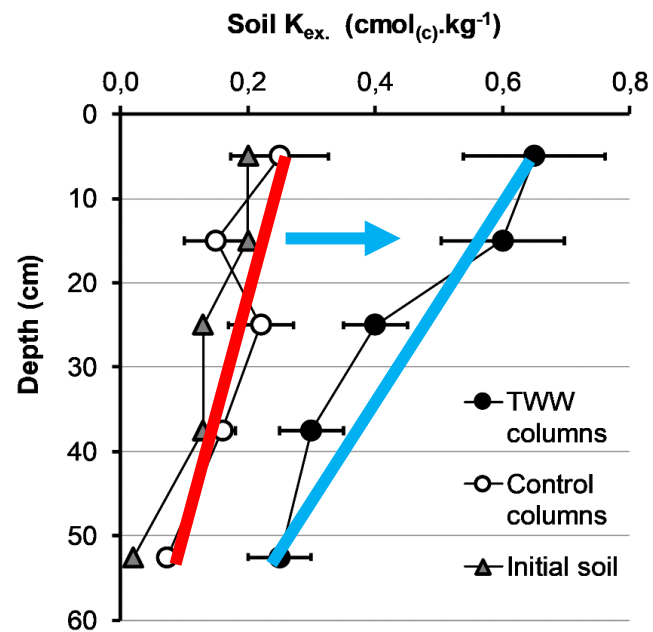


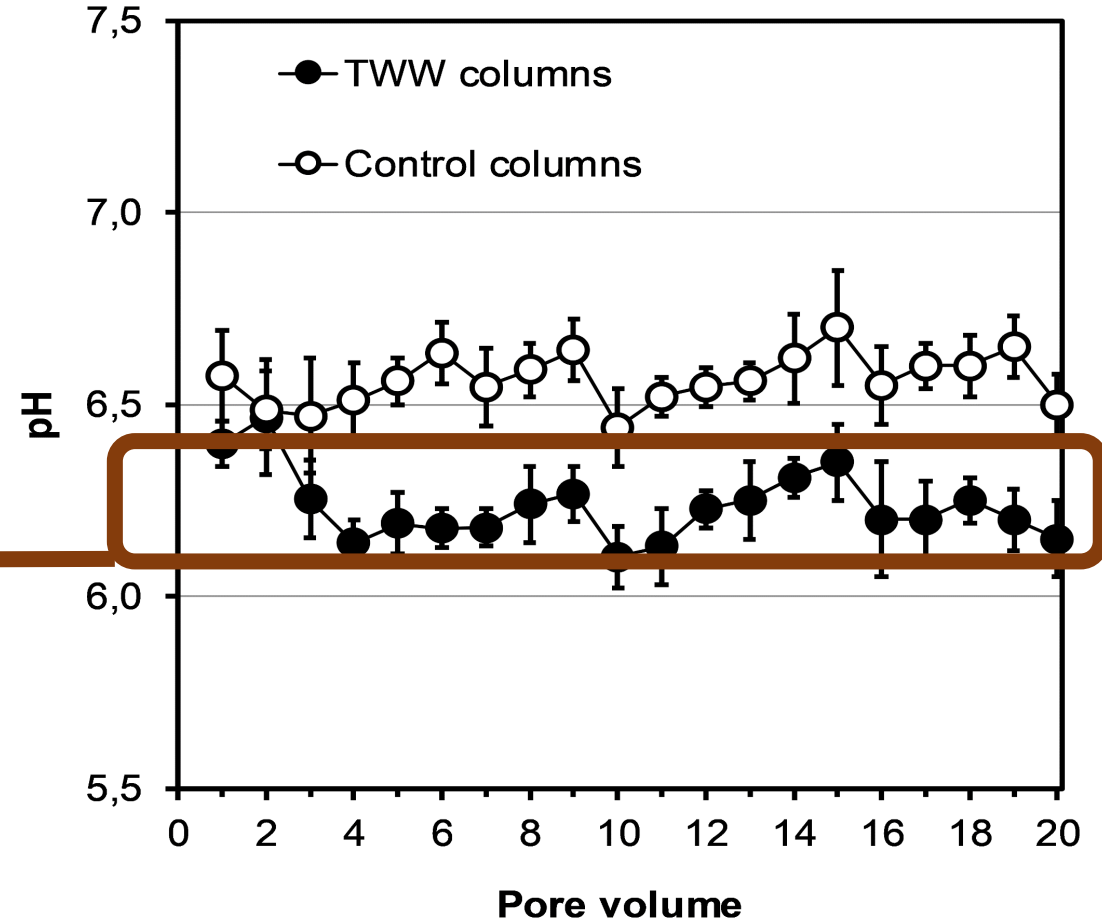
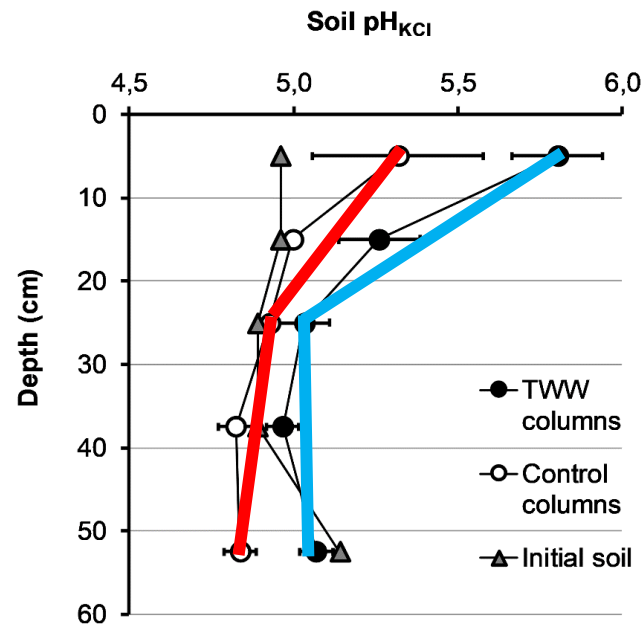
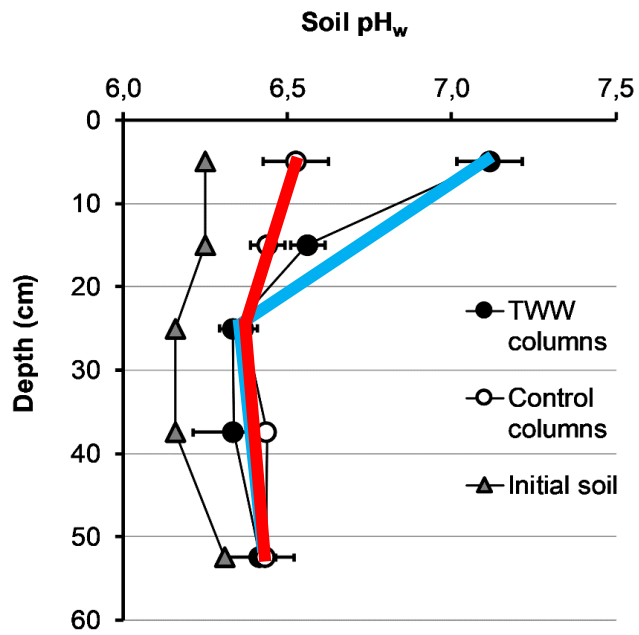
À l'échelle de la colonne de sol, entre les colonnes control et TWW :

- augmentation du $Na_{éch.}$ et du $K_{éch.}$

$$\frac{\text{concentration mesurée}}{\text{concentration de la TWW}} < 1$$

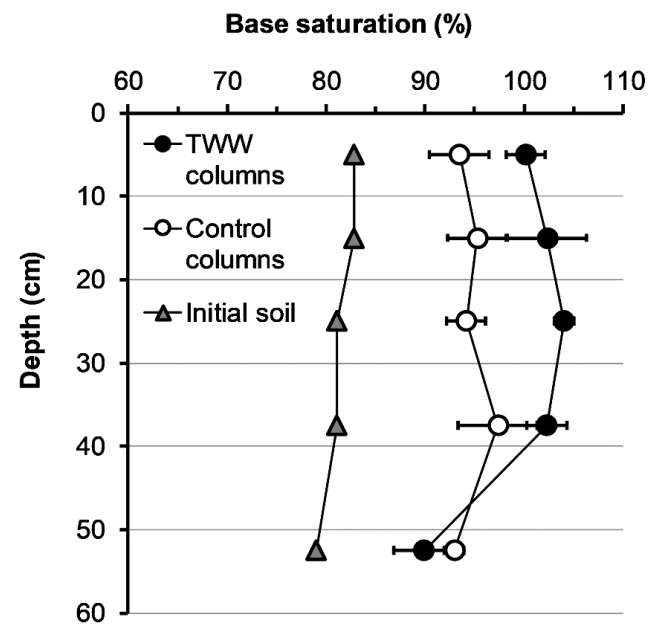
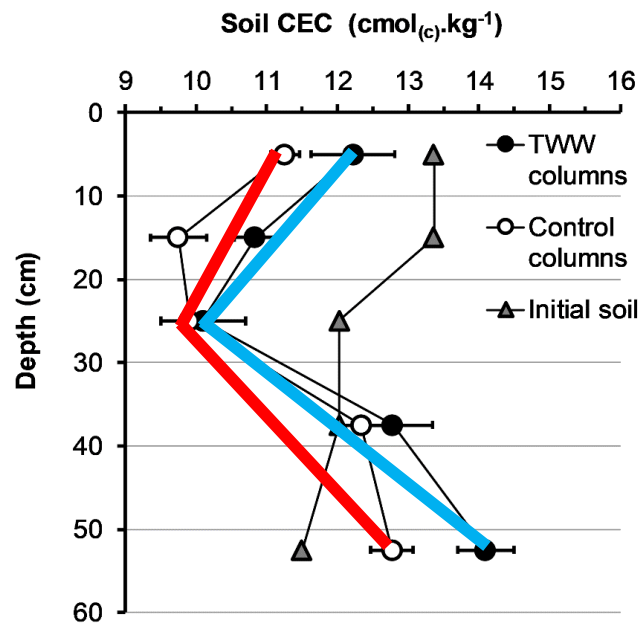
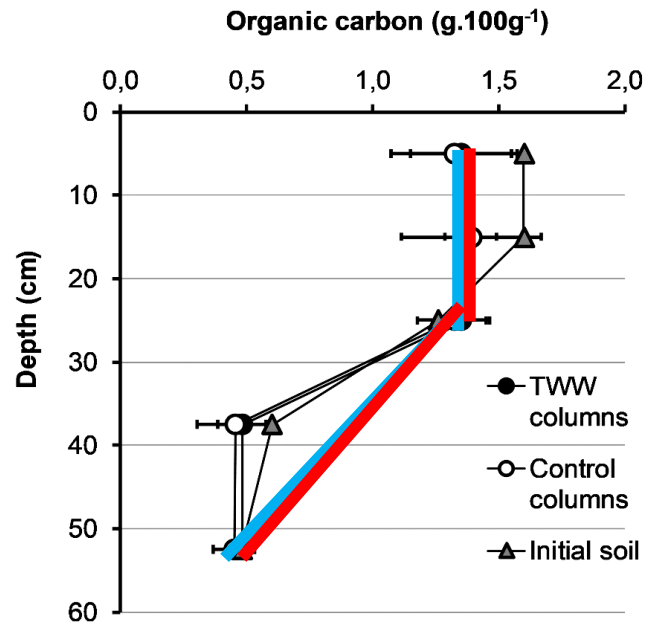
=> accumulation dans le sol





solution du sol dans les colonnes recevant les TWW plus acide : nitrification de l'ammonium et pH des apports : pH TWW = 7,3 ; pH IW = 7,7

Évolutions des caractéristiques des sols



Conclusions sur l'expérimentation en colonnes de sol

- Après 20 VP, équivalent à 6 200 mm, difficile de conclure sur un régime stable.
- Adsorption ou désorption des cations majeurs (Ca, Mg, K et Na) correctement suivis en solution à l'exutoire ainsi que dans les sols après l'expérimentation
- Les monovalents (surtout Na^+) augmentent significativement sur la CEC
- Diminution du carbone organique du sol dans l'horizon de surface

Conclusions générales

- Sur deux années de culture de càs, le bilan est positif pour la plante. Un gain économique et environnemental serait attendu.
- Les sols et les lixiviats sont impactés à court terme ; un suivi serait indispensable pour vérifier les trajectoires d'évolution.
- Même en conditions climatiques humides, la Reuse est pertinente.

