

# EFFET DES EUT SUR LES SOLS & LES EAUX

**Dr Mohamed HACHICHA (INRGREF)** 

SWIM\_Regional Training Course
Wastewater reuse: Quality Control and its Environmental Impacts
12-16 May 2014, Dejerba, Tunisia

### **ENJEUX & DEFI**

Rareté de l'eau

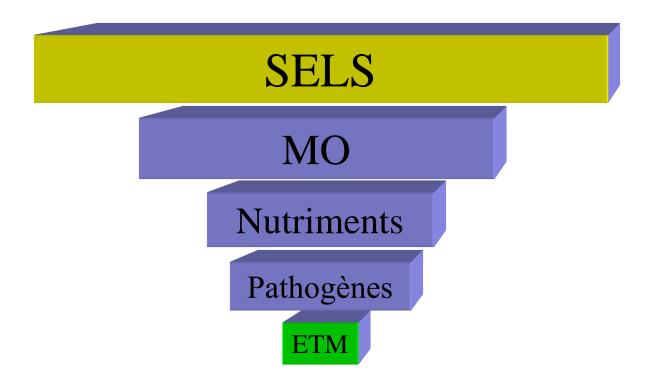
Pression socio-économique

Raréfaction

Valorisation des eaux non conventionnelles (EUT)

Risque de pollution des sols et des ressources hydriques

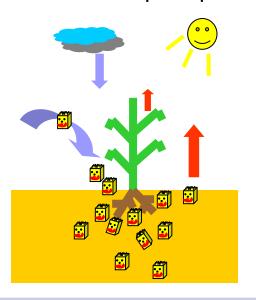
### **CONSITUANTS DES EUT EN TUNISIE**

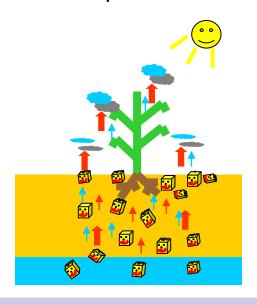


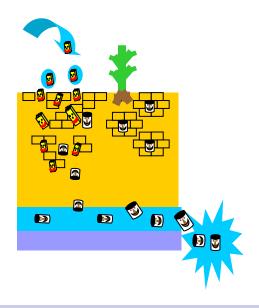
# EFFET **DES SELS**



- L'aridité du climat
- L'irrigation avec une eau salée
- La présence d'une nappe superficielle salée
- Des pratiques agricoles inadaptées







Irrigation à l'eau salée

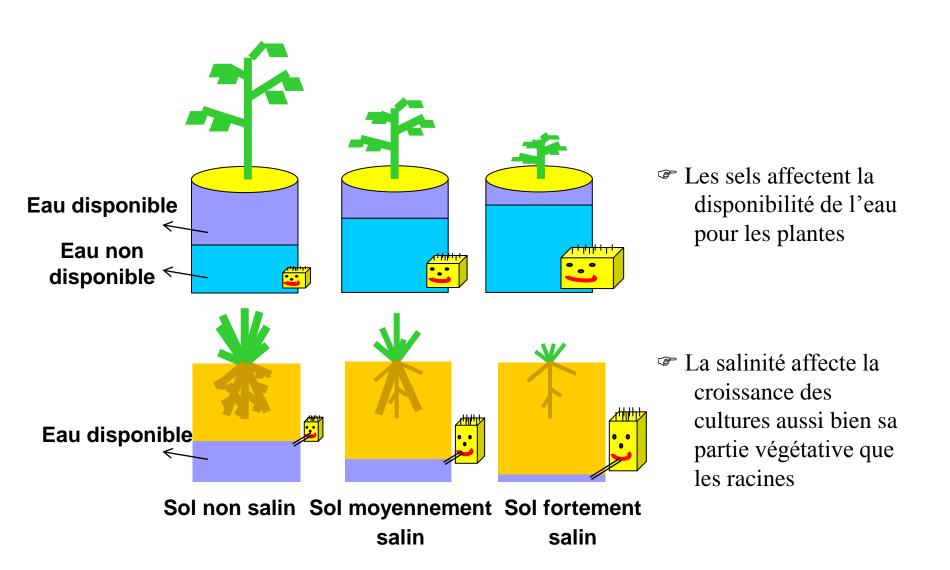
Nappe superficielle salée

Sodisation



- par la décroissance de la disponibilité de l'eau pour les plantes
- par des effets de troubles nutritionnels et de toxicité

### Effet de la salinité sur la disponibilité de l'eau pour les plantes



## 7

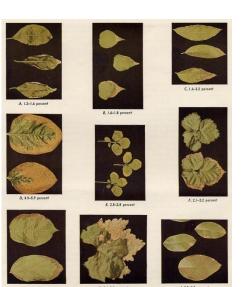
#### L'effet des sels par des troubles nutritionnels et de toxicité

- La deuxième conséquence de la salinisation tient au dérèglement de la nutrition des plantes et au rôle spécifique de certains ions qui s'accumulent dans la plante.
- Quelque fois, la salinité interfère avec la nutrition normale des plantes. Une concentration en ions calcium dans le sol peut empêcher la plante d'absorber assez de potassium (antagonisme).
- La toxicité peut être directe ou indirecte :
  - certains arbres fruitiers sont sensibles à l'accumulation de chlorures ou de sodium.
  - dans d'autres cas, l'accumulation excessive de sodium provoque indirectement des carences en calcium et magnésium.

#### Effet de toxicité des sels

- Certains sels sont toxiques et peuvent causer des dommages ou tuer les plantes.
- Plusieurs cultures peuvent être sévèrement affectées par les sels de chlorures de sodium.
- Les sels de bore sont toxiques à des teneurs extrêmement faibles.





#### Toxicité par Na:

- Brûlures des bouts des feuilles et brûlures marginales (A,B,Cet D)
- Brûlures variables et interveinales (E et F)
- Brûlures variables (G et H)
- Signes variables (I)

#### Toxicité par CI:

- Brûlures des bouts des feuilles et brûlures marginales(A,B,C,D,E et F)
- Brûlures variables (G et H)
- Léger bronzage et brûlures (I)



- La salinité a différents effets sur la qualité des cultures.
- Elle cause généralement une réduction de la taille des produits agricoles, des brûlures sur les feuilles et une perte des propriétés argano-leptiques dans les fruits.
- Certaines cultures sont plus affectées que d'autres
- Ainsi, l'augmentation de la salinité affecte la croissance des végétaux suivant leur tolérance aux sels.
- Mais la salinité peut engendrer des effets positifs tel qu'une augmentation de la teneur en sucre ce qui est appréciée dans les carottes et le melon et une fermeté pour l'oignon.

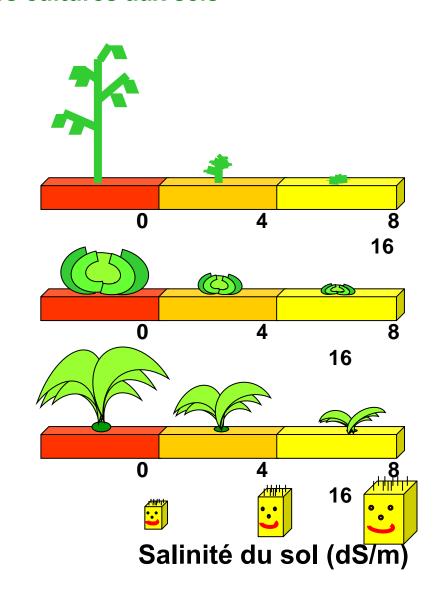


#### Tolérance des cultures aux sels

Plantes sensibles Exp: Haricot

Plantes moyennement sensibles Exp: Laitue

Plantes tolérantes Exp: Betterave à sucre

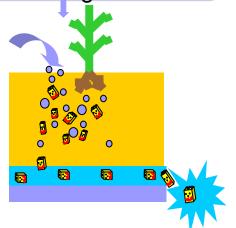


La gestion des sols affectés par les sels et l'hydromorphie requière une combinaison de techniques agronomique et de gestion qui dépendent largement de :

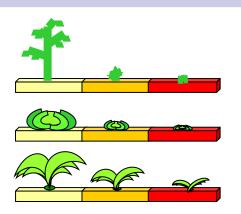
- ≻la disponibilité en eau
- des conditions climatiques
- >des cultures
- >et des moyens financiers

# Techniques hydrauliques : drainage et lessivage

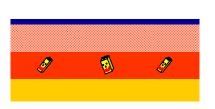




### Techniques biologiques



# Techniques hydrauliques : systèmes d'irrigation





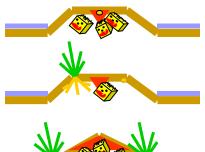




### Techniques culturales

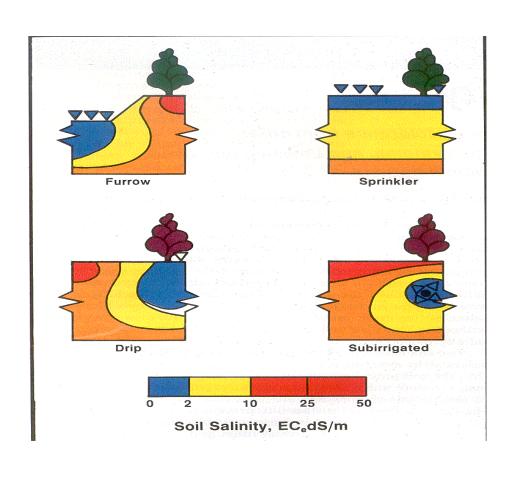








### Distribution des Sels dans les sols influencés par différents Systèmes d'Irrigation



٧

- L'utilisation d'eau salée pour l'irrigation engendre la salinisation du sol dont on peut s'affranchir en partie en apportant un supplément d'eau qui permet le lessivage des sels.
- La formule proposée par Rhoades (1974) donne une solution :

### EFFET DES ETM

**REVUE** 



### LES ETM

- Métaux Lourds = Eléments métalliques naturels dont la masse volumique dépasse 5 g/cm<sup>3</sup>
- Présents dans l'environnement sous formes de traces.
- Toxiques à de fortes doses.
- Oligo-éléments : indispensables à très faibles doses, toxiques à de fortes doses.
- L'arsenic (As), chimiquement n'est pas un métal, mais il est généralement compté dans la liste des ETM pour sa toxicité.



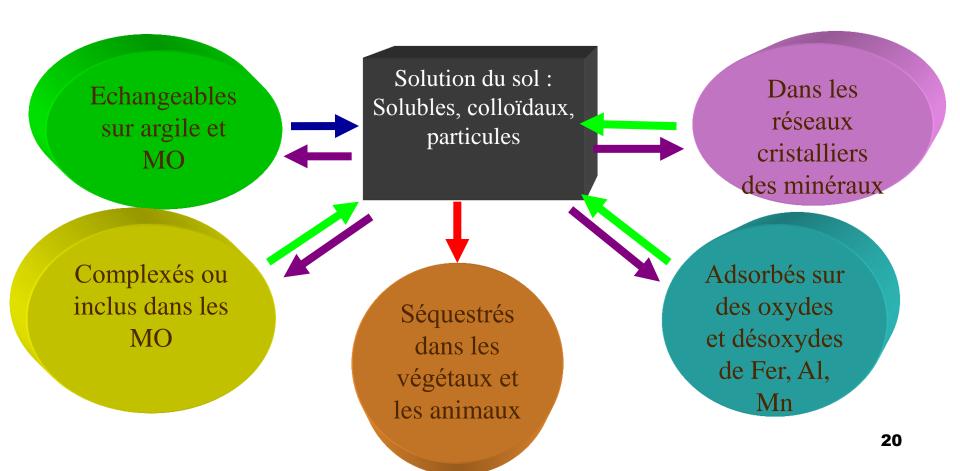
### Mobilité et biodisponibilité

- Biodisponibilité : risque associé à la présence des ETM dans les sols est la possibilité de transfert vers les sols et les plantes.
- Elle varie en fonction du type du sol et des processus physicochimiques qui y règnent.
- Le pH, le potentiel d'oxydoréduction lié à l'excès de l'eau, la MO sont les facteurs essentiels expliquant la biodisponibilité des ETM dans les sols.



- Les ETM existent sous différentes formes chimiques : ions libres ou liés avec des substances organiques.
- Les formes les plus toxiques sont les formes ioniques, les moins toxiques sont les métaux liés aux substances organiques.
- La concentration excessive d'ions libres mène à des dérèglements du métabolisme cellulaire.
- Les formes facilement extractibles sont susceptibles d'être assimilées par les plantes. Elles sont à l'origine des phénomènes de carence et des phénomènes de toxicité.

# Différentes formes et localisation des métaux lourds





- L'étude des sols permet d'éviter un contresens et une impasse:
  - □ Le contresens consiste à confondre concentration et contamination (apport par une activité humaine), voire même pollution (apport constituant un danger).
  - □ La détermination d'un fond pédogéochimique permet d'évaluer les concentrations en ETM en absence de toute contamination d'origine anthropique.
  - L'impasse consiste à fixer une valeur unique de normalité. Au delà d'un certains seuil de contaminant, un sol serait considéré comme pollué.



### **Normes**

- Plusieurs pays ont mis en œuvre des normes qui déterminent la concentration maximale en ETM recommandées dans les EUT d'irrigation et dans le sol.
- Le terme valeur limite fixée pour les sols n'est pas significatif.
- Il n'est pas raisonnable de fixer une seule valeur limite pour tous les types du sol qui sont divers quant à leu composition en ETM.
- Plusieurs pays font varier leurs valeurs seuils, soit en fonction de propriétés pérennes du sol (% argile, % MO), soit en fonction de l'usage future du sol.



### Teneurs maximales en ETM - NT 106.03

Paramètres	Concentration maximale admissible		
рН	6,5 -8,5		
CE	7000 μS/cm		
Chlorures (Cl)	2000 mg/l		
Fluorures (F)	3 mg/l		
Cadmium (Cd)	0,01 mg/l		
Cobalt (Co)	0,1 mg/l		
Chrome (Cr)	0,1 mg/l		
Cuivre (Cu)	0,5 mg/l		
Fer (Fe)	5 mg/l		
Manganèse (Mn)	0,5 mg/l		
Nickel (Ni)	0,2 mg/l		
Plomb (Pb)	1 mg/l		
Zinc (Zn)	5 mg/l		

# Limites recommandées pour les ETM dans les EUT (US Nat. Acad. Sc., 1973)

Elément	Utilisation de long terme (mg/l)	Utilisation de court terme (mg/l)
Al	5	20
As	0.1	2
В	0.75	2
Cd	0.01	0.05
Cr	0.1	1
Co	0.05	5
Cu	0.2	5
Fl	1	15
Fe	5	20
Pb	5	10
Mn	0.2	10
Mo	0.01	0.05
Ni	0.2	2
Se	0.02	0.02
Zn	2	10



# Charge maximale en ETM permise sur les terres agricoles dans quelques pays européens

(Kg/ha/an; Biwas, 1987)

Pays	Cd	Cu	Cr	Pb	Hg	Ni	Zn
France	5,4	210	360	210	2,7	60	750
Allemagne	8,4	210	210	210	5,7	60	750
Pays-Bas	2,0	120	100	100	2,0	20	400
Angleterre	5,0	280	1000	1000	2,0	70	560

### w

### Teneurs maximales en ETM - Norme EU

Eléments	Norme NF U 44-041 (mg/kg de MS)	Directive européenne n°86-278 du 12 juin 1986 (mg/kg de MS)
Cd	2	1 à 3
Cr	150	
Cu	100	50 à 140
Hg	1	1 à 1,5
Ni	50	30 à 75
Pb	500	50 à 3 00
Se	10	
Zn	300	150 à 300



### Effet du pH sur la mobilité des ETM

- Les ETM passent d'une forme à une autre sous l'influence de plusieurs facteurs : modification du pH, degrés d'aération, température, hydratation.
- Les caractéristiques des sols comme le pH est un des paramètres majeurs influant sur la biodisponibilité des ETM.
- Lorsque le pH du sol > 7, la concentration des ETM diminue.
- Dans les sols acides, les ETM sont plus mobiles.
- La phytotoxicité des ETM est plus élevée dans les sols acides que dans les sols neutres ou alcalins.
- Le maintien du pH dans la gamme de 6,5 ou plus élevé par le chaulage, réduit la disponibilité des ETM.



# Concentrations maximales permises en ETM dans le sol en fonction du pH du sol

(mg/kg MS; Dép. Env. U.K., 1989)

Elément	pH<5,5	5,5≤pH<6,0	6,0≤pH≤7,0	pH>7,0
Zn	200	250	300	450
Cu	80	100	135	200
Ni	50	60	75	110

### Effet du pH sur la mobilité des ETM

75%

-50%

25%

100%

75%

-50%

25%

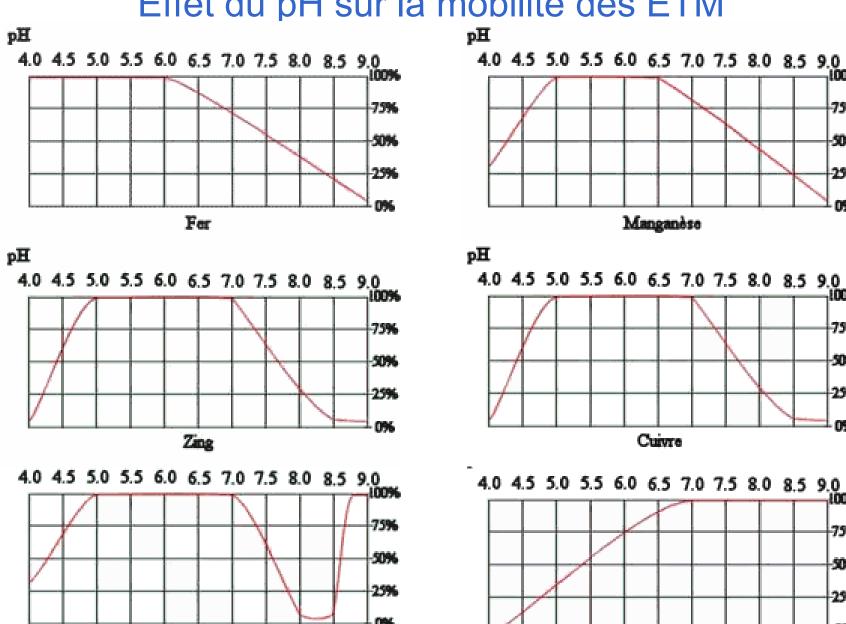
100%

75%

-50%

25%

Molybdene



Вога



### Mobilité des ETM en Sol calcaire

- La majorité des ETM sont fixés et accumulés dans le sol.
- Plus de 85 % des ETM sont accumulées à la surface du sol.
- FLe carbonate de calcium, les oxydes de métal et les MO jouent un rôle important dans la concentration des ETM dans le sol. Les carbonates de calcium interviennent dans la fixation des ETM, soit par adsorption, par précipitation d'hydroxydes ou de carbonates, ou encore par insertion dans le réseau de CaCO3.



### Mobilité des ETM en Sol hydromorphe

- Les zones hydromorphes sont le siège d'une accumulation d'ETM excepté le Pb. L'accumulation est notable pour Cd et Ni, moins nette pour Cu et Zn.
- L'accumulation de Cu et de Ni est directement liée à l'augmentation du taux de MO dans les sols hydromorphes et à l'augmentation du degré d'anoxie du milieu.
- Les éléments libérés s'accumulent et leur migration et redistribution au sein du profil interviennent dans les sols lessivés hydromorphes avec migration vers le bas (éventuellement avec les argiles et le fer).



### Effet de la MO sur la Mobilité des ETM

- L'application d'amendements organique peut diminuer la disponibilité des ETM.
- La MO participe à la rétention des ETM qui peuvent être retenus sous forme échangeable (donc assez facilement mobilisable) ou à l'état de complexes dans lesquels ils sont plus énergiquement fixés.
- L'apport de MO permet d'immobiliser les ETM du sol qui ont pour elle une grande affinité, mais la minéralisation ultérieure peut les remettre en solution, il ne s'agit donc que d'une immobilisation temporaire.



- Une valeur élevée de CEC est associée à une teneur plus élevée en argile et en matière organique.
- Sol sableux: CEC faible > capacité d'adsorption faible > teneur cumulative faible
- Sol argileux: CEC élevée > capacité d'adsorption élevée> teneur cumulative élevée

### Valeurs cumulatives limites des ETM en Ft de CEC (pH>6,5; US EPA, 1987)

ETM	Teneur cumulative dans le sol en fonction de CEC (kg/ha)		
	CEC<5	5≤CEC<15	CEC≥15
Pb	560	1120	2240
Zn	280	560	1120
Cu	140	280	560
Ni	140	280	560
Cd	5	10	20



# Quantités maximales pouvant être accumulées dans le sols en fonction de la texture (Baker et al., 1985)

ETM	Texture		
	Sableuse	Limoneuse	Argileuse
Cd	0,5	0,5	5
Zn	10	30	60
Cu	5	14	30
Ni	2	6	10
Pb	20	60	110
Cr	20	60	110

# Devenir des métaux potentiellement biodisponibles lors du changement des conditions chimiques (US EPA, 1991)

Type du métal	Condition initiale	Changement environnemental	Résultat
Carbonates, oxydes et hydroxydes	Sels dans les sédiments	Baisse de pH	Libération des métaux avec la dissolution des oxydes
Métaux adsorbés sur les oxydes de fer	Absorbés dans les sédiments	Etablissement des conditions réductrices ou acides	Les oxydes de fer deviennent instables et libèrent les métaux
Métaux chélatés aux substances chimiques	Chélatés dans les sédiments	Les métaux sont fortement immobilisés quelles que soit les conditions d'oxydoréduction	
Métaux liés aux sulfures	Précipités très insolubles	Etablissement des conditions oxydantes	Les sulfures deviennent instables s'oxydent en sulfates et libèrent les métaux

### EFFET DES ETM

ETUDE DE CAS



# L'irrigation avec les EUT dans le contexte tunisien:

### Plusieurs Travaux

- > A court terme
- > Effet sur les cultures
- Effet sur les propriétés physico-chimiques des sols
- Effet sanitaire (bactéries, parasites, etc)

### Peu de Travaux

- > A long terme
- > Effet des ETM sur le sol
- > Effet des ETM sur les eaux

# RISQUE A COURT TERME

# **Evolution sous irrigation**

# Effet physique

- L'impact des EUT sur les caractéristiques physiques du sol dépend de la texture :
- Améliore la stabilité structurale des sols sableux.
- Réduit l'infiltration de l'eau dans les sols argileux.

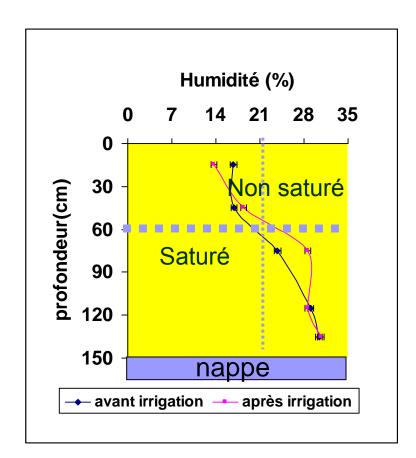






# Variation de l'état hydrique du sol – PPI Cebala

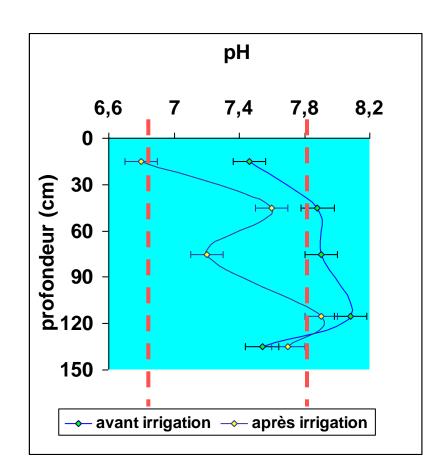
- Augmentation de la teneur en eau à partir de 60 cm de profondeur.
- Couche 0-60 cm directement liée au régime climatique et à l'irrigation.
- Couche >60 cm sous la dépendance de la nappe, assez saturée en eau, établissement de conditions oxydoréductrices permettant la libération des ETM insolubles dans le sol.





# Variation du pH du sol

- Légère diminution du pH du sol après le cycle d'irrigation dans l'horizon de surface.
- Ceci agit sur l'ensemble des processus physico-chimiques dépendants du pH du sol.
- Augmentation de la solubilité des ETM dans le sol et leur libération.

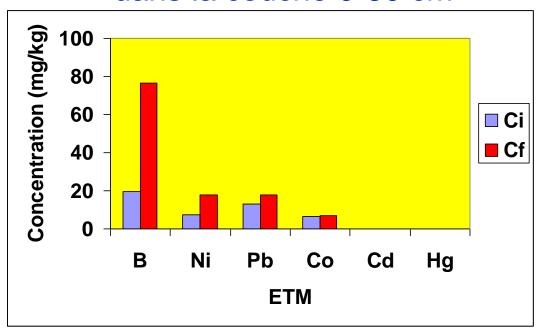


# Qualité moyenne des EUT

	Qtés mesurées (mg/l)	Valeurs tolérées
		(mg/l)
Cl	852	2000
Na	493	30
Azote N	0,875	90
В	0,350	3
Cd	0,005	0,01
Со	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

# M

# Variation de la teneur du sol en ETM dans la couche 0-30 cm

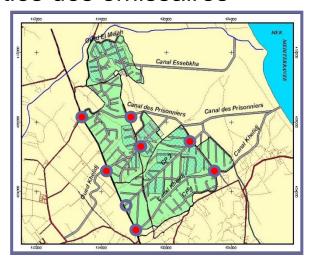


- Cd et Hg restent faibles à la fin de l'irrigation.
- La teneur des autres ETM étaient élevées même avant irrigation.
- Pour le Co, la teneur a légèrement évolué.
- Augmentation significative du Pb, Ni et surtout B.
- B quadruple.

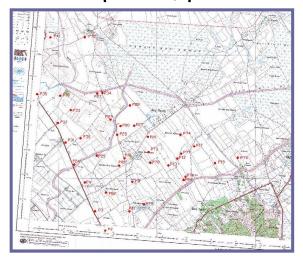
Caractérisation des eaux de drainage & de la nappe

# Matériel & Méthode

Eaux de drainage : Débits et qualités;
 Entrées et Sorties des émissaires



Nappe : Profondeur et qualité; piézo.









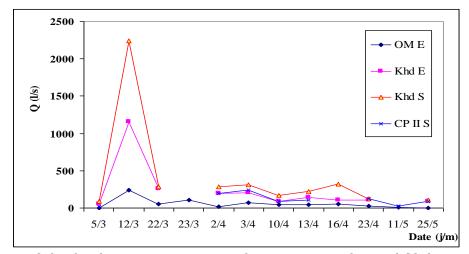




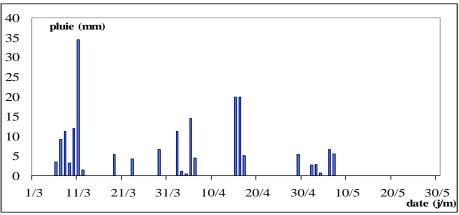


# CARACTERISATION DES EAUX DE DRAINAGE Débit

- Débit : 1 à 2242 l/s
- Forte variabilité du débit (CV>50 %)
- Régime : de pointe en période hivernale, tarissement en été

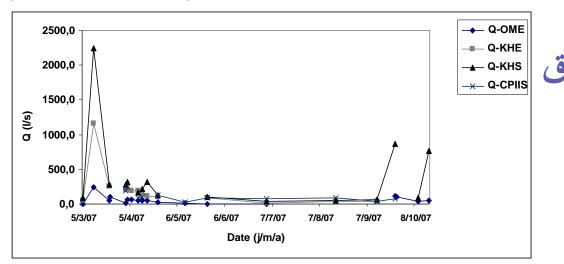


Variation au cours du temps des débits (l/s; 5/3 – 25/5/07)



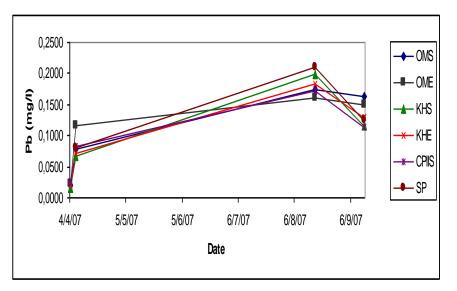
Variation de pluie (mm; 5/3 – 25/5/07)

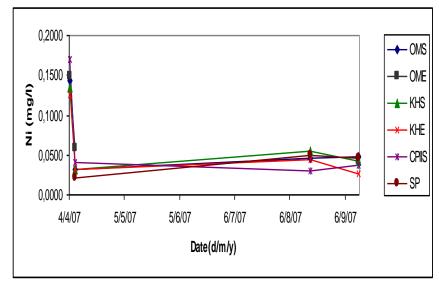
# تطور خصائص مياه الصرف (قعباب وحشيشة، 2009)



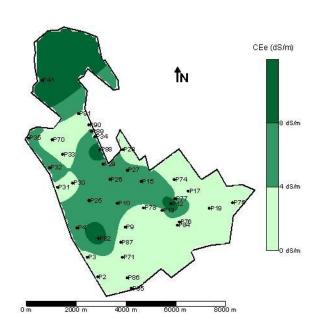
# النيكل

# الرصاص

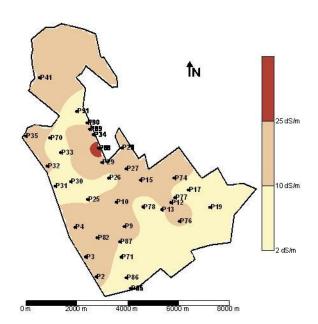




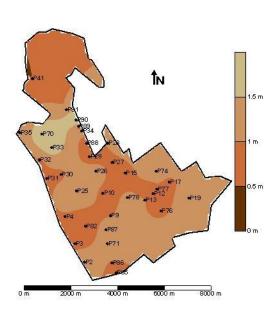
# Spatial variation of soil salinity and hydrological characteristics of the groundwater – April 2008



**Soil Salinity** 

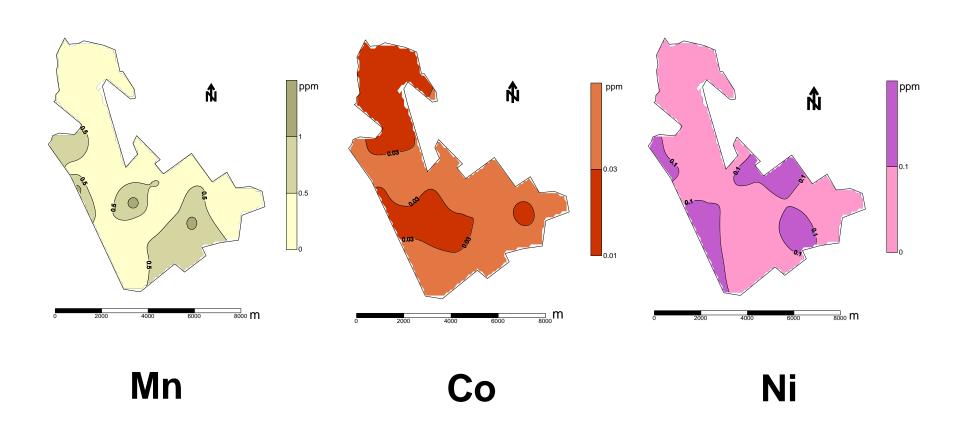


**Groundwater salinity** 



**Groundwater level** 

# Spatial variation of some heavy metals in the groundwater – April 2008

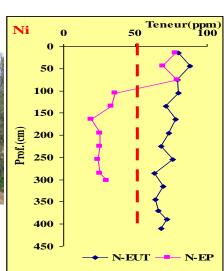


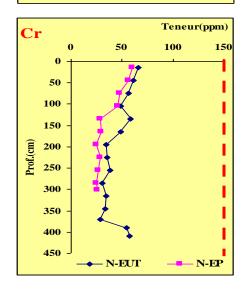
# RISQUE A LONG TERME

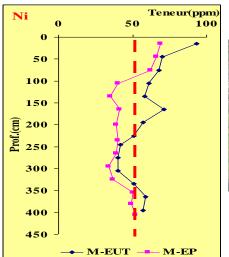
# Variation en profondeur : Ni et Cr

# Nabeul

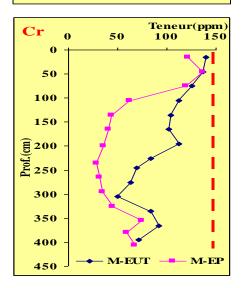






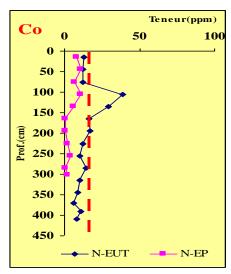


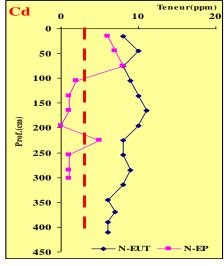


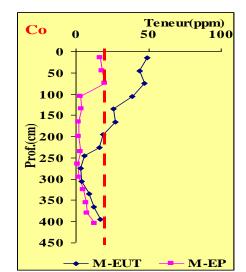


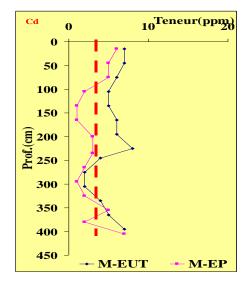
# Variation en profondeur : Co et Cd

### **Nabeul**









# Mornag

# М

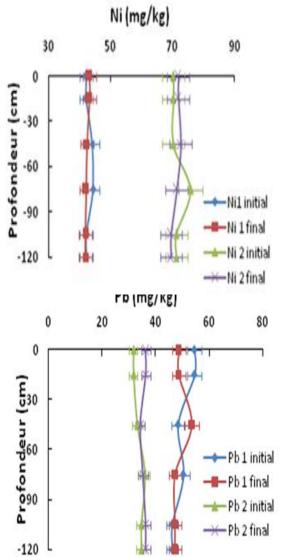
### Short and Long term variation of some heavy metals

### at the parcels scale

- ▶2 parcels (3 ha) irrigated from 1989, about 10 times for Parcel P1 and 15 times for Parcel P2.
- Soil samples between 0 and 1,2 m before and after irrigation summer

### MTE:

- No significant accumulation after one irrigation cycle.
- Significant accumulation after several years of irrigation.
- Vertical transfer of MTE



# Soils effect by TWW (Metallic Traces Elements) Sorption and Desorption of MTE by soils (Sahraoui Thesis)

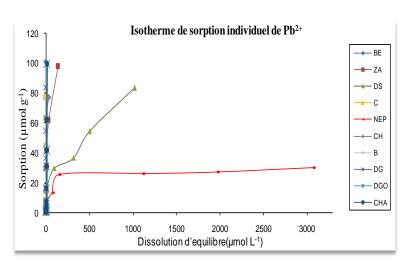
Analysis sorption and desorption of > some MTE (Co, Cu, Ni, Pb and Zn) of different Tunisian soils irrigated by TWW.

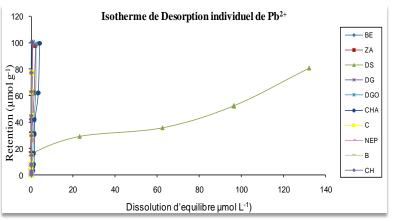
High sorption of MTE with the ➤ sequences of the selectivity:

Cu=Pb=Zn>Ni>Co

**Low desorption of MTE.** ➤

Difference between the soils.





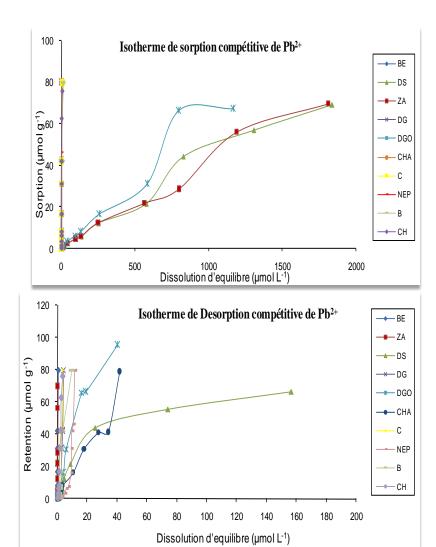
Examples of individual sorption and desorption of Pb for different

Fixation of Pb, Cu and Zn higher than > the others MTE.

High sorption and low desorption for all > soils.

Sorption sequences: > Cu>Pb>Zn>Ni>Co.

Relation between sorption and the >
others soils characteristics, in
particular CEC, MnOxyde.



Examples of competitive sorption and desorption of Pb for different Tunisian soils

М

Summary of the main characteristics of the waters and soil:

- ▶pH: basic -> low mobility of MTE.
- EC: medium in soil, high in groundwater, very high in drainage water
  - big evacuation of salts to the sea.
- MTE: In accordance with the TWW norm, accumulation for some in the soil, transfer to the groundwater, drainage water and the sea.
- ✓ Pollution risk of the sea ecosystem.
- ✓ Need systemic approach and long term on using TWW.

# **Recommandations for the policies**

Parameters	Present	Future
TWW for irrigation	Norm 106.03	On going revision
TWW outlet	Norm 106.02	On going revision
Irrigated soils	-	Must created
Shallow groundwater	-	Must created
Drainage water	-	Must created