

Gestion des sédiments de Dragage riches en sels par la voie de la PHYtooremédiation (DPHY).

Techer Isabelle, Sordes Floriane, Sahli Slimane,
Cothenet Solène, Denes Mathilde (UPR CHROME)

Prohin Philippe
(Nymphaea Distribution)

Cavailles Michel
Roux Yann
Port Camarque

Rosso Christophe
Grau du Roi
Parame Willy
Pérols

Fauconnier Nicolas
CISMA Environnement

Bancon-Montigny Christelle
(HydroSciences Montpellier)

Souche Jean Claude
(IMT Ales)

Dragage – canal du Port de Pérols (crédit I. Techer)



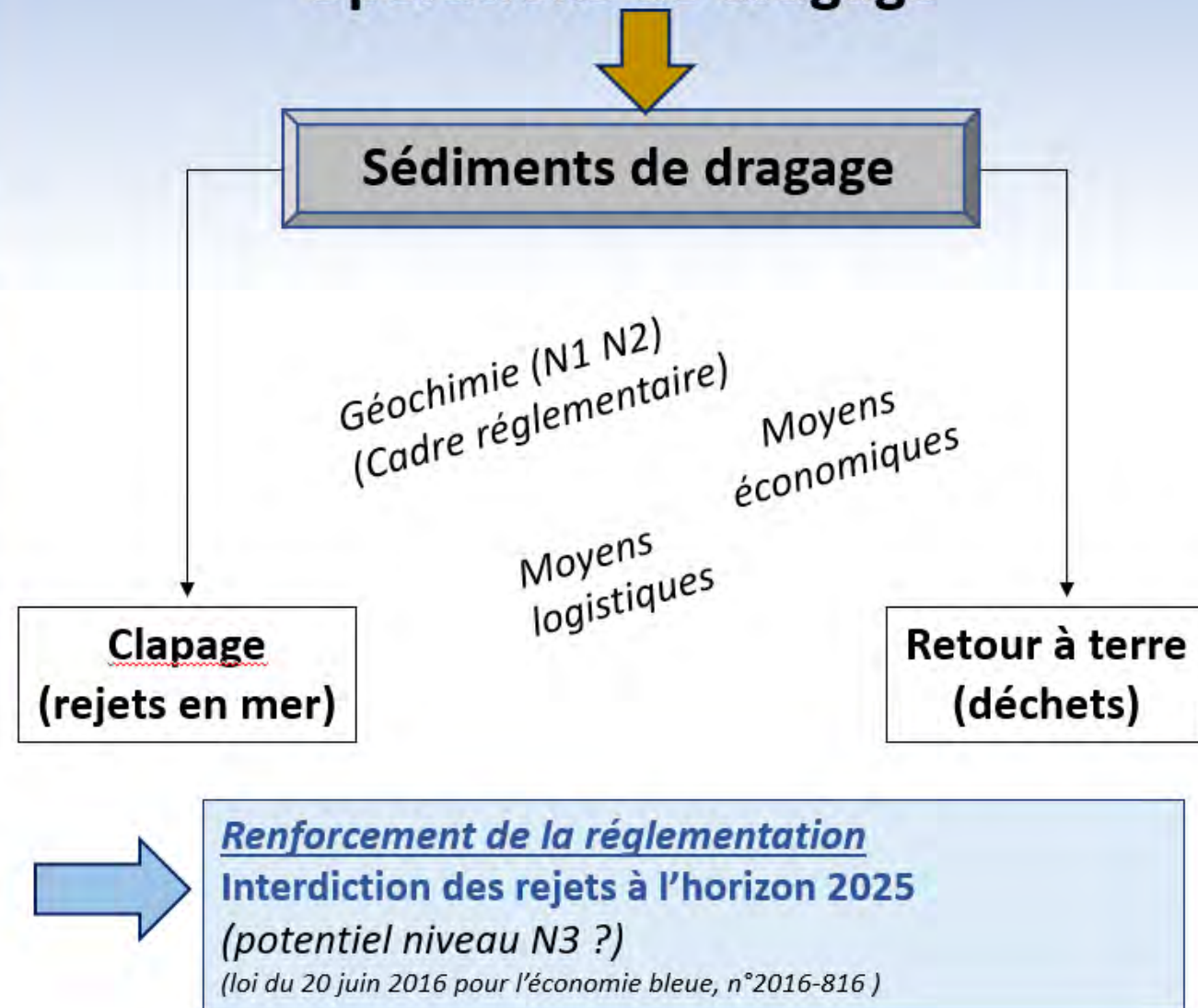
- En France : en moyenne **31 Mt** dragués / an
- 74% des sédiments sont clapés

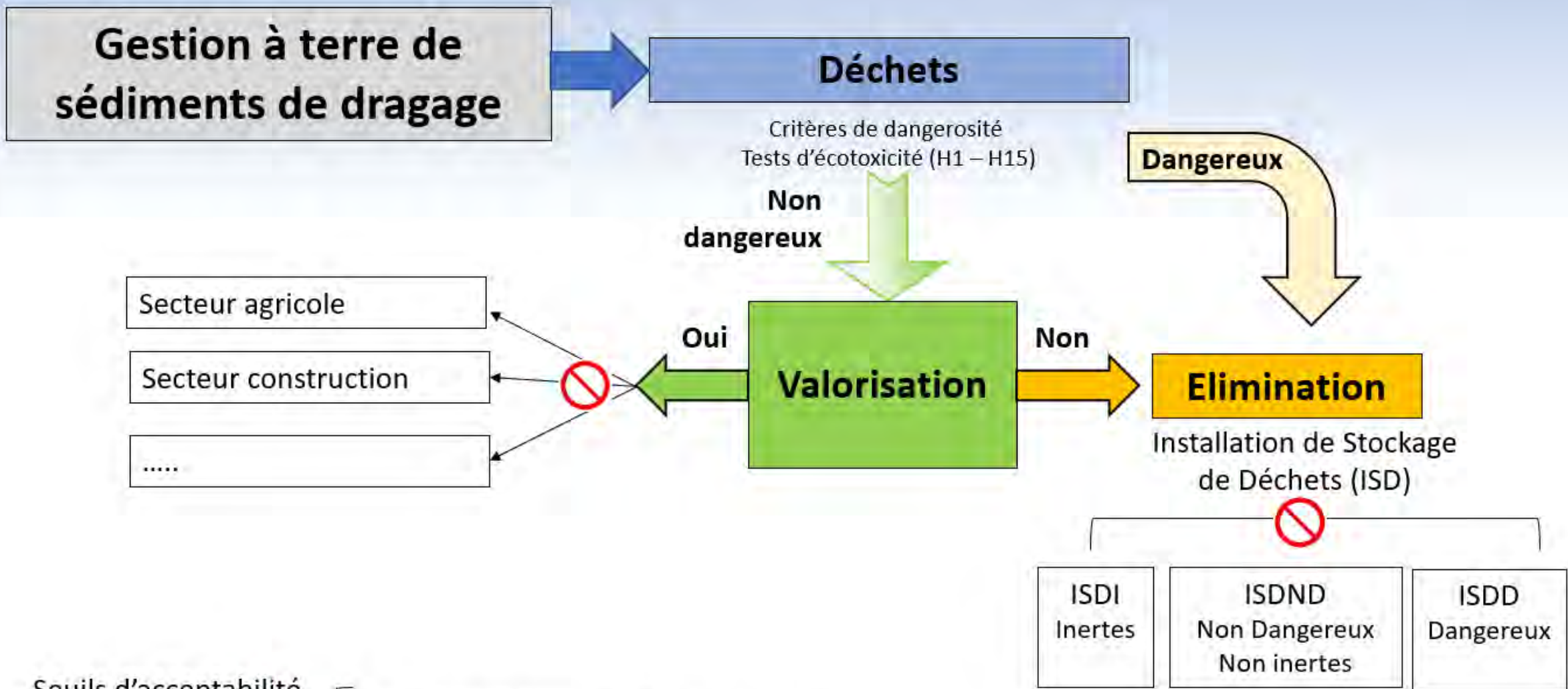
(Cerema, 2019. Enquête dragage 2015 Enquête nationale sur les dragages des ports maritimes)

Article 85

A partir du 1er janvier 2025, le rejet en mer des sédiments et résidus de dragage pollués est interdit. Une filière de traitement des sédiments et résidus et de récupération des macro-déchets associés est mise en place. Les seuils au-delà desquels les sédiments et résidus ne peuvent être immergés sont définis par voie réglementaire.

Opérations de dragage





Seuils d'acceptabilité



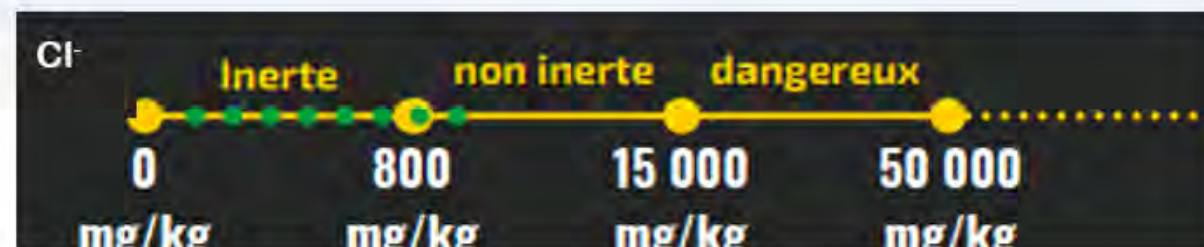
Qualité géochimique des matériaux ETM, composés organiques

Salinité (Cl, SO₄²⁻)

❑ Seuils de salinité des déchets acceptés en Installation de stockage

Seuils Déchets: ISDI ISDND IDDD (Arrêté du 12 décembre 2014)
Seuils Déchets de sédiments: ISDS (Arrêté du 15 février 2016)
 (analyses sur lixiviat : valeurs exprimées en mg/kg de matière sèche selon test normalisé NF EN 12547-2)

	ISDI	ISDND / ISDS	ISDD / ISDSD
	classe 3	classe 2	classe 1
FS (fraction soluble)	4000	60000	100000
Chlorures	800	15000	25000
Fluorures	10	150	500
Sulfates	1000	20000	50000



❑ Valorisation en technique routière

Valeurs seuils d'acceptabilité des matériaux routiers en technique routière (Dia, 2013)

Quantités relarguées à L/S = 10l/kg (NF EN 457-2 ou NF EN 12457-4)

Éléments	Ensemble de valeurs à respecter par au moins 95% des échantillons	Ensemble de valeurs à respecter par au moins 100% des échantillons	Ensemble de valeurs à ne pas dépasser
	(mg/kg de M.S.)	(mg/kg de M.S.)	(mg/kg de M.S.)
As	1	1,5	2
Ba	40	60	100
Cd	0,08	0,12	1
Cr	1	1,5	10
Cu	4	6	50
Hg	0,02	0,03	0,2
Mo	1	1,5	10
Ni	0,8	1,2	10
Pb	1	1,5	10
Sb	0,12	0,3	0,7
Se	0,2	0,3	0,5
Zn	8	12	50
Sulfates	2000	3000	150

- ❑ Filières de stockage coûteuses
- ❑ Filières qui seront rapidement saturées en cas de stockage des déchets de sédiments
- ❑ Non compatibles dans une politique de préservation des ressources minérales.

Salinité des sédiments de dragage → Enjeux

Environnementaux

Economiques

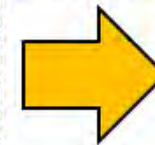
Sociétaux



Optimiser les filières de valorisation et d'élimination des déchets de sédiments



Réduire la charge en sels



Procédés de phytoremédiation des ions Cl^-

- Phytoextraction
- Espèces halophytes

Remediation of Salinized Soils by Halophyte-Mediated Extraction

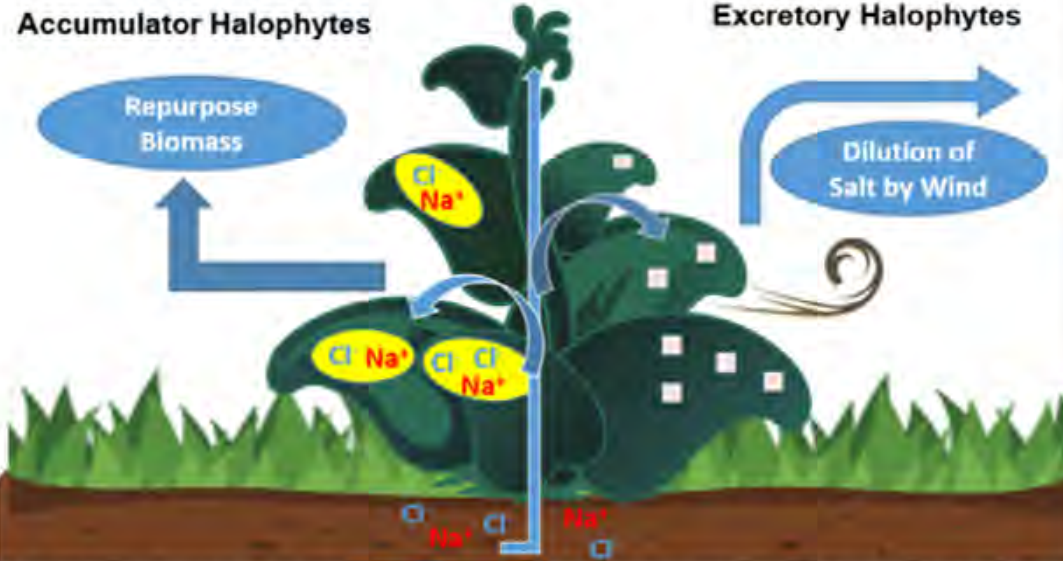


Schéma conceptuel du procédé de phytoextraction par des halophytes accumulateurs ((Litalien and Zeeb, 2020)

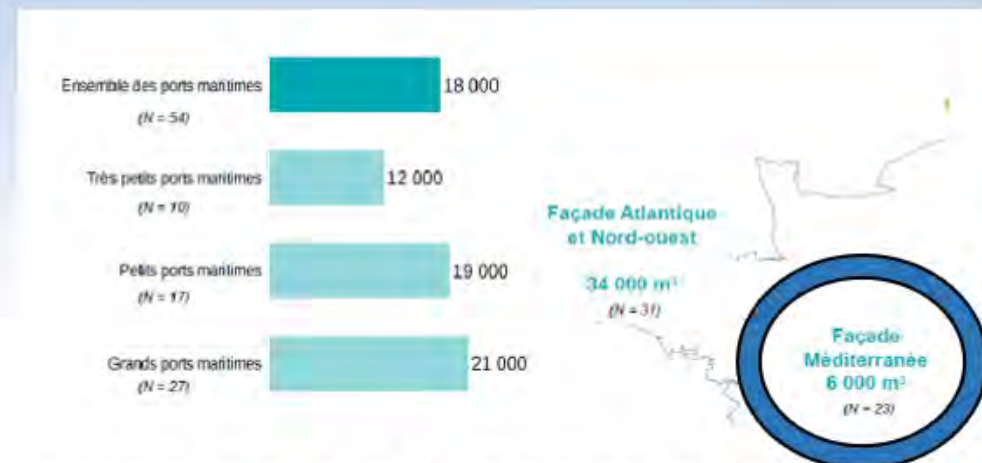
Sites d'étude : ports de la région Occitanie



Région Occitanie (CC BY-SA 4.0)

Le dragage en région Occitanie Quelques chiffres ...

- ❑ 220 km de littoral
- ❑ 29 ports maritimes
- ❑ 5,8 Mt de sédiments de dragage attendus dans les 10 prochaines années



Volume moyen en m³ dragué par port (données 2015)

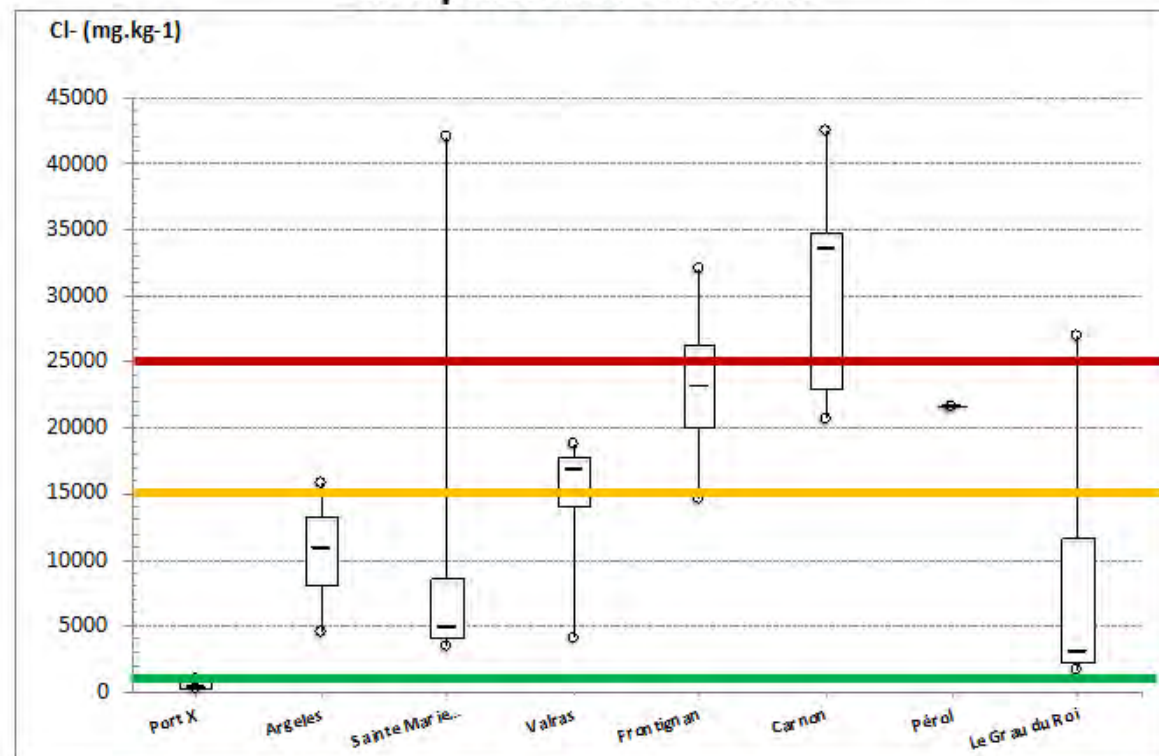
(Géode 2018. Dragages et immersions en mer et en estuaires)





- ❑ Enquête auprès des 29 ports maritimes de l'Occitanie
- ❑ Collecte de données (*diagnostics sédimentaires, opérations de dragage, ...*)

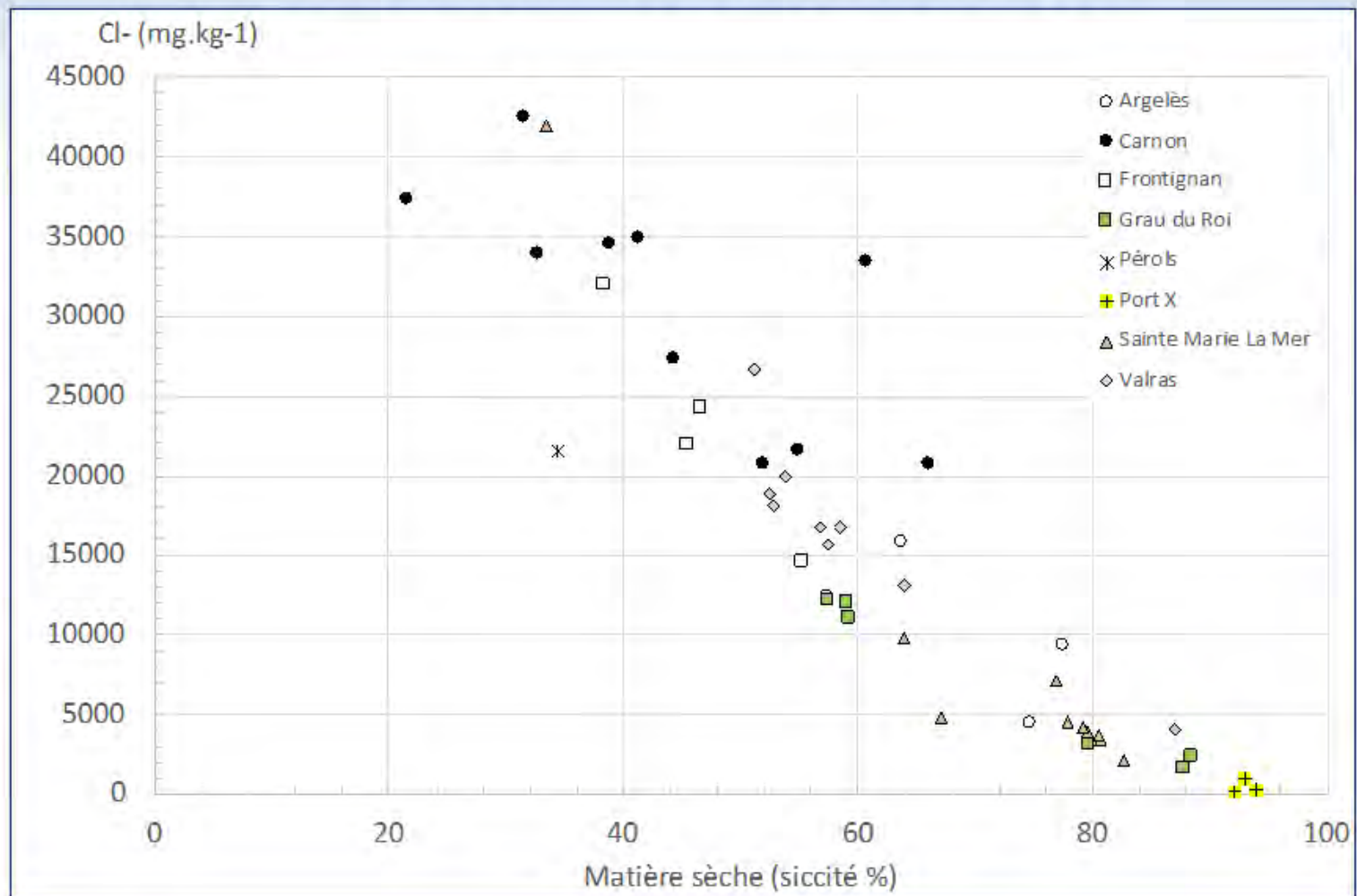
Teneurs en chlorures (lixiviats) de sédiments de dragage des ports de l'Occitanie



(sources de données: analyses communiquées / ports)



Teneurs en chlorures des sédiments de dragage : fonction de taux de matière sèche / teneur en eau



→ Une première approche à l'abattement des teneurs en Cl^- des sédiments de dragage consiste à déshydrater les matériaux

→ Le potentiel de la déshydratation reste cependant limité (effet notamment de la granulométrie des sédiments)

- Déshydratation par lagunage
(source [Extract-Ecoterres](#))



- Déshydratation en géotubes par floculation



?

→ L'étape de déshydratation impose une logistique pas toujours disponible selon les ports



Sites d'étude :

- Travaux menés dans le cadre des opérations de dragage mutualisées des ports d'Aigues-Mortes

- Port de Pérols**

Dragage : Nov. 2020

Déshydratation en géotubes

$Cl^- = 21\ 600\ mg.kg^{-1}$

Sed. vaseux (73-82% fraction $<63\ \mu m$)

Diagnostic sédimentaire, 2016

- Port Camargue**

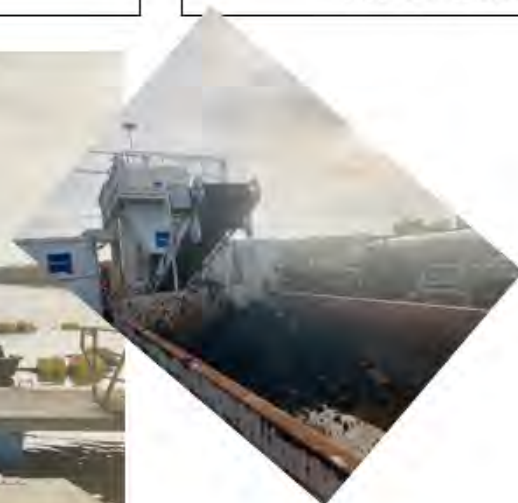
Dragage : Fev. 2021

Déshydratation en géotubes

$Cl^- = \text{inconnu avant dragage}$

Sed. vaseux (80% fraction $<63\ \mu m$) et
Sables fins ($<20\%$ fraction $<63\ \mu m$)

Dossier déclaration de dragage 2020



- Opération de dragage antérieure

- Grau du Roi**

Dragage : 2009

Déshydratation en lagunes
(*casier du Vidourle*)

$Cl^- = 1\ 600\ \text{à}\ 3\ 100\ mg.kg^{-1}$

Sed. vaseux (64-77% fraction $<63\ \mu m$)

Artelia, 2018

Effet de la déshydratation en géotubes sur les teneurs en Cl⁻ des sédiments

Déshydratation en géotubes : opération retenue dans le cadre du dragage mutualisé des ports d'Aigues-Mortes



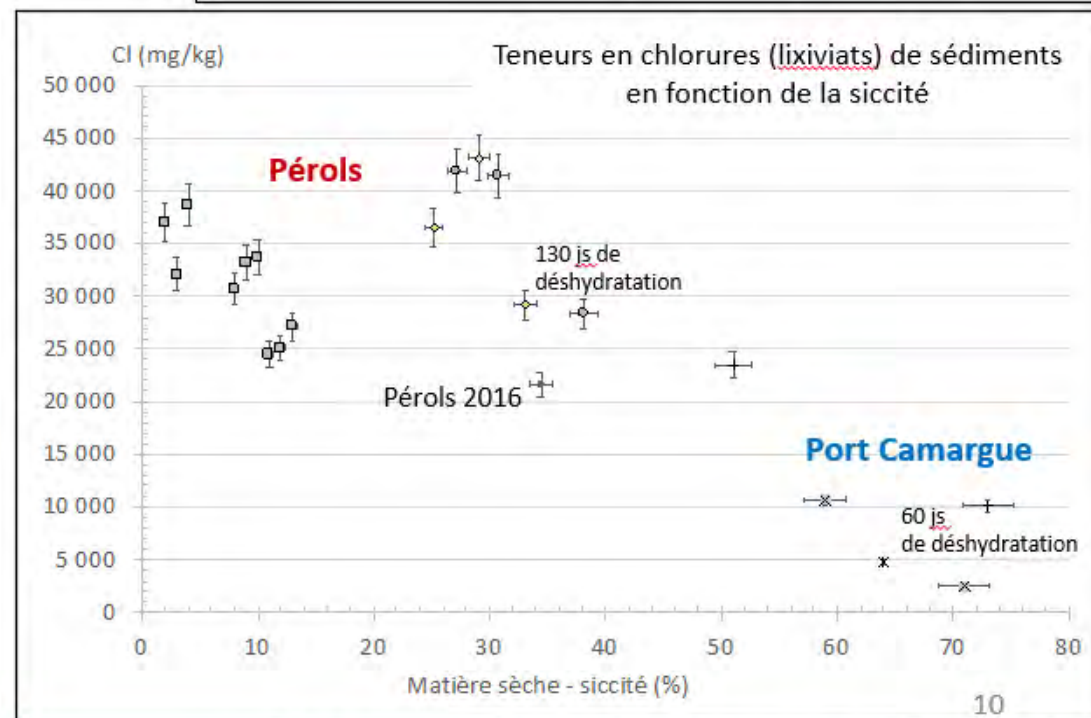
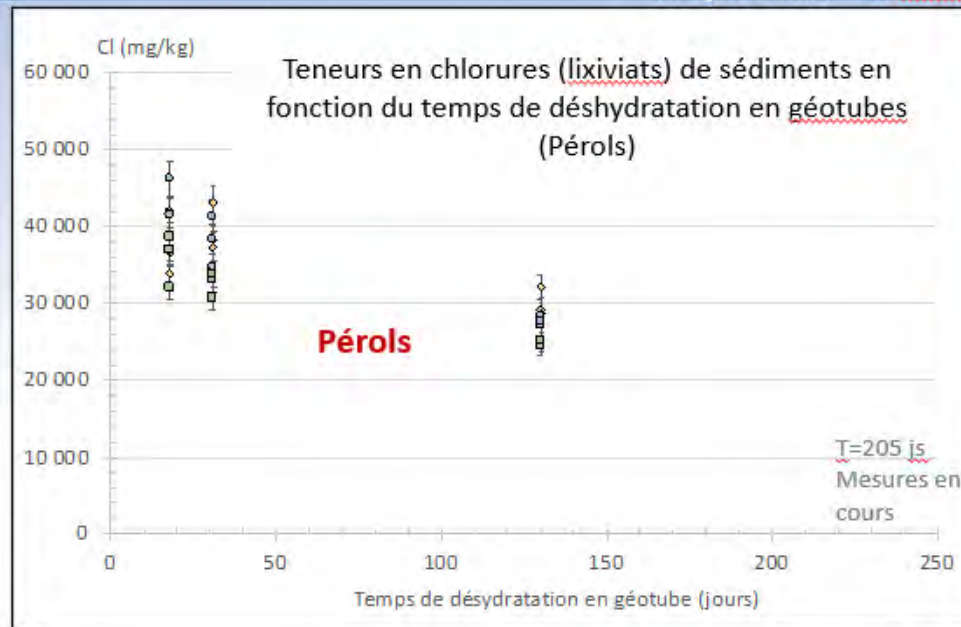
Déshydratation en géotubes - Pérols (crédit F. Sordes 2020)



Géotubes de déshydratation des sédiments - Pérols (crédit I. Techer 2021)

Pérols:
27 734 mg.kg⁻¹
(σ = 2 264)

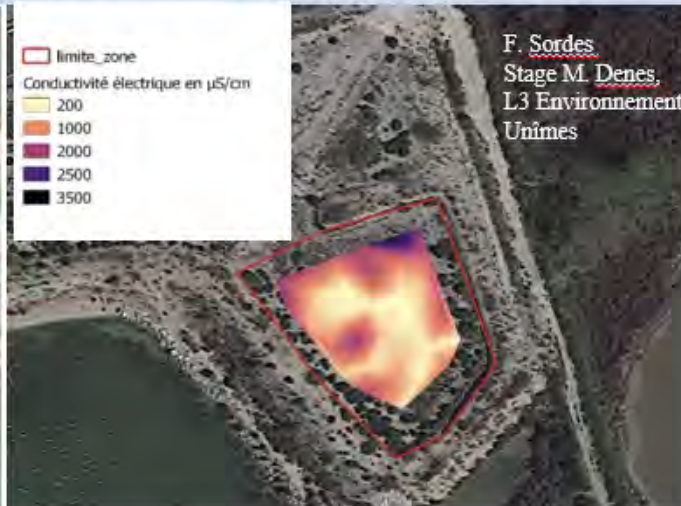
Port Camargue :
10 310 mg.kg⁻¹
(σ = 8 133)



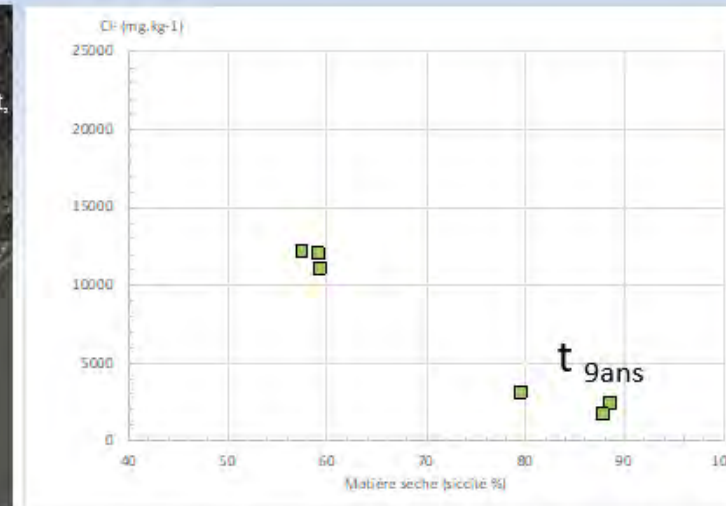
Déshydratation naturelle en lagune



casier du Vidourle et teneurs en Cl⁻ moyennes mesurées en 2018



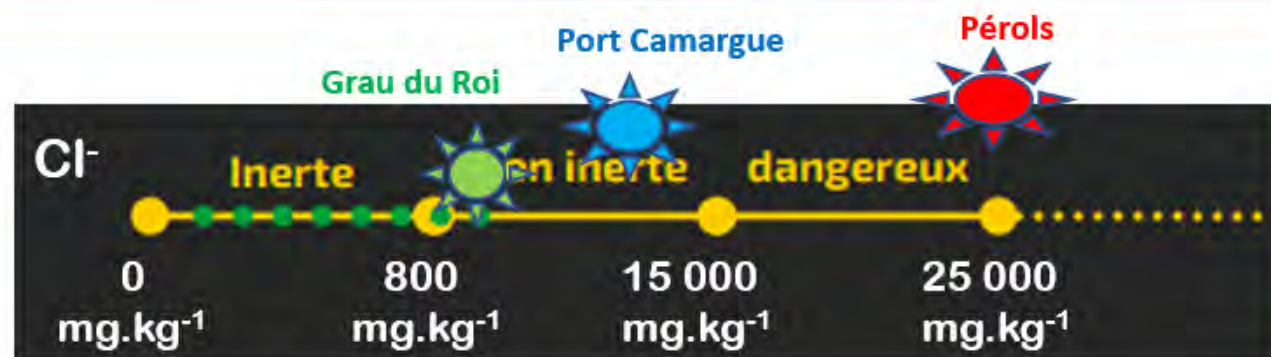
Cartographie de conductivité en zone basse du casier



Teneurs en Cl⁻ et siccité mesurées après déshydratation en lagunage

Grau du Roi :
2 373 mg.kg⁻¹
(σ = 740)

→ Après déshydratation



Essais de phytoremédiation

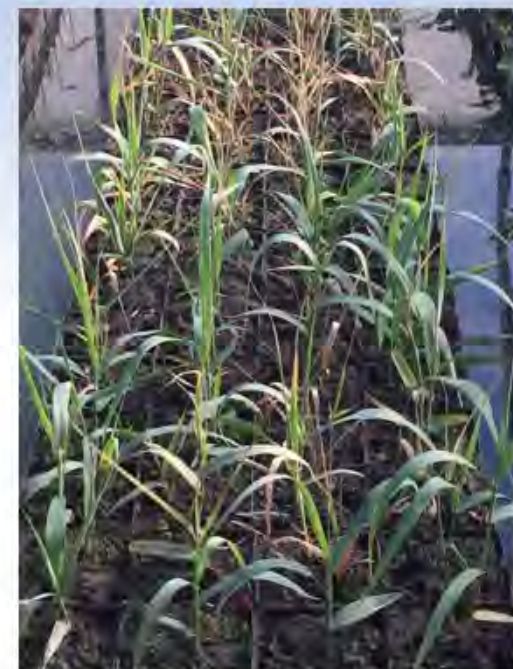
Méthode

Choix de l'espèce végétale :

- observée dans le milieu naturel (inventaire floristique sur le casier du Vidourle)
- tolérante aux sels (halophytes)
- à croissance rapide
- à forte biomasse
- se développant dans les sols argileux – vaseux
- connue pour ses propriétés de bioaccumulation des ETM
- pouvant être valorisée
- peu de données sur ses propriétés bioaccumulatrices des chlorures (intérêt scientifique)



Thèse de doctorat
 Floriane Sordes
 (2019-2022)



Arundo Donax

Bouturage et mise en culture de plants de Arundo D. chez un producteur aquacole (Nymphaea Distribution)

Prélevés à une maturité de 2 mois et 6 mois

Observation Arundo Donax en zone littorale méditerranéenne

Essais de phytoremédiation : programmés printemps 2020 / annulés - COVID 19

Essai A : sédiments du Grau du Roi

→ démontrer la survie de l'espèce dans ces milieux



- Culture en serre expérimentale (Growbox) (Janv-Avril 2021)
- Contrôle T – luminosité
- Sédiments : 6L
- t = 4 mois

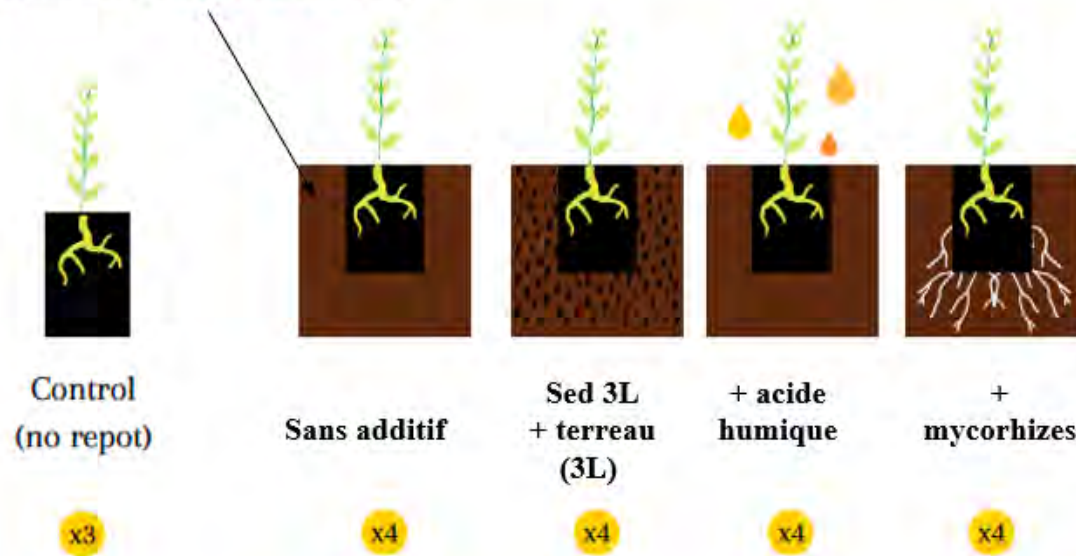
• Paramètres mesurés:

- Nombre de feuilles
- Hauteurs des tiges
- teneurs en Cl⁻ des sédiments à t_{2sem} et t_{4mois}
- BCF
- TF (en cours)

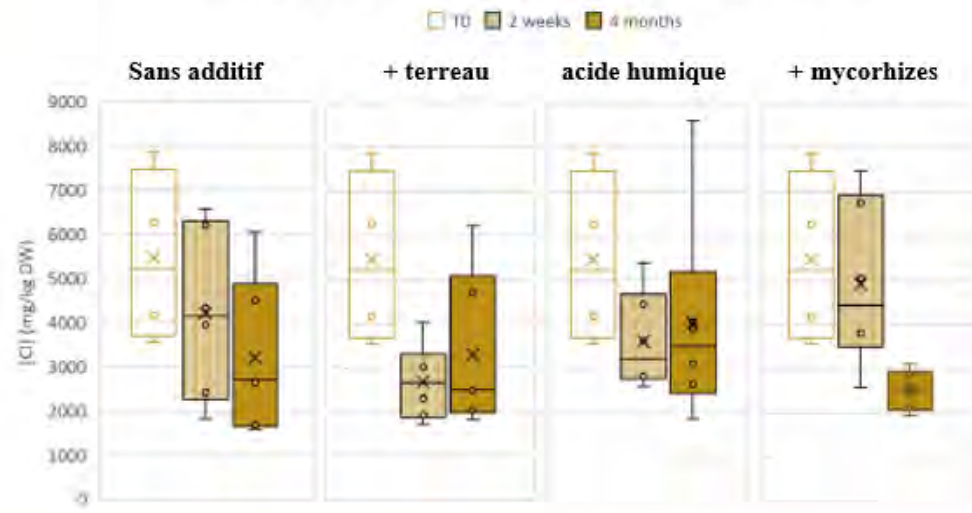
$$BCF = \frac{[Cl^-]_{\text{végétaux}}}{[Cl^-]_{\text{sed}}}$$

$$TF = \frac{[Cl^-]_{\text{feuilles-tiges}}}{[Cl^-]_{\text{racines}}}$$

Sédiments du **Grau du Roi** : 6 L



Teneurs en chlorures (lixiviats) des sédiments



F. Sordes
Stage S. Cothenet,
L3 Environnement, Unimes

Essai B : sédiments du **Grau du Roi** – sédiments de **Port Camargues**



'in progress'



- Culture sous serre lumière naturelle (Mai-Sept 2021)
- Plants âgés de 6 mois
- Sédiments : 15L
- $t = 4,5$ mois

Sédiments sans
additif (4)

Sédiments +
mycorhizes (4)

Sédiments +
mycorhizes +
acide humique (4)

Témoins (substrat
du producteur) (4)

Paramètres mesurés:

- Hauteurs des tiges
- teneurs en Cl- des sédiments à t_0 et t_F
- BCF / TF (en cours)

Conclusion - Perspectives

- ❑ Abatement de la salinité des sédiments de dragage via un dispositif de déshydratation en géotubes :
 - mesurable mais limité
 - impact de la granulométrie du matériau
 - nécessité d'une zone tampon d'entreposage en bordure de canal/port

- ❑ Phyto désalinisation via la culture de Arundo Donax
 - survie de l'espèce dans les sédiments de dragage
 - bon potentiel de bioaccumulation des ions chlorures – inférieur à celui d'autres halophytes mais compensé par la forte biomasse de l'espèce
 - L'étude doit se poursuivre par l'évaluation de la remédiation en fonction de la profondeur (tests – colonnes)

- ❑ Tests sur les sédiments de Pérois
- ❑ À suivre : sédiments de Carnon

Merci pour votre attention

