

Enjeux et solutions potentielles pour limiter l'impact environnemental des eaux rejetées par les traitements d'hémodialyse

Cécile Legallais, DR CNRS

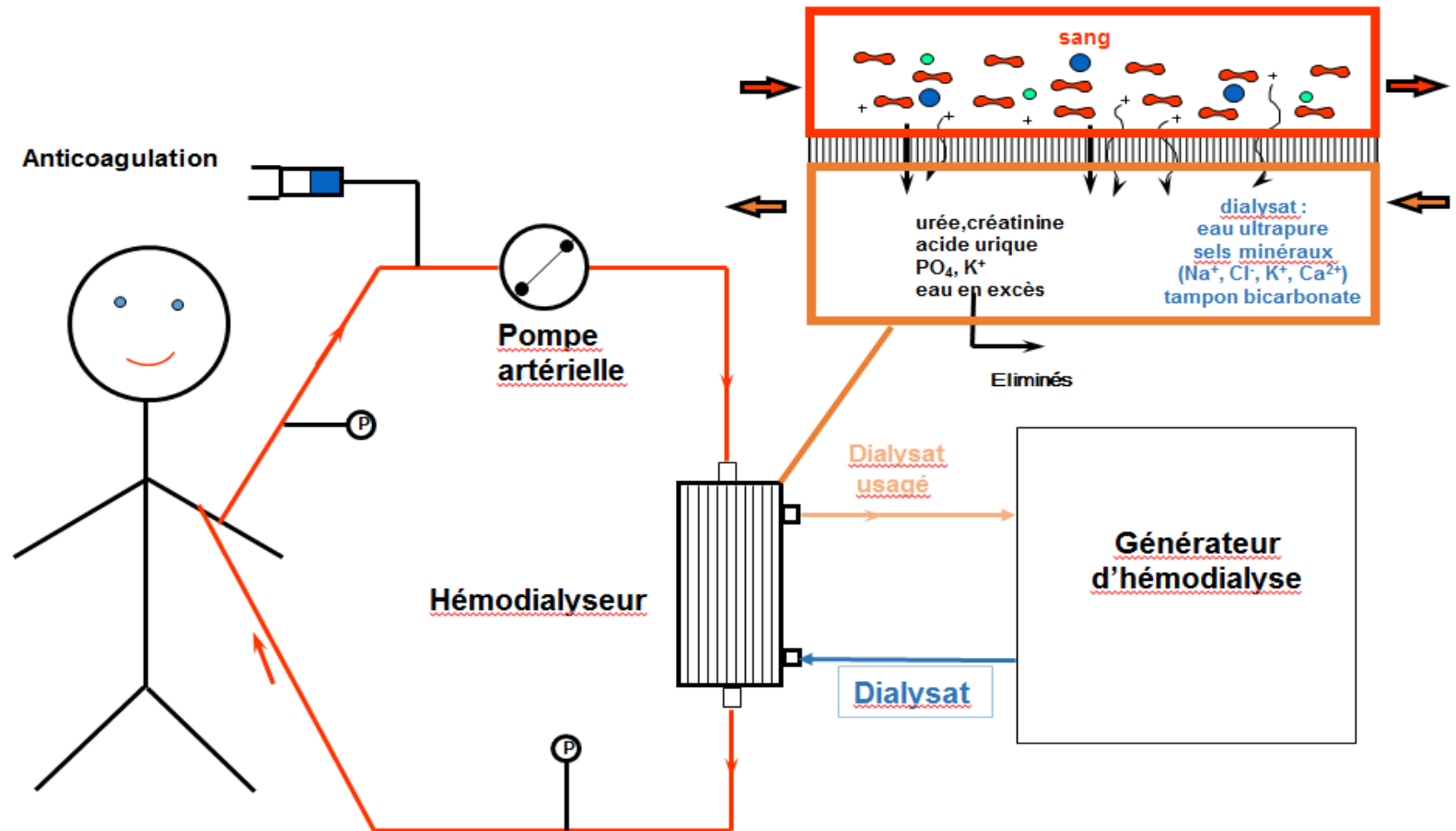
Laboratoire de Biomécanique et Bioingénierie, UTC/CNRS

Etude menée par Ahmed Abarkan, doctorant, co-dirigé par Prof. T. Sqalli Houssaïni (Univ. Fès Maroc),

Collaborateurs : Hubert Métayer, Polyclinique Saint Côme et La Dialoise, Compiègne

Dr Nabil Grimi, Laboratoire Transformation Intégrée de la Matière Renouvelable (UTC)

Hémodialyse = rein artificiel



Prise en charge de l'insuffisance rénale chronique
3 séances de 4h / semaine

Actuellement ...

70 000 Tx/an
2,6 M. patients en HD

Coût :
En France, 800 €/traitement
Machine : 15 -30 k€
Durée d'usage= 12 ans

Consommation d'eau:
350 L/traitement
dont 200 L ne sont pas
en contact avec le
générateur →
réutilisation?

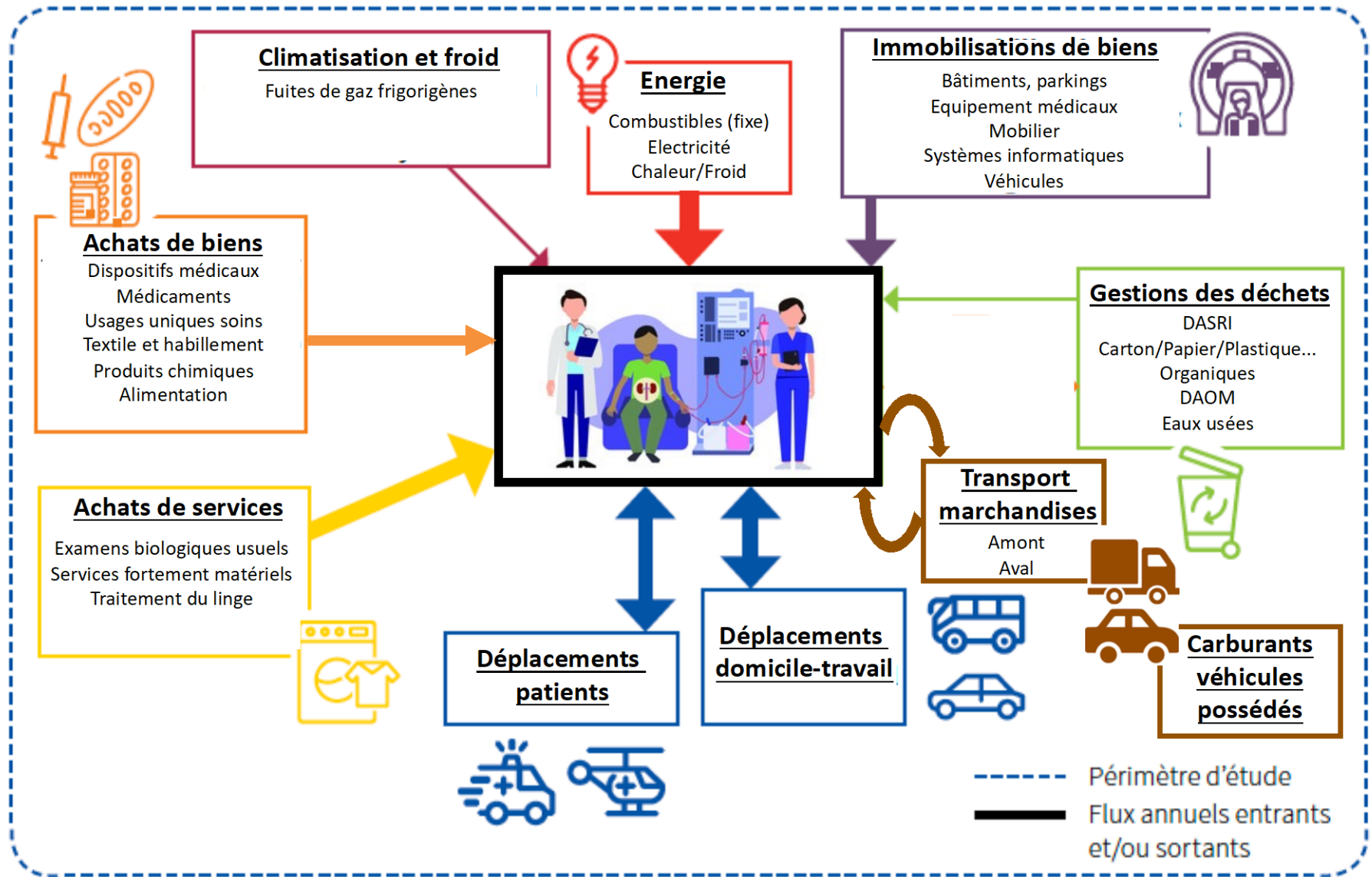


Lignes sanguines
à usage unique
Déchets

Automatisation
Plus besoin de personnel
soignant ?

Un traitement efficace
Sentiment
d'emprisonnement!

Travaux en cours @ BMBI : « bilan carbone » d'un centre



Thèse Hafsah Hachad

Contexte du lancement de l'étude "eau"

❑ Maroc: Région semi-aride exposée à des périodes de stress hydrique

❑ Augmentation constante

- des patients dialysés

- des centres d'hémodialyse

❑ Opportunité: COP22

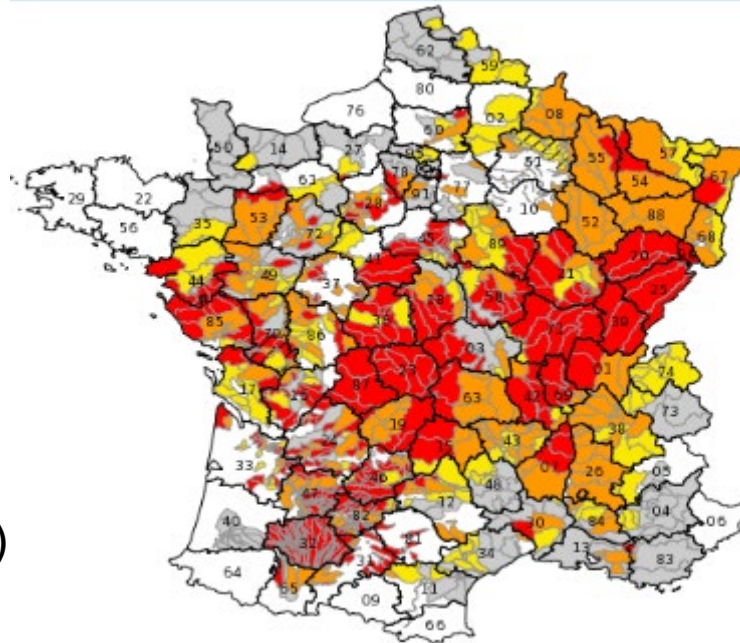
❑ Actuellement en France (2022)

632 HD centre, 615 HD en UDM,

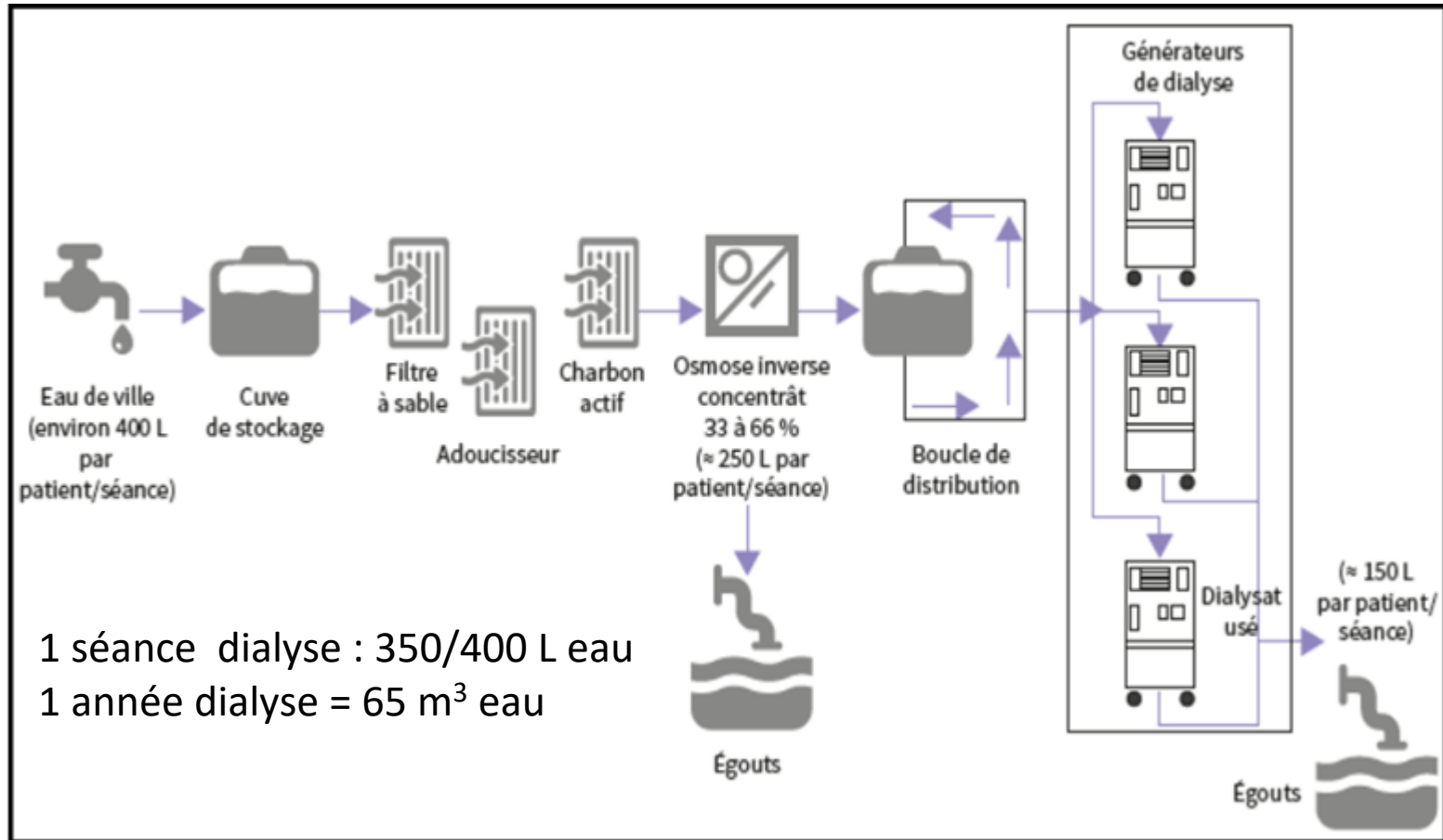
666 HD auto, 155 HD à domicile,

130 HD en entrainement

Carte des arrêtés au 27/09/2020 (arrêtés publiés le 26/09/2020 minuit)



L'eau de dialyse en quelques chiffres



<https://www.techniques-hospitalieres.fr/article/2058-la-dialyse-verte-diminuer-limpact-environnemental-des-eaux-de-dialyse-cest-possible-.html>

Consommation journalière :

France : 150 L/j ; Maroc : 70 L/j ; USA 600 L/j

Etude sur la réutilisation des eaux de rejet de l'OI

- Identifier le contenu du rejet
- Cartographie des pratiques (enquête et bibliographie)
- Recensement des normes et réglementations
- Proposition et évaluation de solutions

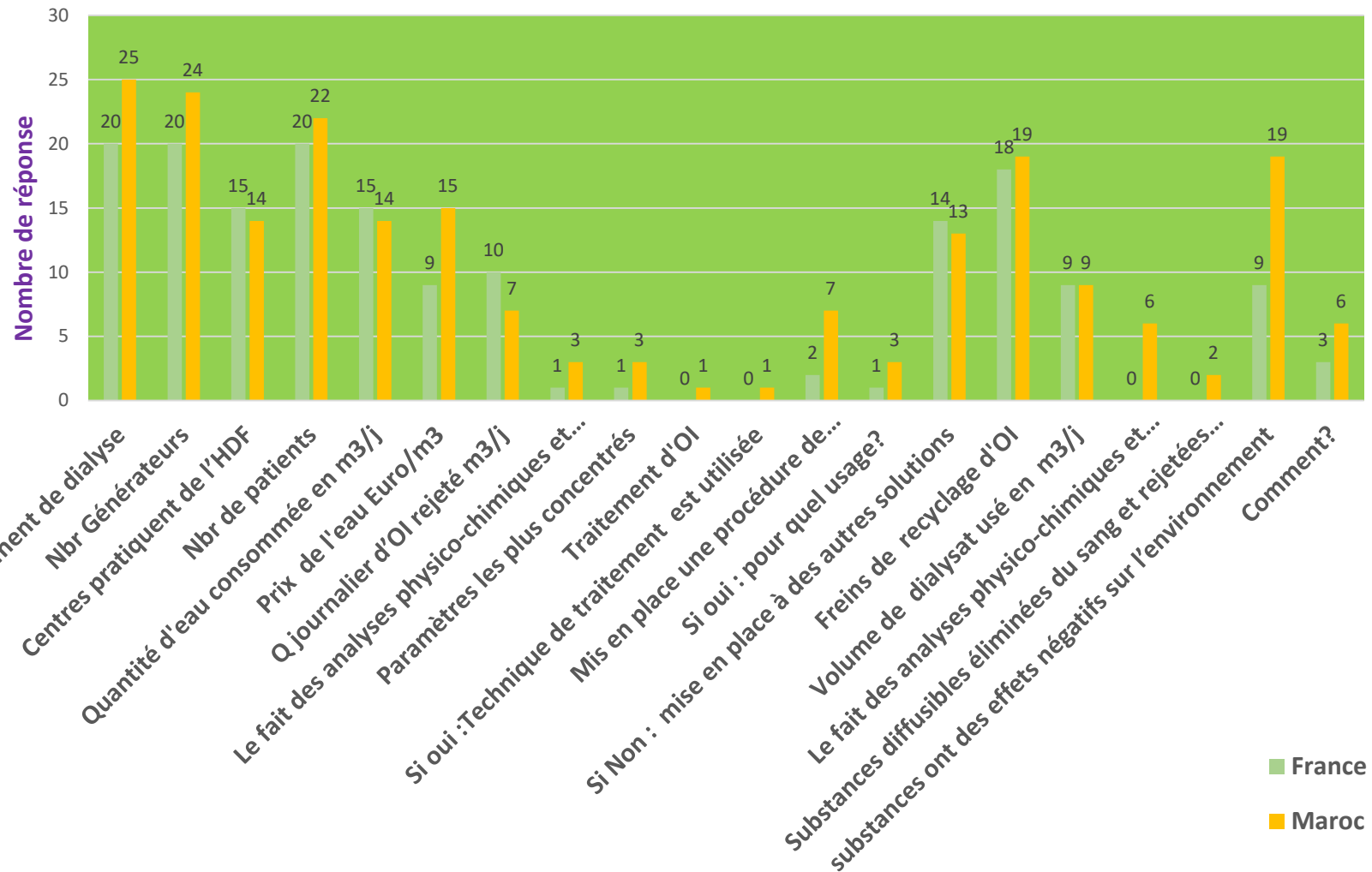
Que contient l'eau rejetée de la boucle Osmose Inverse ?

Paramètres (mg/L)	Geelong Australie	Al Ghassani Maroc	AURAL Lyon	Clinique Saint Côme / Dialoise	Yazd, Iran Hôpital S. Dr. Rahnamoon
pH	7.5	7,85	8	7,6	7.84±0.10
Chlorure	150	542,96	45.7	72,1	25.93±3.51
Nitrate	0.01	27,80	16.8	53,3	
Nitrite	0.01	0,014			
Sulfate	22	202,27	102,1	174	122,86±21,22
Conductivité (µS/cm)	680	3460		1900	854,25±50,42
Turbidité	0.1				
Fluorure	0.15		0.3	0,7	
Ammonium			0	0,02	
Barium			1.66		0.0611±0.043
Sélénium					0.4196±0.08
Cuivre	0.009				0.3381±0.187
Calcium	0,1		225,1	1,2	
Magnésium	0,1		18,6	0,1	
Mercure	0,0001			< 0,0002	
Potassium			5,2	2,7	
Sodium	140		24,6	444	
Zinc	0,002			< 0,005	0.0667±0.023
Aluminium	0,01			0,0026	

(Abarkan et al., 2019 ,Tech. Hospitalières, 45–52)

Questionnaire Maroc/France sur le rejet OI (85 réponses)

Nombre de réponses en fonction de type des questions de l'enquête



Connaissez-vous le prix de l'eau consommée ?

France

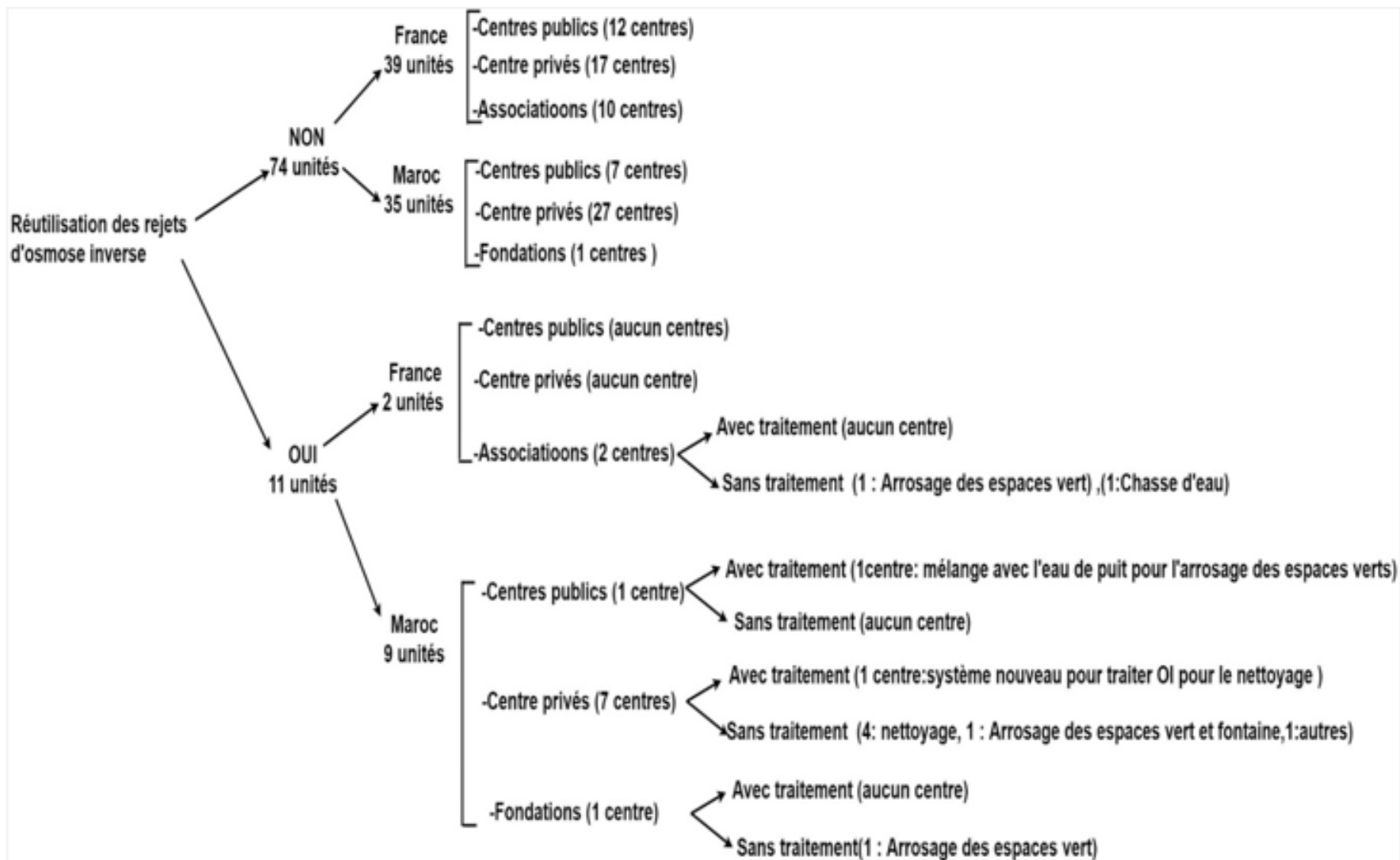


Maroc

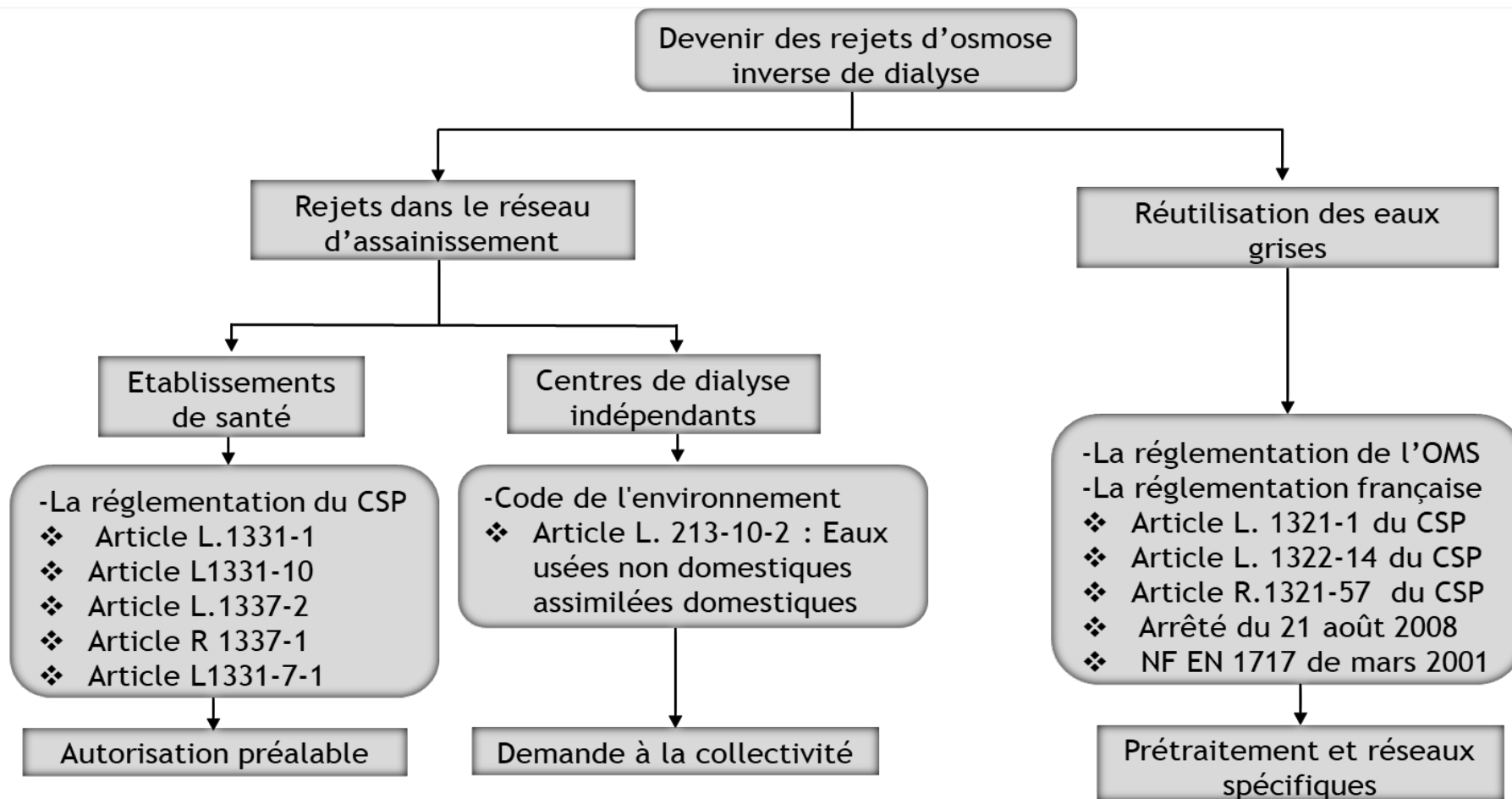


Prix moyens : $3,30 \pm 1,14$ €/m³ en France, $0,89 \pm 0,49$ €/m³ au Maroc

Réutilisez-vous le rejet OI ?



Différentes options et réglementations



CSP: Code de la santé publique
OMS : Organisation mondiale de la santé

Réutilisation : Normes et recommandations suivant l'usage

Stérilisation (autoclave) 	Espaces verts 	Toilettes 
Terrains de sport 	Nettoyage domestique 	Lavage auto 
Abreuvement des animaux 	Buanderie 	Alimentation de la chaudière à basse pression 
	Douches 	Piscines de rééducation 

Paramètres physicochimiques	Piscine de rééducation	Avant la stérilisation : Lavage manuel	Avant la stérilisation : lavage en machine et pompe à vide	Irrigation
Conductivité $\mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$		200-1100	200-1100	300-700
pH	6,7 - 7,7	6,5 – 9	5-7,5	6.5-8.4
Ammonium $\text{mg}.\text{L}^{-1}$		$\leq 0,1$		
Sodium $\text{mg}.\text{L}^{-1}$		≤ 200		
Chlore libre $\text{mg}.\text{L}^{-1}$	0.4 - 1.4	$\leq 0,1$	$\leq 0,1$	
Dureté (TH) $^{\circ}\text{F}$		15 – 30	$< 0,5$	
Chlorures $\text{mg}.\text{L}^{-1}$	> 250	≤ 250	≤ 250	142-355
Nitrate $\text{mg}.\text{L}^{-1}$				30
Sulfate $\text{mg}.\text{L}^{-1}$				250
Silicate inorganique (SiO_2) $\text{mg}.\text{L}^{-1}$			10-20	
Fer $\mu\text{g} .\text{L}^{-1}$		$\leq 0,2$	$\leq 0,2$	
Cadmium $\mu\text{g} .\text{L}^{-1}$		≤ 5	≤ 5	
Plomb $\mu\text{g}.\text{L}^{-1}$		≤ 10	≤ 10	
Température $^{\circ}\text{C}$	> 36			
Transparence	bonne			

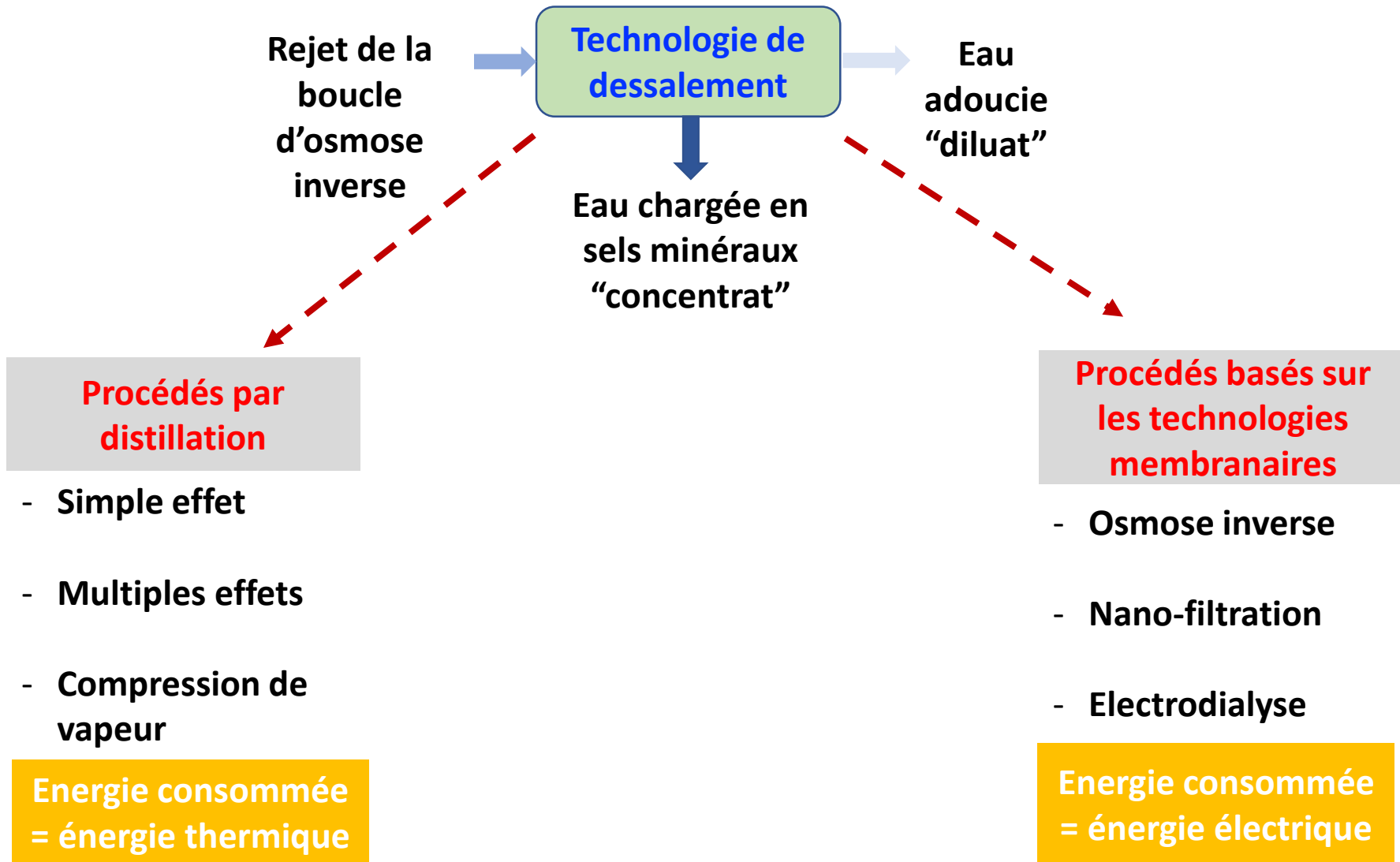
→ Avant la stérilisation (lavage manuel) : eau potable

→ Avant la stérilisation (lavage en machine et pompe à vide): eau adoucie

→ Irrigation :Risque d'altération de certaines cultures, ainsi que les sols par la salinité d'OI

→ Piscine de rééducation : un usage direct est envisageable avec contrôle bactériologique et de pH

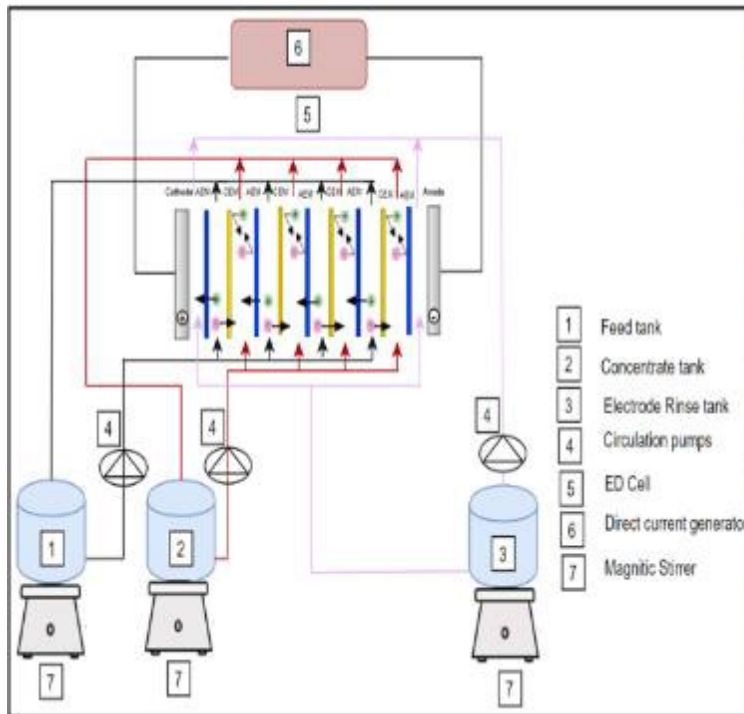
Méthodes pour dessaler l'eau



Méthodes pour dessaler l'eau

	Avantages	Inconvénients
Distillation	<ul style="list-style-type: none">- Indépendant de la qualité de l'eau brute- Grandes capacités de production	<ul style="list-style-type: none">- Forte consommation énergétique (indépendante de la salinité)
Osmose inverse	<ul style="list-style-type: none">- Consommation spécifique d'énergie basse ($\approx 4-5 \text{ kWh.m}^{-3}$)	<ul style="list-style-type: none">- Nécessite un rejet (perte) important- Déminéralisation complète
Nanofiltration	<ul style="list-style-type: none">- Forte rétention de sels polyvalents et de la matière organique	<ul style="list-style-type: none">- Moins efficace pour les ions monovalents, tels que Cl^-, Na^+
Electrodialyse	<ul style="list-style-type: none">- Faible coût si faible salinité- Récupération élevée- Séparation sélective des ions monovalents / ions multivalents	<ul style="list-style-type: none">- Pas d'intérêt économique si salinité moyenne à élevée

Circuit expérimental d'électrodialyse



Circuit fermé (recirculation)

Surface membranaire : 64 cm²

Volume traité : 1 à 4 L

Débit pompe : 20L/h

Eau de la boucle OI de la Polyclinique
St Côte, Compiègne

Type de membrane	Épaisseur (µm)	Capacité d'échange d'ions (mequiv.g-1)	Stabilité chimique (pH)	Groupe fonctionnel	Permsélectivité du groupe fonctionnel
PC-SK	130	ca.1	0-11	-SO ₃ Na	>0.96
PC-SA	90-130	ca.1.5	0-9	-NR.Cl	>0.93

Paramètres étudiés

- Taux de déminéralisation (DR).
- Consommation énergétique spécifique (SPC).
- ❖ Manips sur la solution modèle NaCl pour déterminer l'effet (débit, concentration et voltage) sur DR et SPC.
- ❖ Minitab: Nature d'effet des paramètres et la prédiction des réponses DR et SPC par les équations de régression.
- ❖ Validation du modèle.
- ❖ Conditions optimales pour traiter l'eau de la boucle de rejet OI.

$$DR\% = 100 \left(1 - \frac{\sigma_t}{\sigma_0} \right)$$

σ_0 et σ_t sont les conductivités au temps initial et au temps t

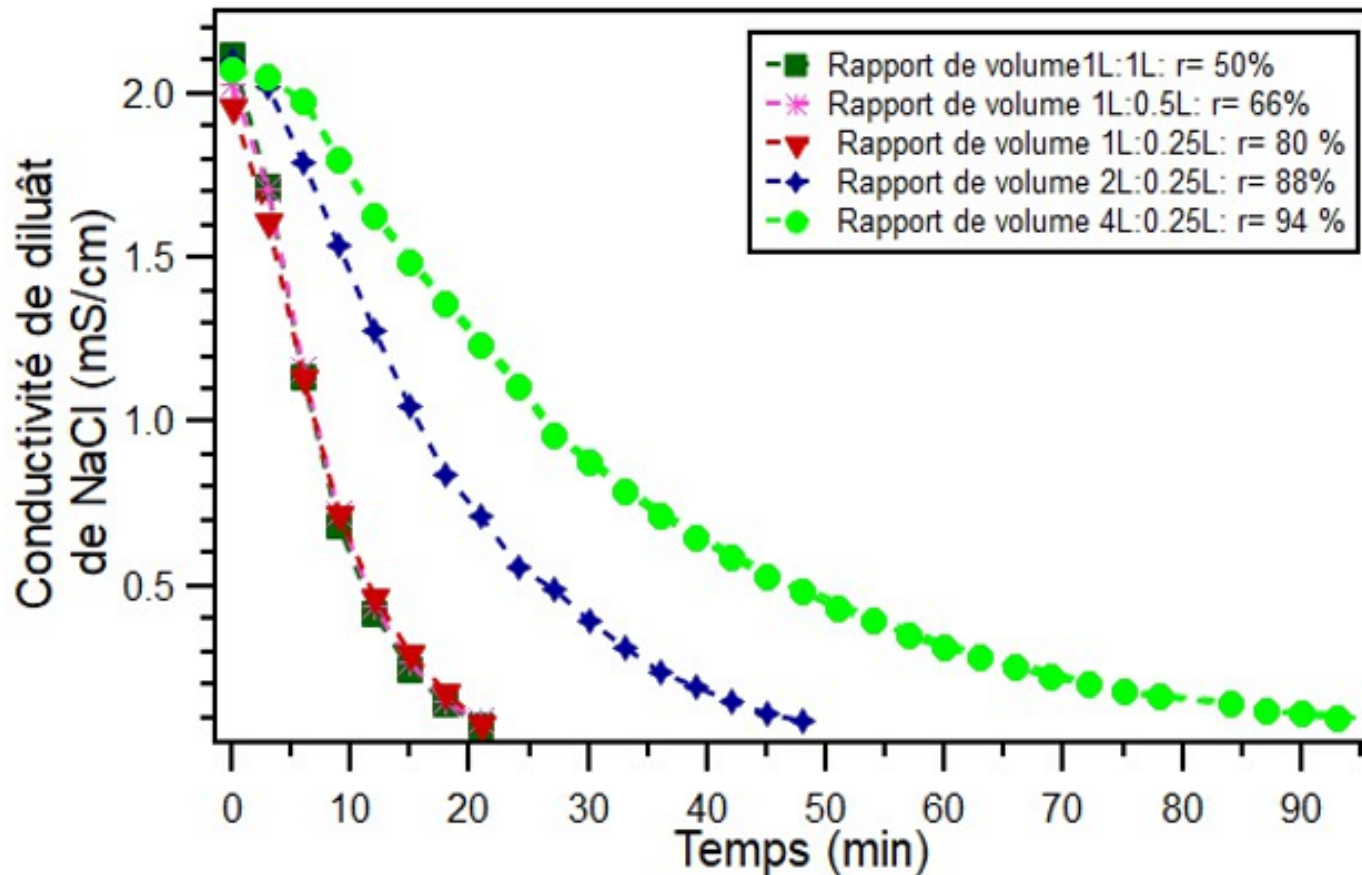
$$SPC(W.h.L^{-1}) = \frac{E \int_0^t I(t) dt}{V_d}$$

I : courant débité

V_d : volume de la solution de diluât

Abarkan, A.; Grimi, N.; Métayer, H.; Sqalli Houssaini, T.; Legallais, C. Electrodialysis Can Lower the Environmental Impact of Hemodialysis. Membranes 2022, 12, 45. <https://doi.org/10.3390/membranes12010045>

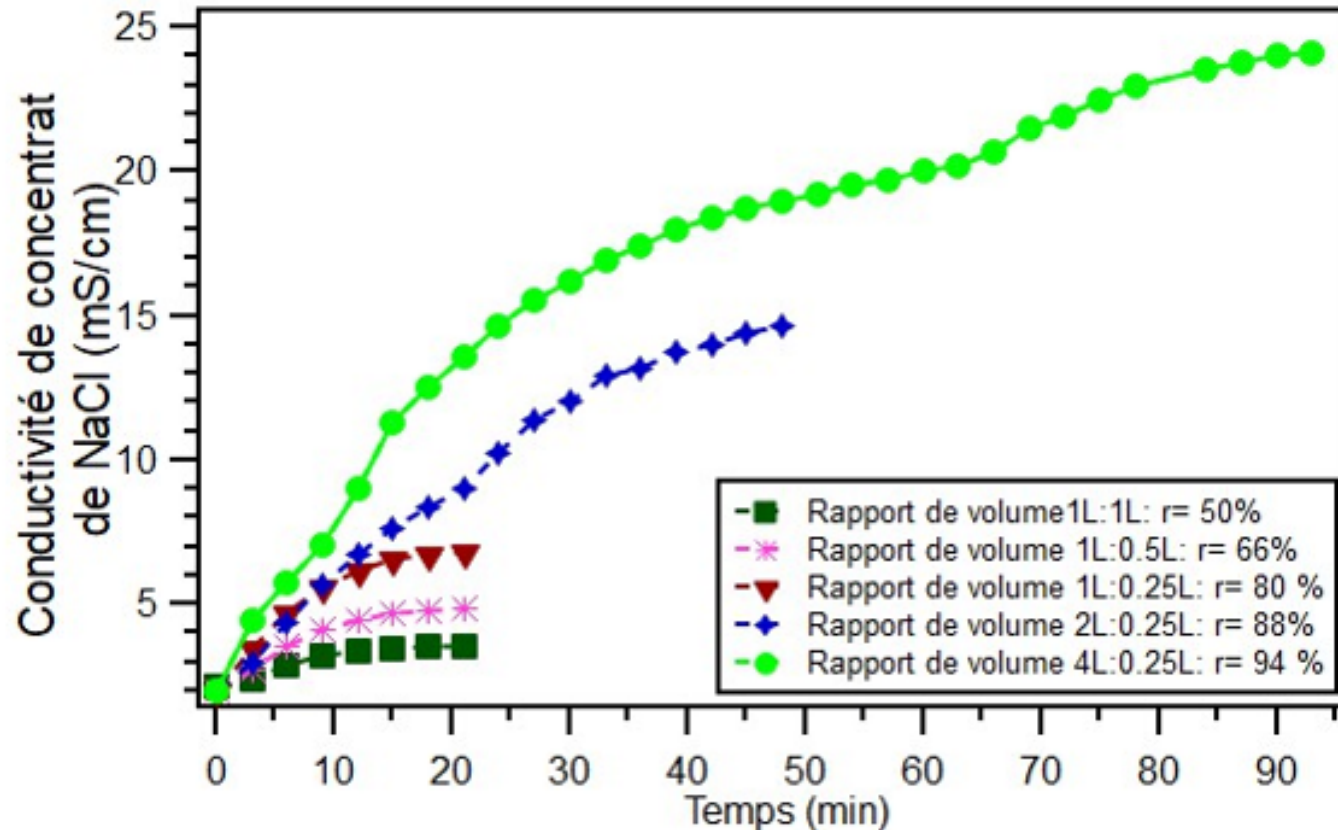
Effet du rapport des volumes (diluât/concentrat)



Pour un volume de diluât donné, augmenter le taux de récupération n'affecte pas le procédé

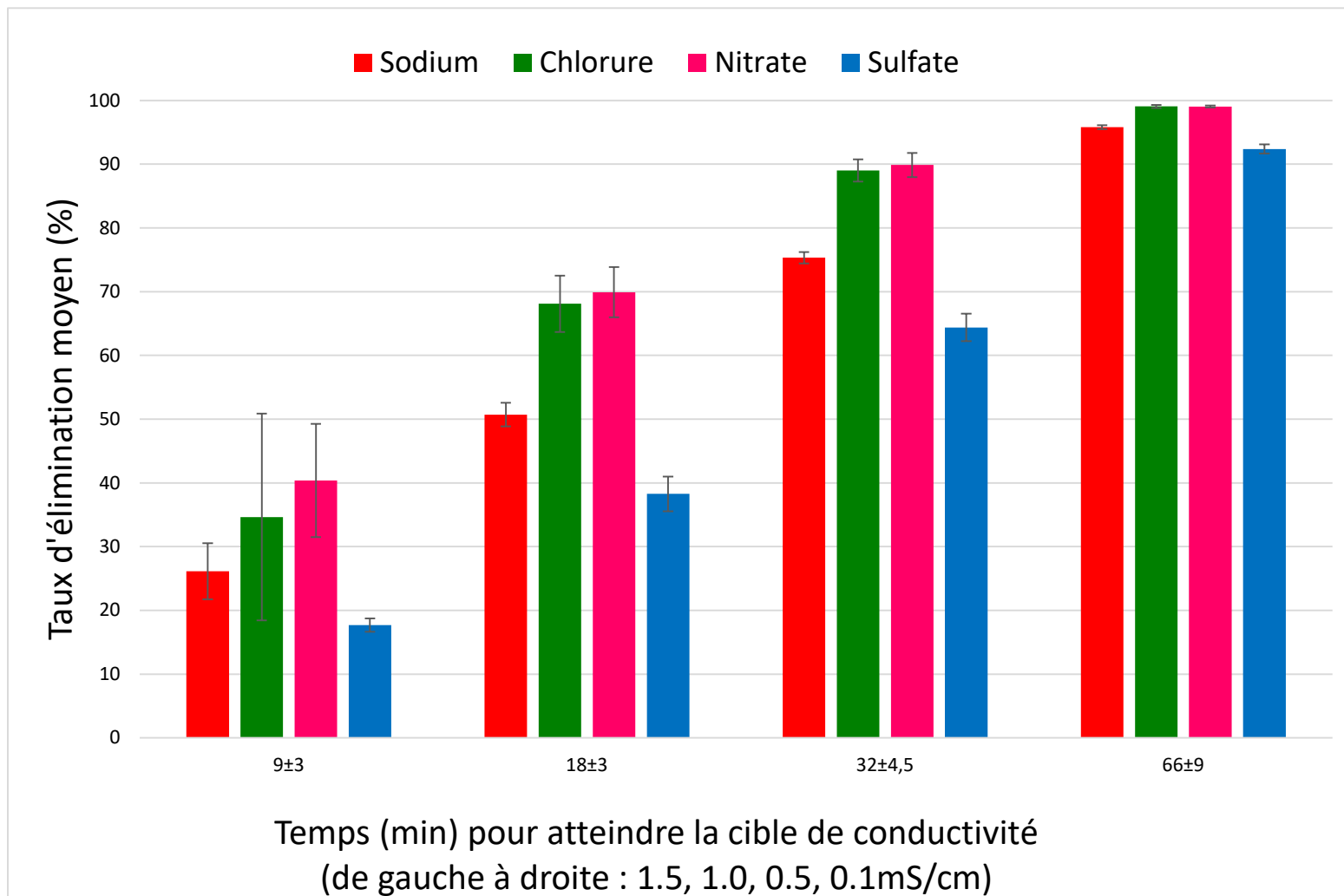
Si on augmente le volume de diluât, le temps de traitement augmente
→ travailler en productivité

Effet du rapport des volumes (diluât/concentrat)



Possibilité d'aller vers des faibles volumes de concentrat avec des salinités/conductivités élevées, sans altérer le procédé

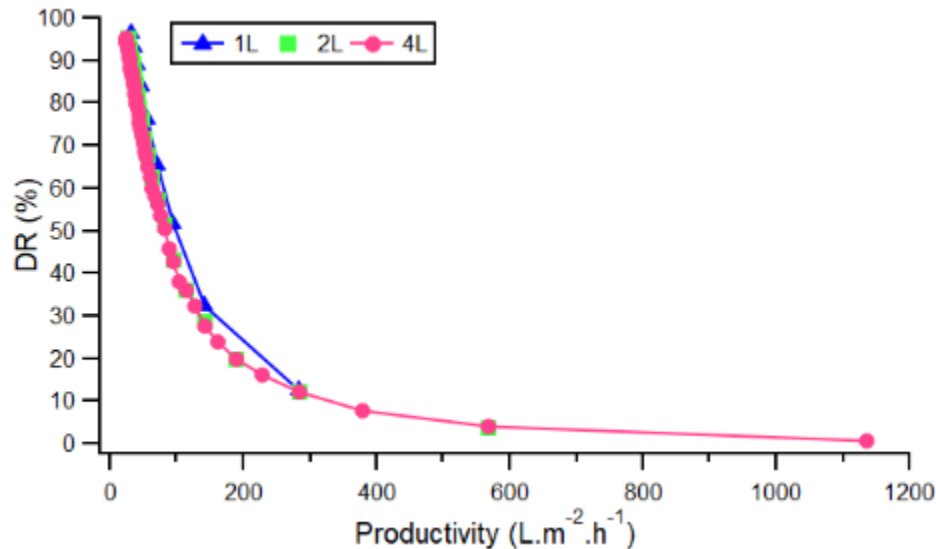
Taux d'élimination variables suivant les ions



Effet de la taille/mobilité

Objectifs en fonction des différents usages

Capacité d'utilisation des effluents OI traités	Conductivité cible (mS/cm)	DR (%)	SPC (KW.h.m ⁻³)	W (L.m ⁻² .h ⁻¹)
Piscine de rééducation	1.05	45	0.69	107
Stérilisation : Lavage manuel	1	48	0.72	102
Stérilisation : Lavage en machine et pompe à vide	0.65	66	0.98	70
Irrigation des espaces verts	0.5	74	1.09	59



Optimisation des paramètres opératoires effectuée en amont

→ Très bonnes performances, par rapport aux données publiées pour d'autres applications

Conclusions Vers une Dialyse verte et soutenable ?

- **Pertinence** de l'étude dans le contexte actuel des ODD, de la réduction des déchets et des économies en eau
- **Constat** : manque de directives globales → à prendre en charge !
- Qualité de l'eau issue de la boucle d'osmose inverse assez constante → propice à une réutilisation
- **Technique d'électrodialyse** permet à coût faible de dessaler l'eau issue des centres de dialyse, en provenance de la boucle de prétraitement → Changement d'échelle en cours d'analyse
- **Autres pistes** : diminuer la quantité de dialysat (retour à une dialyse + frugale ?) – Recycler directement le rejet OI?