



Institut National de Recherche en Génie Rural, Eaux et Forêts



INRGREF

*Laboratoire de Recherche
Valorisation des Eaux Non Conventionnelles
(LR VENC)*

Recherches sur la Valorisation des Eaux Usées Traitées

Dans le PPI Cebala – Borj Touil et une parcelle à Kalaât Landelous

Vers une approche systémique de la valorisation des EUT

M. Hachicha

M. Dahmuni, M. Zouari, H. Sahraoui, D. Souguir

Colloque GDA Sidi Amor, 24/4/2018

L'utilisation adéquate des EUT dans les périmètres irrigués repose sur:

- ☞ Une qualité des EUT conforme à la norme.
- ☞ Des cultures tolérées par la réglementation.
- ☞ Une gestion adaptée de l'eau et du sol à la parcelle.
- ☞ Le contrôle périodique des eaux, des sols, des cultures et des agriculteurs.

Toutefois, des études ont montré:

- ☞ La contamination des milieux récepteurs.

D'où le besoin de:

- ☞ Considérer:
 - ☞ L'ensemble du système hydrogéologique: de la parcelle irriguée au récepteur final.
 - ☞ L'effet à long terme même si les EUTs sont conformes à la norme.
- ☞ Etablir des normes pour les sols et les eaux souterraines, etc.

**EFFET DE L'IRRIGATION AVEC LES EUT
DANS LE PPI CEBALA – BORJ TOUIL**

Qualité des EUT (valeurs moyennes).

	Qtés mesurées (mg/l)	Valeurs tolérées (mg/l)
Cl	852	2000
Na	493	30
Azote N	0,875	90
B	0,350	3
Cd	0,005	0,01
Co	0,020	0,01
Cu	0,005	0,5
Fe	0,005	5
Mn	0,050	0,5
Hg	0,010	0,05
Ni	0,005	0,2
Pb	0,550	1
Zn	0,010	5

Effet de l'irrigation avec les EUT sur le sol

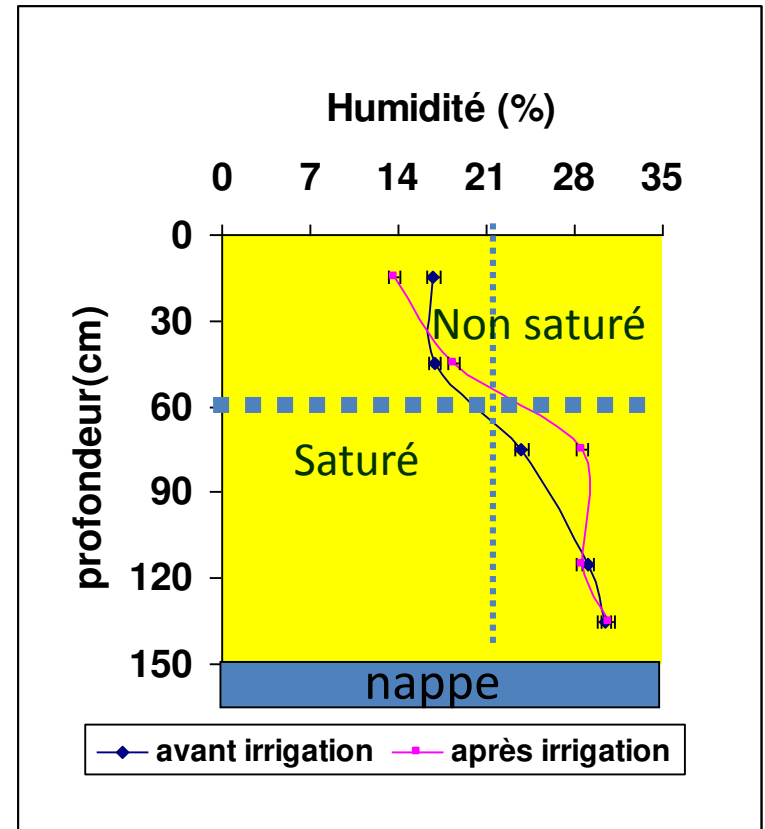


Gestion de l'irrigation: doses élevées et fréquences irrégulières. Il s'ensuit avec une charge élevée en MES:

- ☞ Accumulation de dépôt et formation d'une croûte.
- ☞ Dégradation des propriétés hydrodynamiques du sol et diminution de l'infiltration de l'eau.
- ☞ Stagnation de l'eau et concentration des sels.
- ☞ Diminution de l'activité biologique.

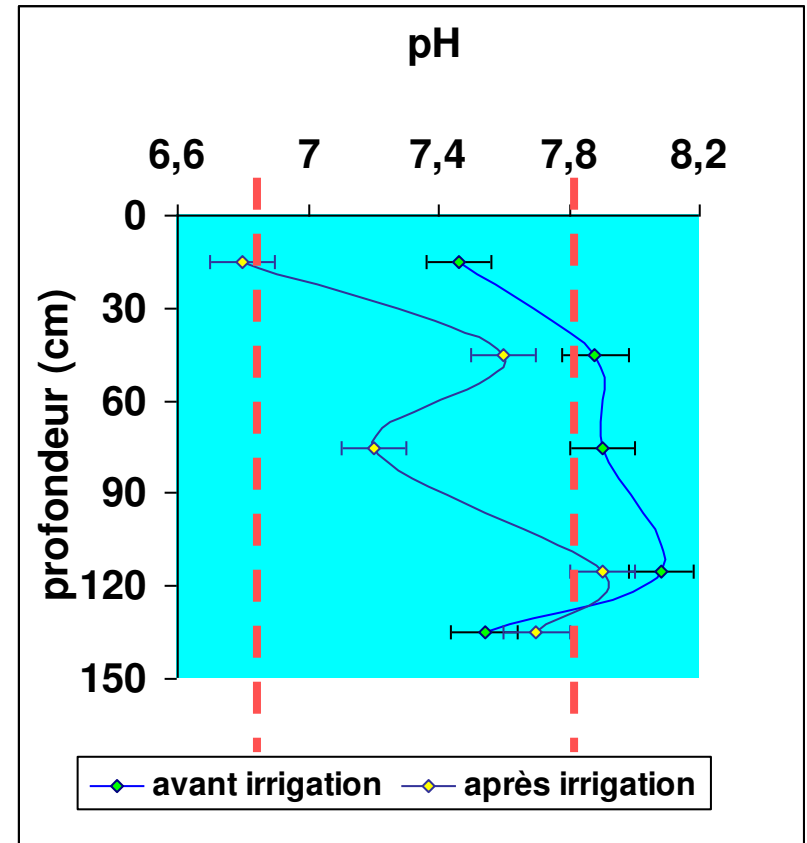
Etat hydrique du sol irrigué: deux milieux, non saturé et saturé, qui contrôlent les mouvements des eaux et des solutés:

- ➔ Milieu non saturé (0 à ~60 cm) lié aux conditions climatiques et à l'irrigation.
- ➔ Milieu saturé à sursaturé (de 60 cm jusqu'à la nappe) sous le contrôle de la nappe.



Effet sur le pH: diminution significative en surface:

- ➔ Affecte l'ensemble des propriétés physico-chimiques.
- ➔ Augmentation de la mobilité de la majorité des métaux.

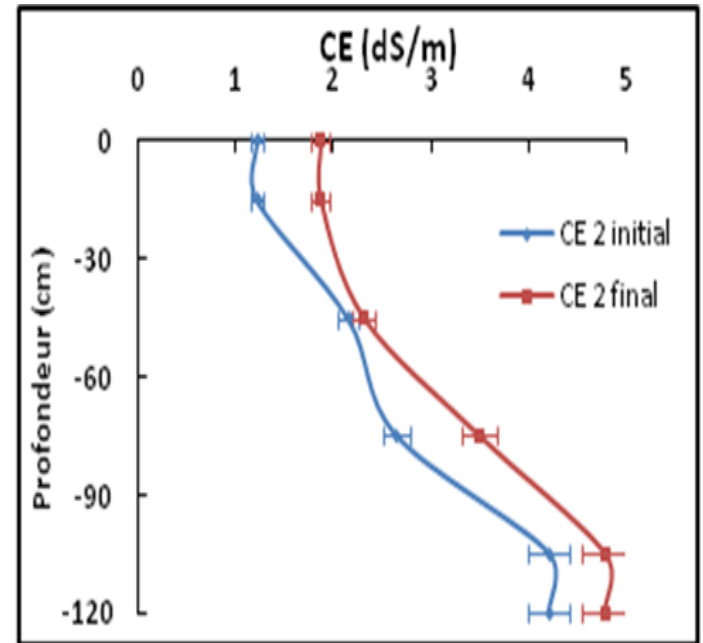


Effet sur la salinité du sol (CEe):

salinisation réversible et régime d'équilibre des sels.

☞ Salinisation estivale liée à la salinité de l'eau d'irrigation et à la remontée des sels de la nappe.

☞ Lessivage hivernal sous l'effet des pluies.

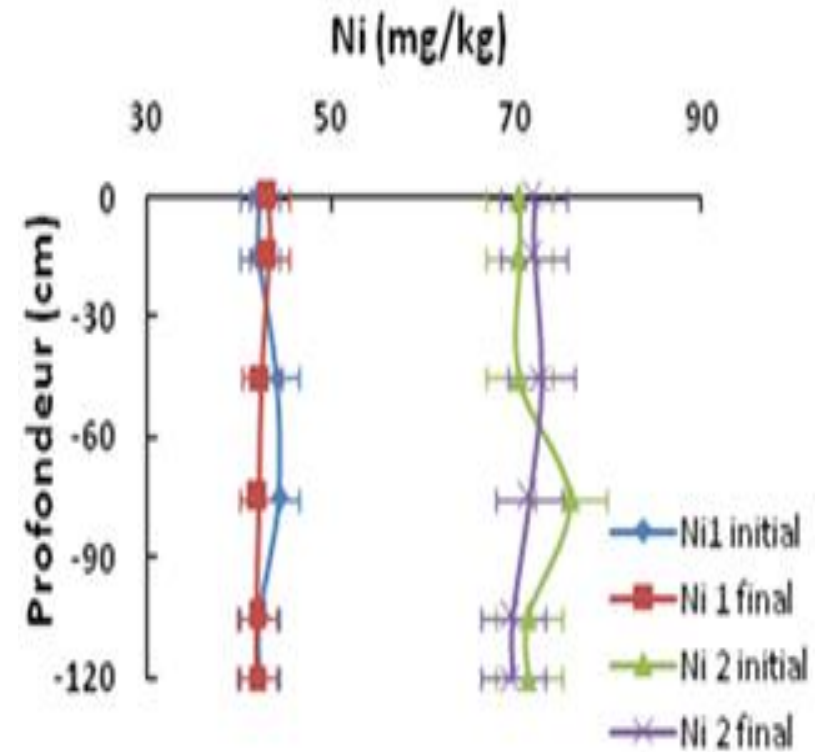


(b)

Effet sur la teneur en métaux lourds

(ETM): augmentation des teneurs en ETM depuis la surface jusqu'à la nappe.

- ➡ Augmentation non significative au cours d'un cycle d'irrigation.
- ➡ Augmentation significative après plusieurs cycle d'irrigation.
- ➡ Teneurs généralement inférieures aux seuils tolérés (AFNOR, ISO).



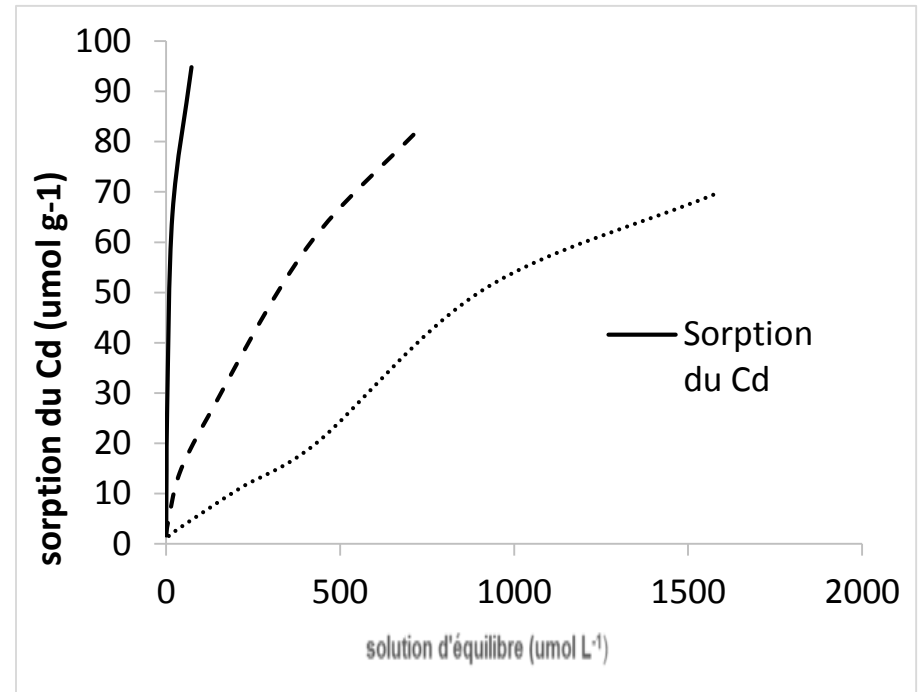
Sorption et désorption des ETM par le sol :

- 👉 Forte sorption des ETM par le sol.
- 👉 Fixation préférentielle du Cu, Pb et Zn par rapport aux autres ETM.
- 👉 Augmentation de la sorption du Ni et Zn en présence d'autres ETM.
- 👉 Capacité de sorption et de fixation des ETM élevées avec une désorption faible.
- 👉 Sélectivité de la capacité de sorption: $\text{Cu} > \text{Pb} > \text{Zn} > \text{Ni} > \text{Co}$.

Effet du NaCl et CaCl₂ sur la sorption du Cd:

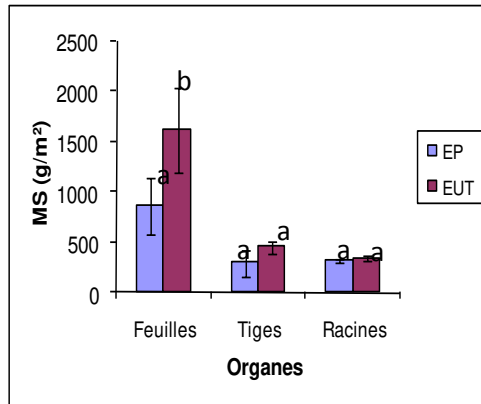
Cd:

- ➡ Diminution de la sorption du Cd en fonction du sel.
- ➡ A faible concentration, Cd est complètement adsorbé.
- ➡ La mobilité du Cd dépend du type de sel.
- ➡ Effet marqué sur la mobilité du Cd²⁺ par CaCl₂ plus que par NaCl; Cd²⁺ est plus sensible à la mobilisation par CaCl₂ que NaCl.

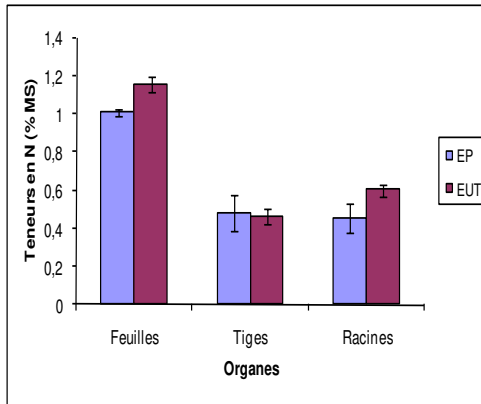


Isothermes de sorption du Cd²⁺

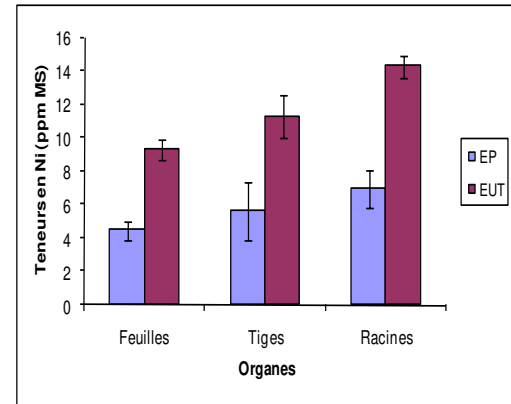
Effet de l'irrigation avec les EUT sur la plante (maïs fourrager)



Matière sèche



Azote



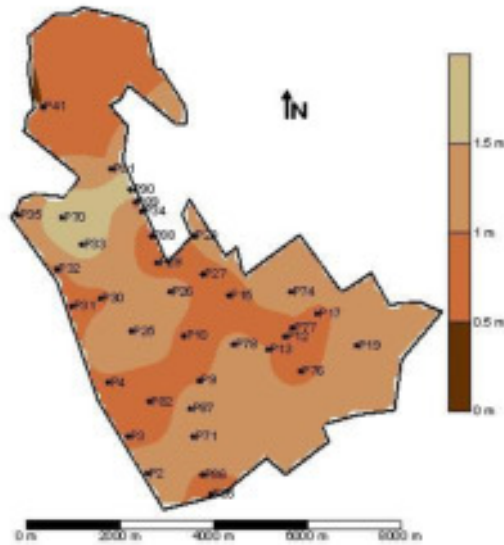
Plomb

Accumulation des ETM au niveau du maïs fourrager:

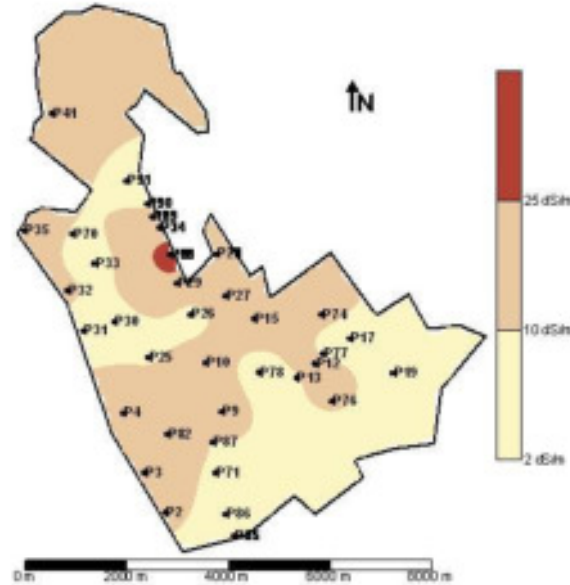
- ➔ Ordre décroissant de stockage dans la plante: Racines – Tiges – Feuilles – Graines – Fruits.
- ➔ Transfert des ETM du sol vers la plante: Zn>Cd>Cu>Mn>Pb>Co>Fe.
- ➔ Taux de transfert des métaux est variable d'une espèce à une autre mais restent faibles dans le système sol- plante.

Effet de l'irrigation avec les EUT sur la nappe

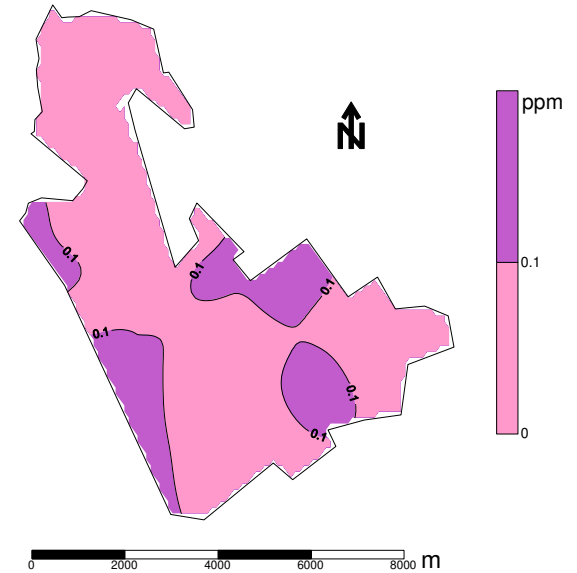
Avril 2008



Profondeur de la nappe



Salinité de la nappe



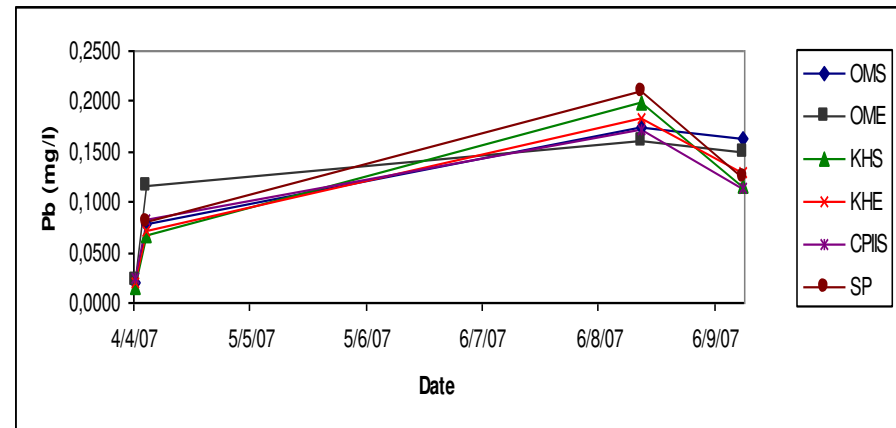
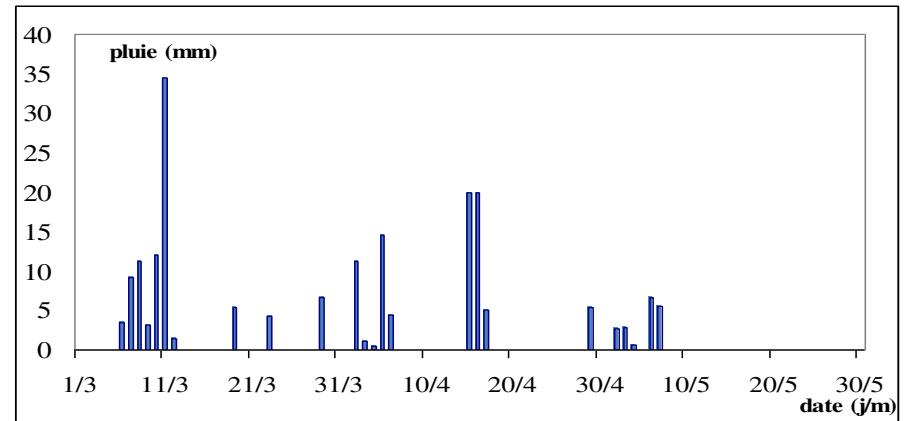
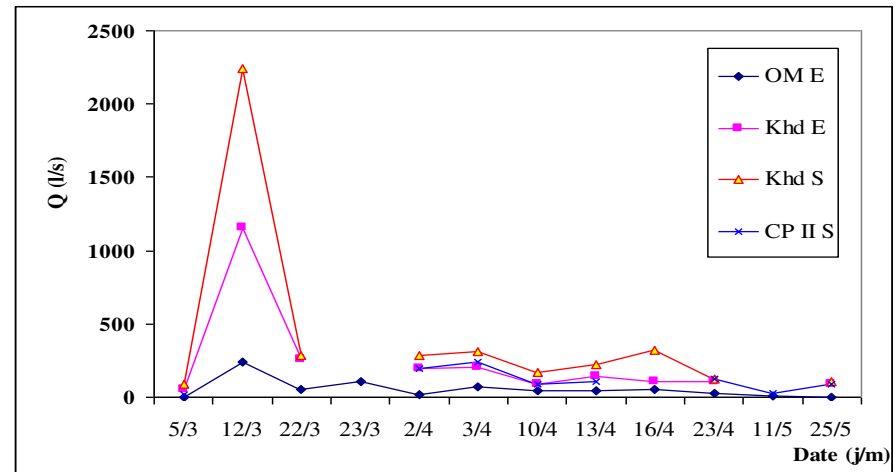
Teneur en Ni

Effet de l'irrigation avec les EUT sur les eaux de drainage



A l'échelle des canaux principaux :

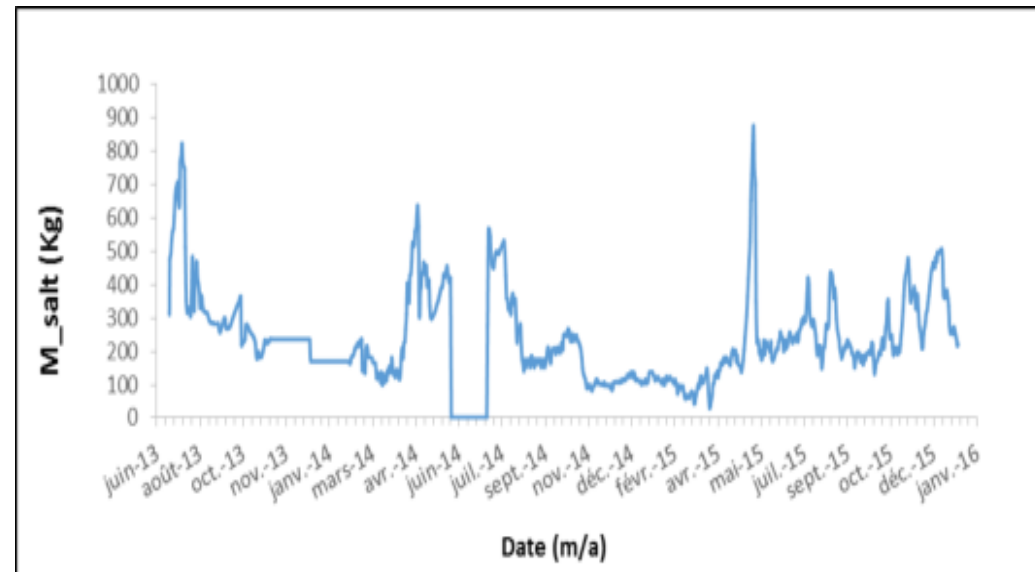
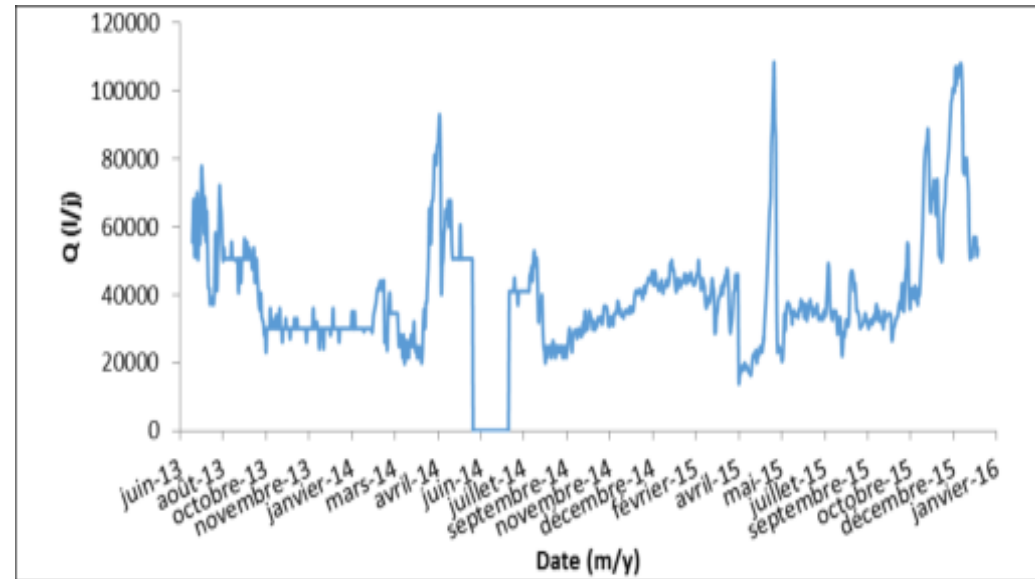
- ➔ Débit: 1 à 2242 l/s selon les évènements pluvieux.
- ➔ Présence d'ETM dans les eaux de drainage.
- ➔ Concentrations des solutions en été et dilution avec les pluies.



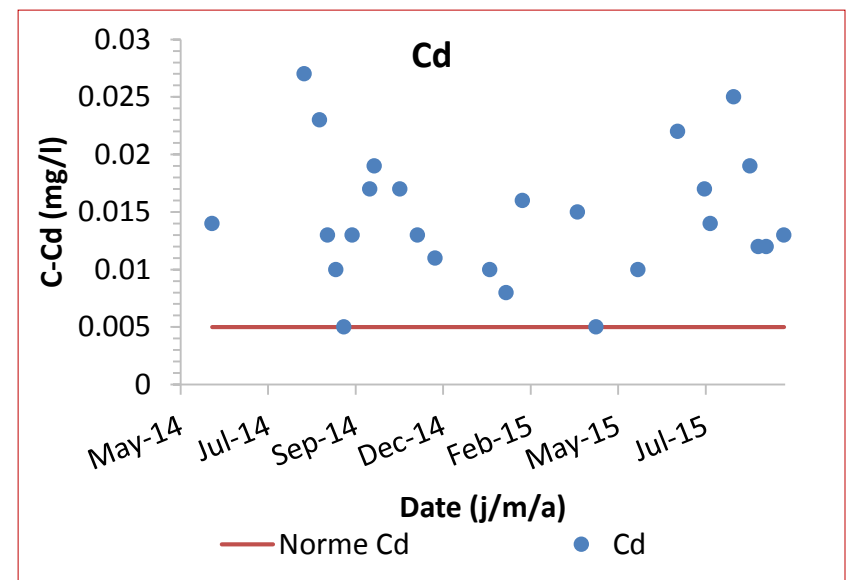
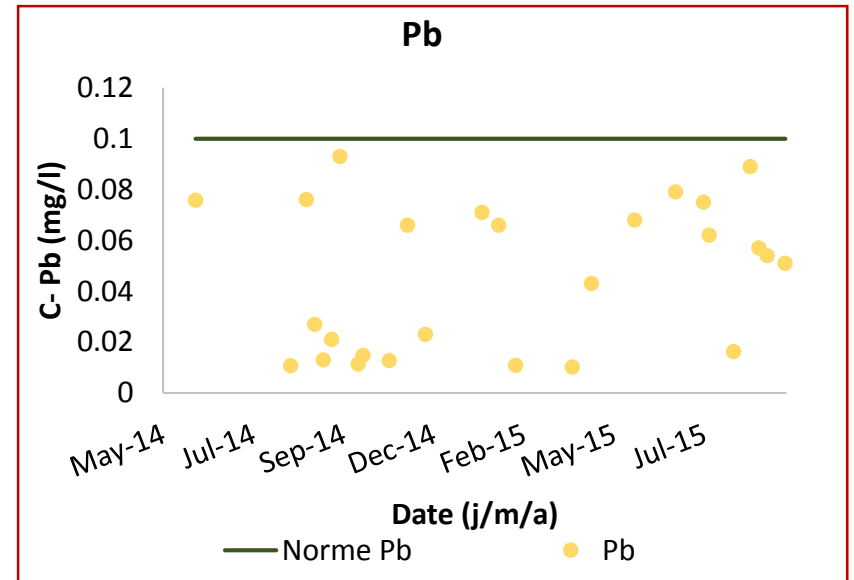
A l'échelle d'un fossé secondaire

(D2):

- 👉 Débit: 0 à 108 m³/j.
- 👉 Volume évacué entre 9/7/2013 et 9/1/2016: ~37 Mm³.
- 👉 Quantité de sel exportée: 0 à 875 Kg/j.
- 👉 Quantité de sel exportée entre 9/7/2013 et 9/1/2016: ~214 t.



- ➡ Teneurs en ETM variables selon l'élément et le temps.
- ➡ Dépassement pour certains des seuils du 106.02.
- ➡ Quantité d'ETM exportée entre 9/7/2013 et 9/1/2016: 12 à 71 kg selon l'élément.



Pour 32 ha et deux années et demi:

➤ 37 Mm³, 214 t. de sels, entre 11 et 71 Kg selon le métal.

? Que serait ces valeurs pour:

➤ 3200 ha

➤ 27 ans (1989-2016)

La présence des métaux et des sels dans les eaux de drainage, met en évidence le risque de contamination de l'écosystème marin.

Ainsi, l'utilisation agricole des EUT suscite, même si les normes sont respectées, la considération de l'effet à long-terme et de l'ensemble du système de la parcelle jusqu'au récepteur final, qui est habituellement la mer.

Recommandations de réglementation

Paramètres	Actuellement	Future
EUT pour l'irrigation	Norm 106.03	En cours de révision
EUT pour le rejet	Norm 106.02	En cours de révision
Sols irrigués par les EUT	-	A créer
Nappe d'un PPI par EUT / Recharge	-	A créer
Eaux drainées dans un PPI par EUT	-	A créer

**VALORISATION AGROFORESTIERE
ET
REMEDIATION DE SOLS SALINS HYDROMORPHES
PAR IRRIGATION AVEC DES EUT**

- ❖ Augmenter le volume des EUT à travers des plantes alternatives pour la valorisation des EUT actuellement perdues.
- ❖ Minimiser les risques sanitaires et environnementaux.
- ❖ Réhabiliter des sols salins hydromorphes en milieu semi aride par des techniques culturales simples et peu coûteuses.



Témoïn



Témoïn



2012



2015

Dans chaque bloc (3), des plantes forestières ont été plantées sur 3 lignes comportant chacune 18 plantes, soit au total 157 plantes.



Eucalyptus gomphocephala



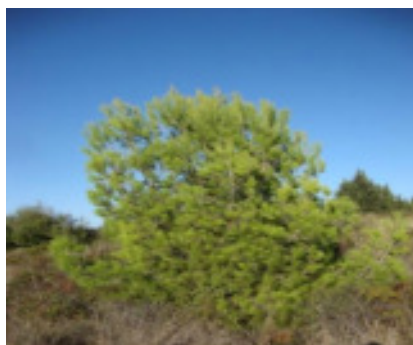
Atriplex nummularia



Acacia cyanophylla



Casuarina glauca

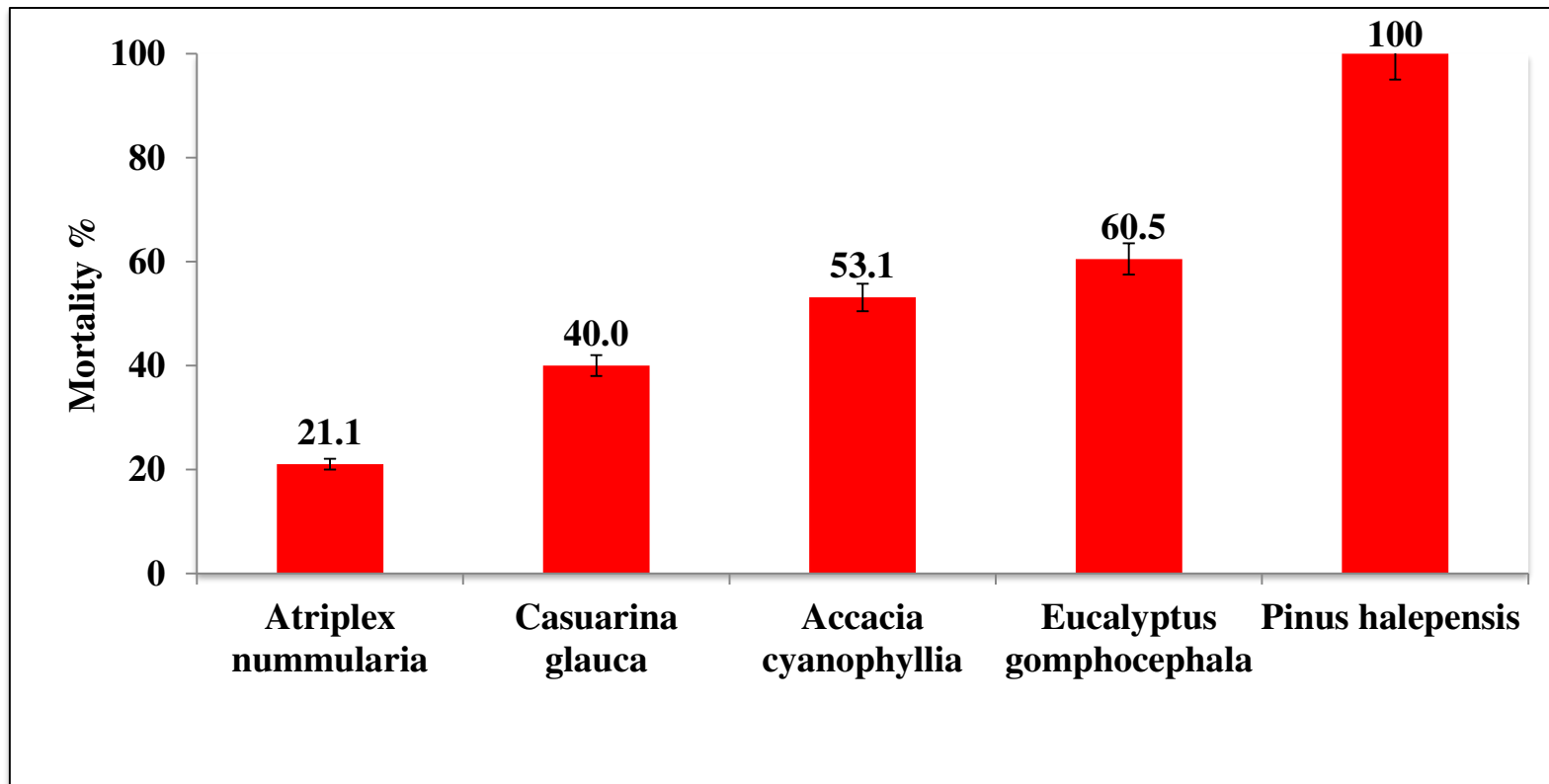


Pinus halepensis



Cupressus sempervirens

Mortalité



Paramètres de croissance

	2012		2015	
	Long. (cm)	Diam.(cm)	Long. (cm)	Diam. (cm)
<i>Eucalyptus</i>	85,8	0,7	161,3	4,6
<i>Cupressus</i>	71,4	0,6	69,9	1,0
<i>Atriplex</i>	62,2	0,6	133,9	6,2
<i>Casuarina</i>	61,7	0,6	155,7	3,2
<i>Accacia</i>	67,0	0,6	240,7	6,4

Atriplex nummulaire apparaît comme la plus tolérante et *Pinus halepensis* la plus sensible aux excès d'eau et de sels

Composition minérale (mg/g DW)

	N	P	K	Na	Cl
<i>Atriplex nummularia</i>					
Leaves	55.0 a	2.4 a	0.6 a	2.4 a	20.3 b
Stems	31.0 b	2.3 a	0.4 a	0.8 b	12.3 b
Roots	29.1 c	1.6 b	0.4 a	0.6 c	60.3 a
<i>Acacia cyanophyllia</i>					
Leaves	72.1 a	2.4 a	0.5 a	1.7 a	16.3 b
Stems	33.1 b	2.2 a	0.3 a	0.5 b	11.0 b
Roots	31.0 b	1.5 b	0.3 a	0.4 b	54.4 a
<i>Eucalyptus gomphocephala</i>					
Leaves	66.0 a	2.1 a	0.4 a	0.8 a	15.7 b
Stems	8.2 b	1.5 b	0.3 b	0.3 b	11.3 b
Roots	23.0 b	1.4 b	0.3 ab	0.5 b	35.6 a
<i>Casuarina glauca</i>					
Leaves	41.8 a	2.2 a	0.5 a	1.4 a	14.7 b
Stems	36.1 a	1.1 b	0.2 b	0.3 b	10.3 b
Roots	25.0 a	1.4 b	0.2 b	0.4 b	35.6 a

➤ **N, P, K, et Na** s'accumulent au niveau des feuilles.

➤ **Cl** se concentrent essentiellement au niveau des racines.

Composition en ETM (mg/g DW)

	Mn	Cd	Cu	Pb	Co	Cr	Ni	Fe	Zn
<i>Atriplex nummularia</i>									
Leaves	32.4 a	0.9 a	8.2 b	3.0 a	2.4 a	1.5 a	4.1 b	214.3 c	42.0 a
Stems	27.7 a	1.2 a	6.7 b	4.1 a	1.7 a	2.1 a	5.3 ab	397.1 b	53.0 a
Roots	18.0 a	2.9 a	15.2 a	6.2 a	4.4 a	5.6 a	8.8 a	539.7 a	89.5 a
<i>Acacia cyanophyllia</i>									
Leaves	29.1 a	1.1 a	5.4 b	2.5 c	1.3 c	1.4 b	2.5 c	143.2 b	57.6 ab
Stems	27.8 a	1.2 a	7.8 ab	4.5 b	2.6 b	3.4 a	4.8 b	407.5 a	54.5 b
Roots	14.8 a	2.2 a	11.0 a	6.3 a	3.7 a	4.6 a	7.4 a	487.8 a	75.5 a
<i>Eucalyptus gomphocephala</i>									
Leaves	83.2 a	0.6 b	6.2 b	3.5 b	2.3 a	2.1 b	4.3 b	371.0 a	42.0 b
Stems	37.0 b	0.8 ab	9.4 ab	4.6 b	3.1 a	2.6 b	6.7 ab	498.9 a	45.9 b
Roots	28.5 b	1.6 a	11.1 a	13.0 a	4.3 a	6.1 a	11.0 a	555.3 a	71.6 a
<i>Casuarina glauca</i>									
Leaves	91.9 a	0.5 b	7.6 a	2.6 a	3.1 a	2.1 a	3.0 a	379.5 ab	29.3 b
Stems	36.2 b	1.0 ab	5.2 a	4.5 a	1.5 a	3.1 a	4.0 a	216.4 b	40.1 ab
Roots	36.5 b	1.9 a	12.2 a	18.2 a	5.7 a	11.4 a	12.3 a	546.4 a	60.4 b

- Accumulation importante du Cd, Cu, Pb, Co, Cr, Fe et Zn dans les racines des différentes espèces.

- ❑ L'adaptation des espèces étudiées aux conditions du terrain offre une alternative pour la réhabilitation des sols salins, ainsi que pour la réutilisation des EUT.
- ❑ Une grande importance doit être attribuée aux espèces du genre *Atriplex*, *Casuarina*, *Acacia* et *Eucalyptus* qui étaient capables de croître malgré les contraintes de la parcelle.