

A photograph of an offshore wind farm in the ocean under a blue sky with scattered clouds. Several wind turbines are visible, with their yellow and white towers and three-bladed rotors. The water is a deep blue with some whitecaps.

Éoliennes offshore, contre vents et corrosion

1

Romain Mancel

50591

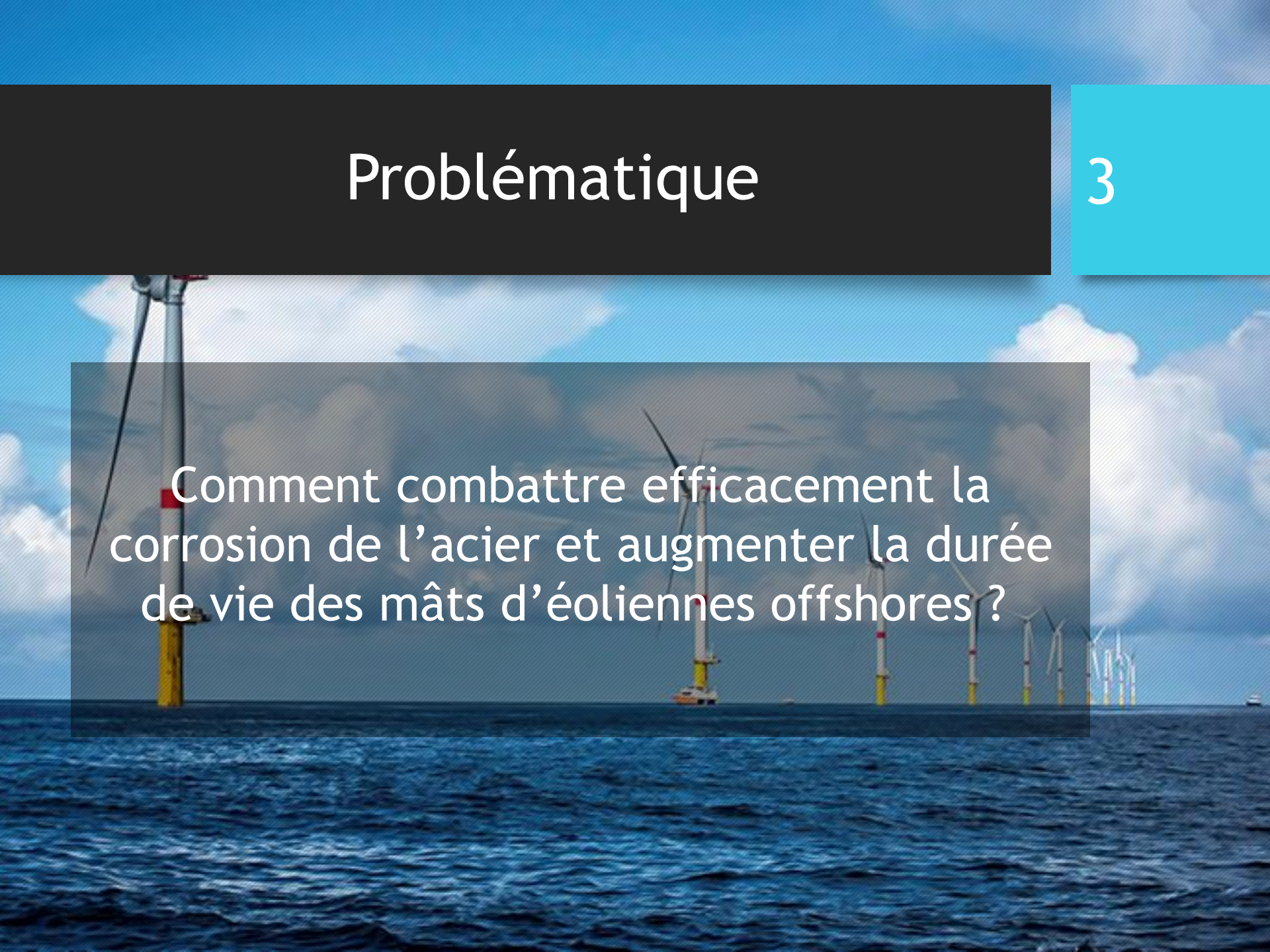
Motivation et Thème

2

- Intérêt dans les EnR
- Lien personnel
 - Proximité avec le 1^{er} parc éolien offshore
- Transition énergétique
- Conversion d'énergie
- Transformations chimiques : oxydation

Problématique

3

A photograph of an offshore wind farm with several wind turbines in the ocean under a cloudy sky. The turbines have white towers with yellow and red accents. The water is dark blue with whitecaps.

Comment combattre efficacement la corrosion de l'acier et augmenter la durée de vie des mâts d'éoliennes offshore ?

Plan

4

1. Phénomène de corrosion sur une éolienne
2. Différents types de protections
3. Tests de ces protections
4. Modélisation de la pollution de l'eau
5. Étude économique
6. Conclusion

1. Phénomène de corrosion sur une éolienne

5

Comment combattre efficacement la corrosion de l'acier et augmenter la durée de vie des mâts d'éoliennes offshore ?

Phénomène

Tests

Économique



Protections

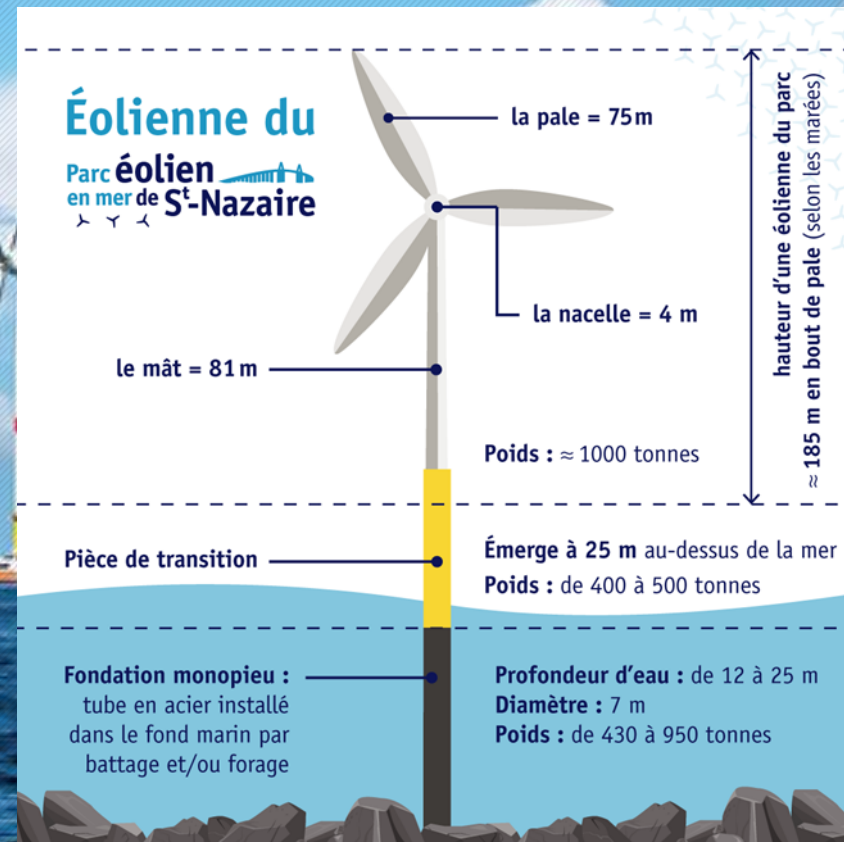
Pollution

Conclusion

Schéma d'une éolienne

6

- Monopieu (Profondeur < 50m)
- Acier
- Durée de vie : 20 - 30 ans

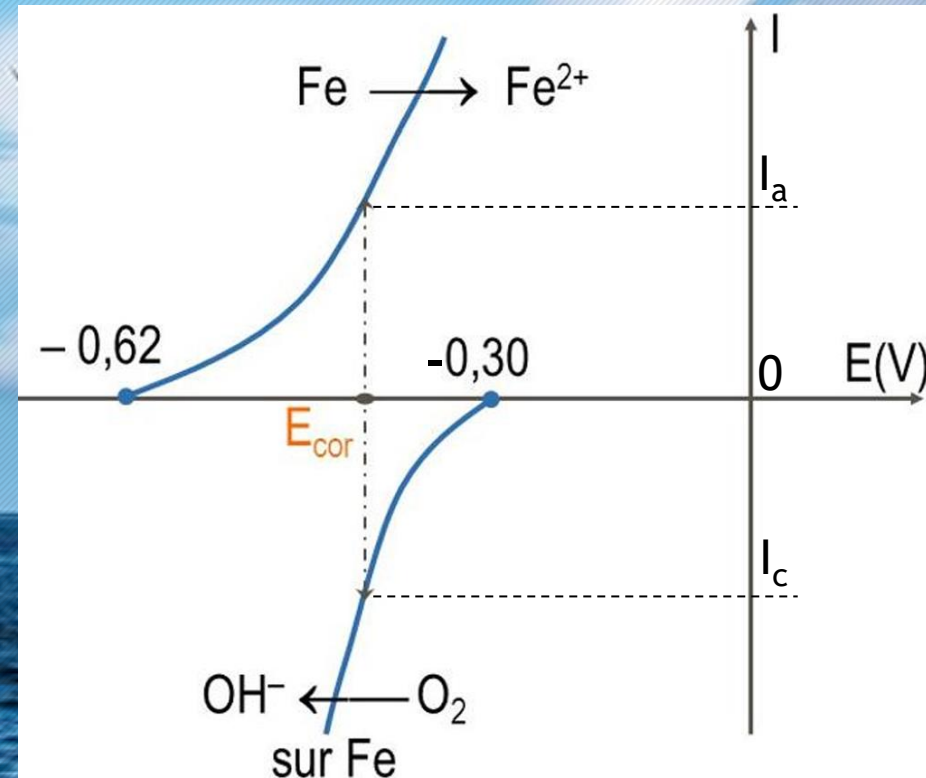


Origine de la corrosion

7

- Hétérogénéités dans le métal, eau, air
- Goutte d'eau salée sur acier :
 - + oxygénée aux bords qu'au centre
 - $E(\text{O}_2/\text{HO}^-)$ ↗ sur cathode
 - I dans Fe (=échange d' e^-)
 - Réactions d'oxydo-réduction

Courbe courant-potentiel entre Fe et O_2 (pH=7)

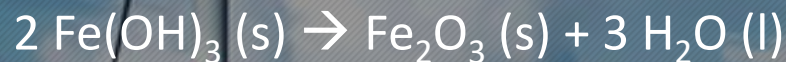
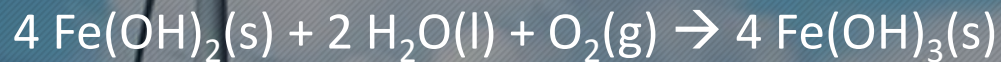


Inspiré de : Cahier de prépa/PSI

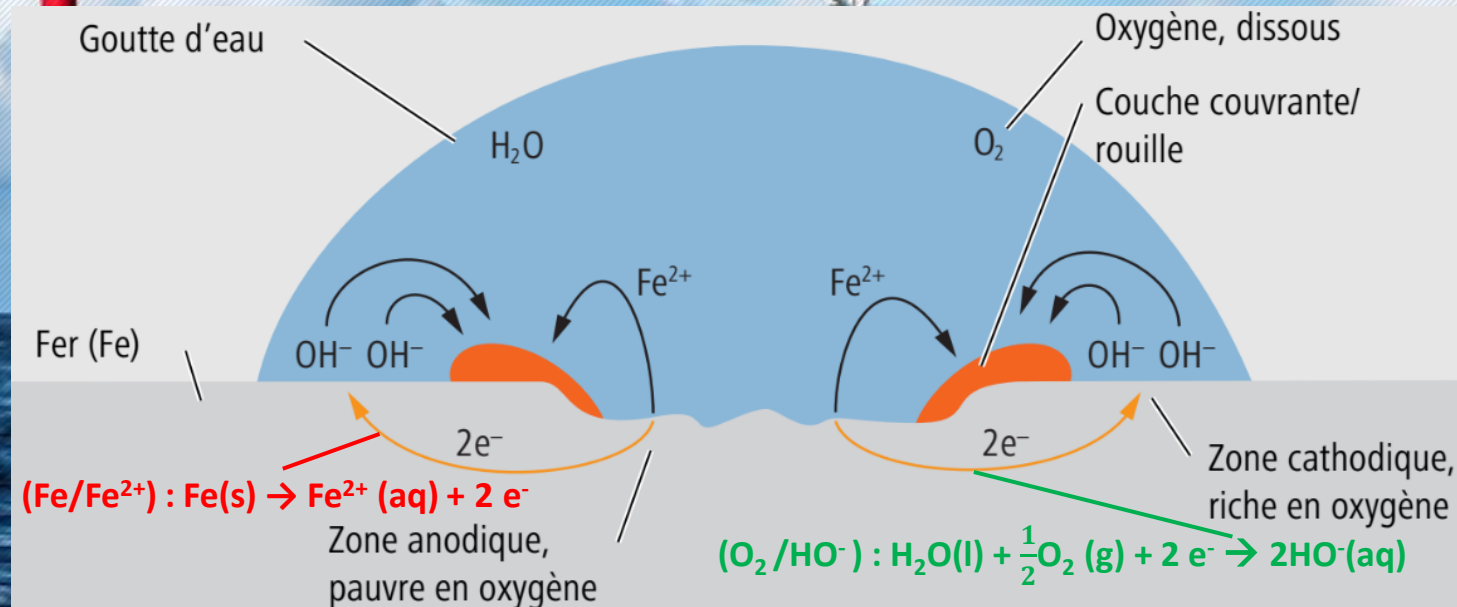
<https://cahier-de-prepa.fr/psi-encpb/download?id=774>

Oxydation de l'acier en rouille

8



Rouille = oxyde de fer = Fe_2O_3



Inspiré de : Nussbaum

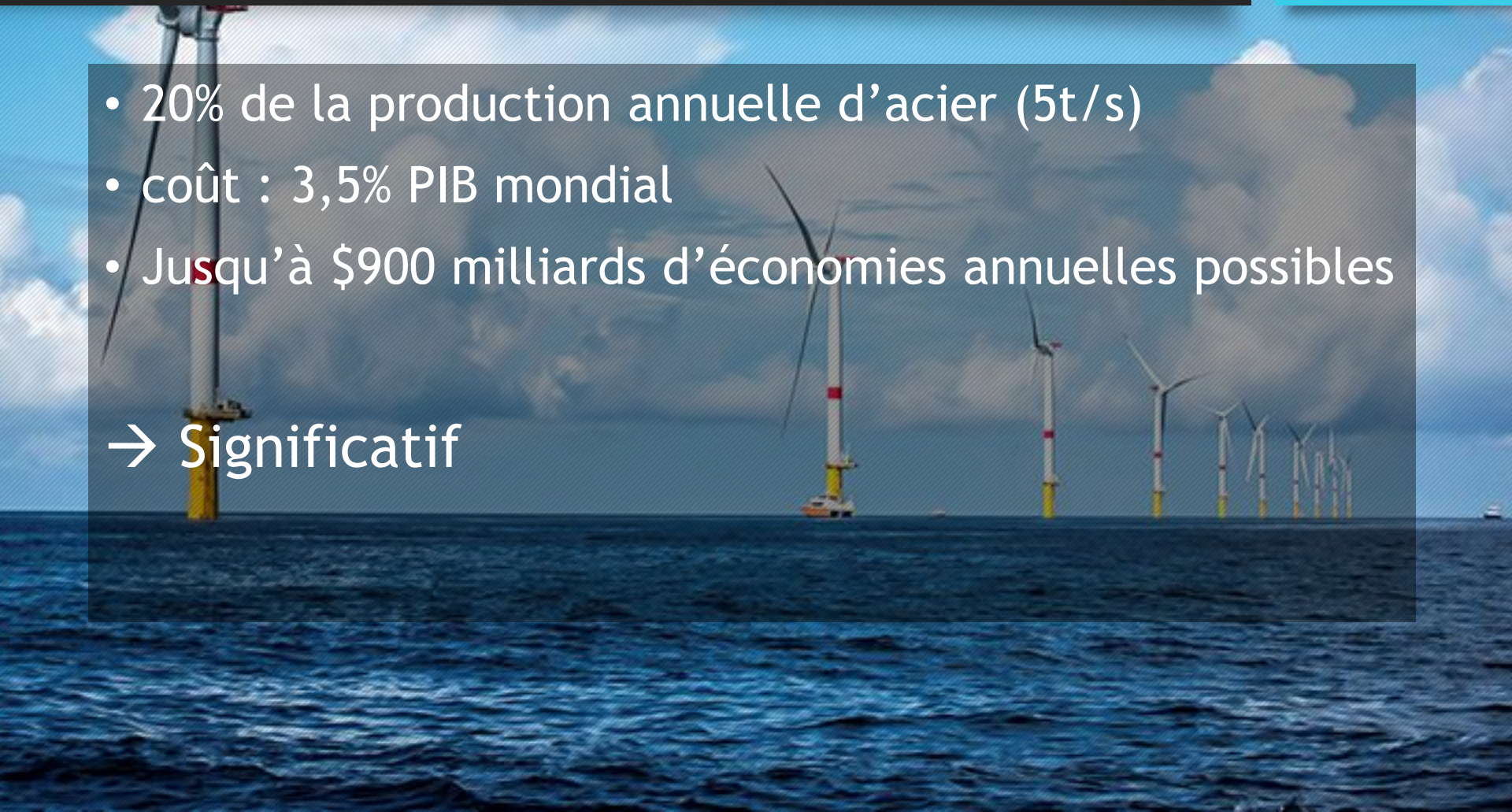
<https://www.nussbaum.ch/fr/t/thematiques/corrosion/types-de-corrosion/199-10.html>

Des conséquences importantes

9

- 20% de la production annuelle d'acier (5t/s)
- coût : 3,5% PIB mondial
- Jusqu'à \$900 milliards d'économies annuelles possibles

→ Significatif



2. Différents types de protections et matériaux

10

Comment combattre efficacement la corrosion de l'acier et augmenter la durée de vie des mâts d'éoliennes offshore ?

Phénomène

Tests

Économique



Protections

Pollution

Conclusion

Combattre la corrosion

11

- Matériau peu corrodable → acier inoxydable
- Couche peinture isolante ou métal résistant
- **Anode sacrificielle : métal plus réducteur**
- Protection à courant imposé

Anode sacrificielle corrodée d'un bateau



Tiré de : Révolution Énergétique

<https://www.revolution-energetique.com/actus/les-eoliennes-en-mer-polluent-elles-a-cause-des-anodes-sacrificielles/>

Anode sacrificielle

12

Anode sacrificielle sur un
mât d'éolienne offshore
à Thanet, RU

→ Installée pour la
durée de vie du parc



3. Tests des protections et matériaux

13

Comment combattre efficacement la corrosion de l'acier et augmenter la durée de vie des mâts d'éoliennes offshore ?

Phénomène

Tests

Économique



Protections

Pollution

Conclusion

Expériences

14

- Eau de mer : 35 g.L^{-1}
- ~3 mois
- Inox, fer, acier, acier protégé par zinc
→ Perte de masse



Acier + Zinc

Plaques soumises à de l'eau de mer (1)

15

Fer



Avant / Après



Avant / Après



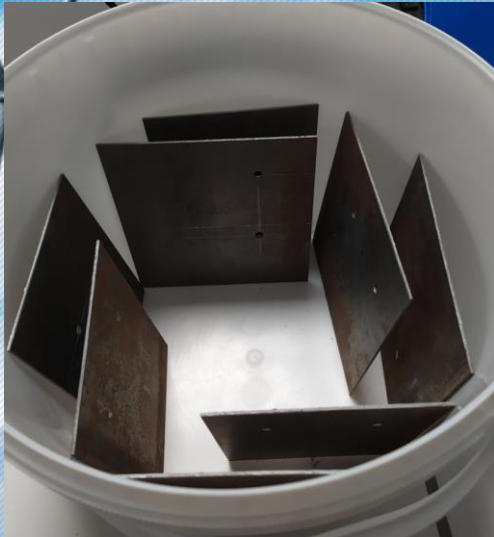
Inox



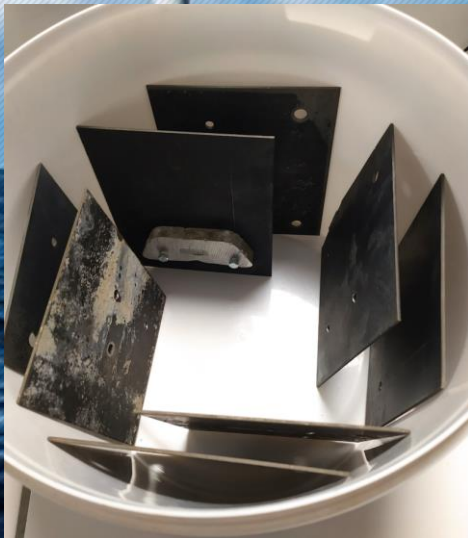
Plaques soumises à de l'eau de mer (2)

16

Acier



Avant / Après



Avant / Après



Acier + Zinc



Prélèvements, nettoyage, séchage, pesés

17

Acier avec anode de zinc oxydée



Nettoyage avec brosse

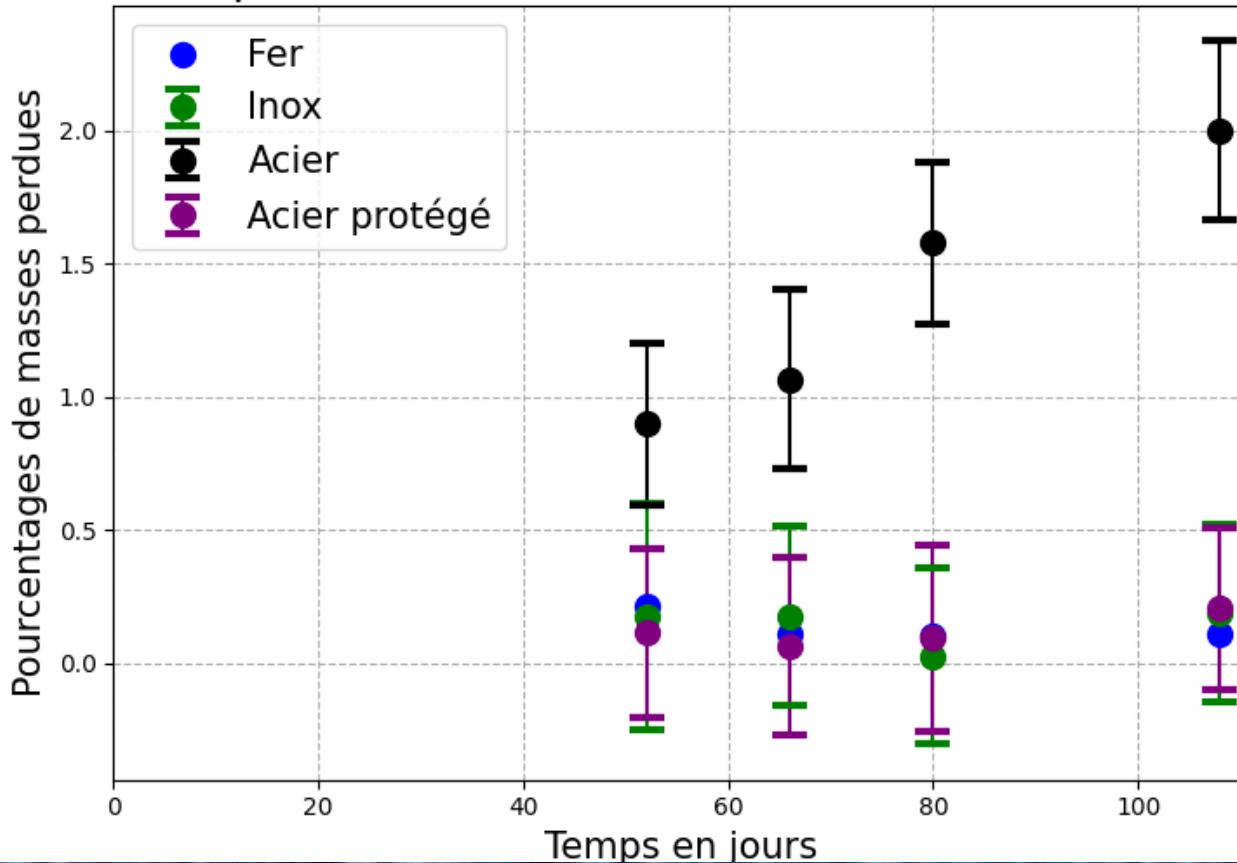


Enlever l'oxyde de fer via bain d'acide oxalique

Exploitation expérimentale avec Python (1/2)

18

Masses perdues des matériaux en fonction du temps



$P_{\text{perdue}}(\text{Fer}) \sim 0$

→ Problème

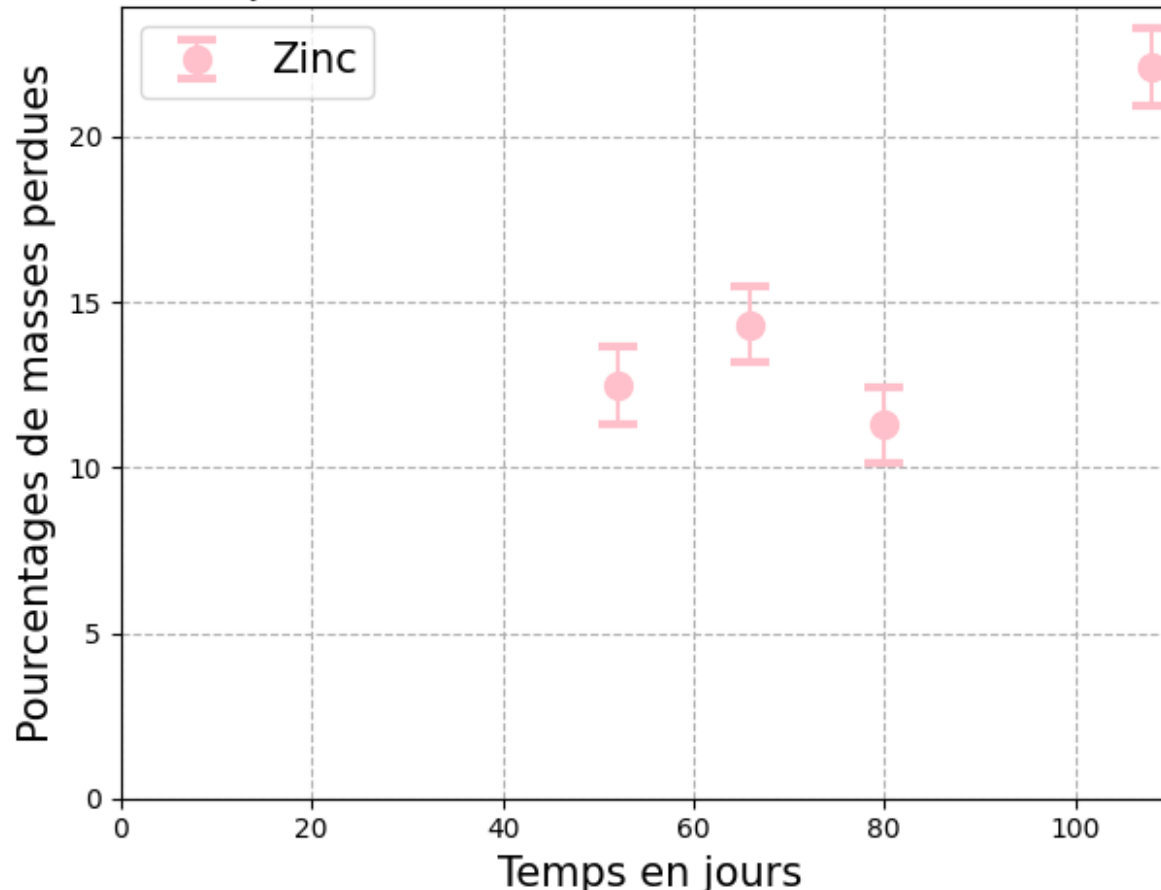
Reste = Cohérent

→ Le zinc a protégé efficacement l'acier + Inox non corrodé

Exploitation expérimentale avec Python(2/2)

19

Masses perdues du zinc en fonction du temps



1 Point aberrant

→ Le zinc s'est bien corrodé de plus en plus

Vérification composition fer

20

Détermination masse volumique

	Masse fer (g)	V fer (L)	ρ (g.L ⁻¹)
Valeur	74,63	$1,0 \cdot 10^{-2}$	$7,5 \cdot 10^3$
Incertitude	0,01	$1,4 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^3$

$$\rho = 7500 \pm 1000 \text{ g.L}^{-1}$$

Références :

- Selon Vendeur : $V_{\text{Fer}} = 10 \text{ mL}$

- $\rho_{\text{Fer}} = 7874 \text{ g.L}^{-1}$

→ Plutôt cohérent

→ Traitements, couche de protection ?



Fer dans une éprouvette

Expériences IUT St-Nazaire

21

- Expériences similaires sur 2 semaines
- Chambre de corrosion à brouillard salin
- Conditions atmosphériques : pluie + sel



IUT Saint-Nazaire
Pôle Sciences et technologie

Nantes Université



Laurence Guiheneuf
Ingénieur R&D Matériaux BTP-Génie Civil



Tiré de : GeM Nantes Université
https://gem.ec-nantes.fr/acadp_listings/chambre-de-brouillard-salin/

Tiré de : LinkedIn
<https://fr.linkedin.com/in/laurence-guih%C3%A9neuf-9b3b7387>

Résultats de l'IUT

22



Placement des plaques J-1

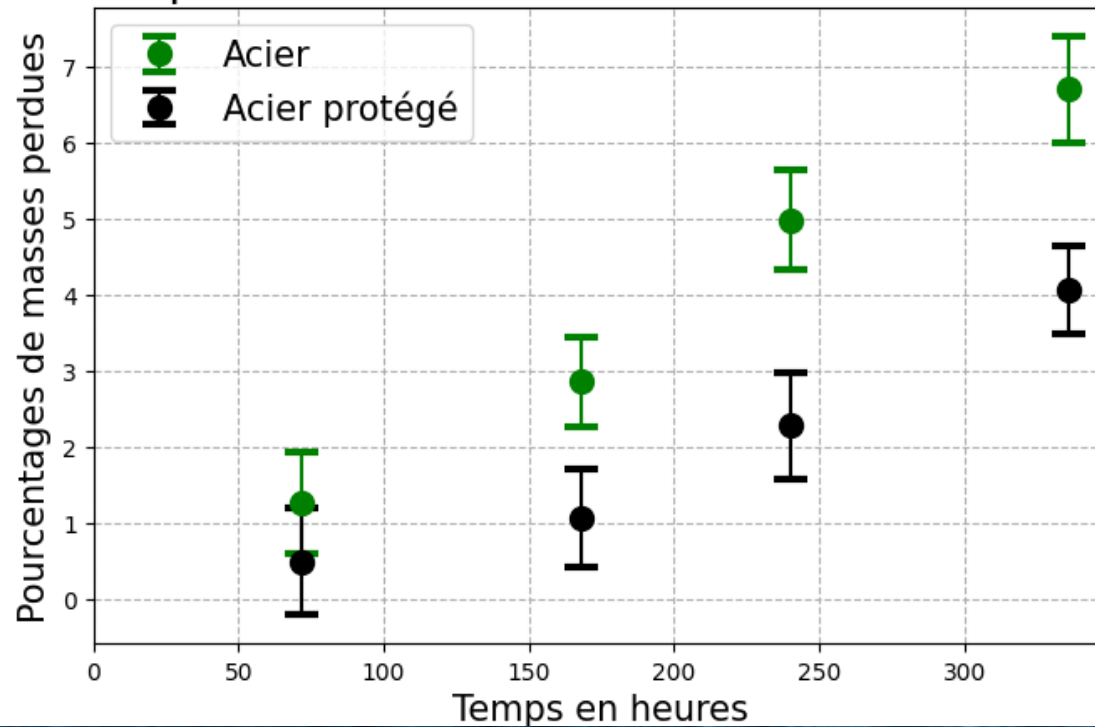
État des plaques à la fin des 2 sem.



Exploitation expérimentale (1/2)

23

Masses perdues des matériaux en fonction du temps

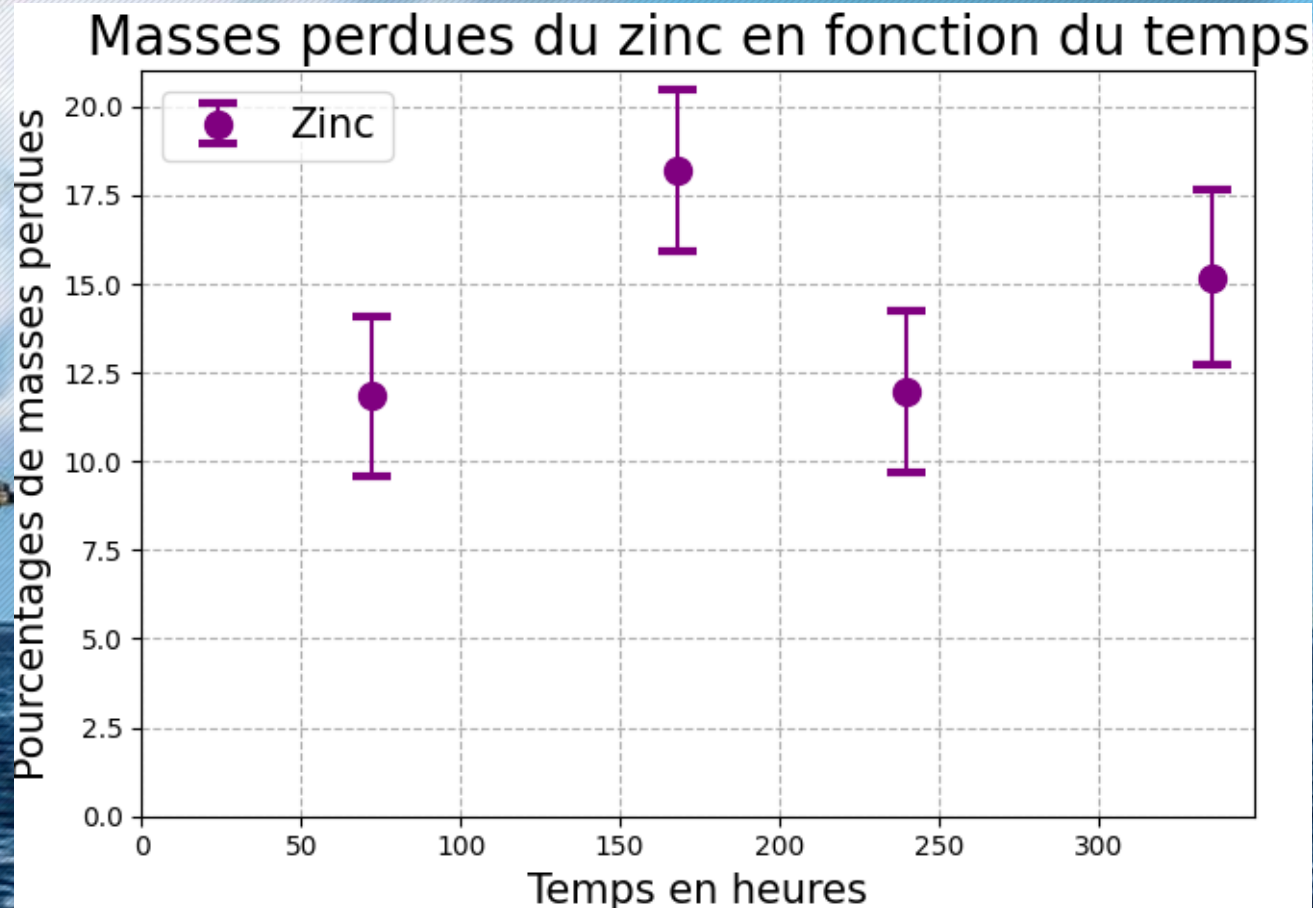


→ Acier protégé est moins corrodé que l'acier non protégé

→ P_{perdue} (Acier protégé) ↗ → Problème

Exploitation expérimentale (2/2)

24



Points incohérents → Saturation de la protection par l'oxyde de zinc

4. Modélisation de la pollution de l'eau

25

Comment combattre efficacement la corrosion de l'acier et augmenter la durée de vie des mâts d'éoliennes offshore ?

Phénomène

Tests

Économique



Protections

Pollution

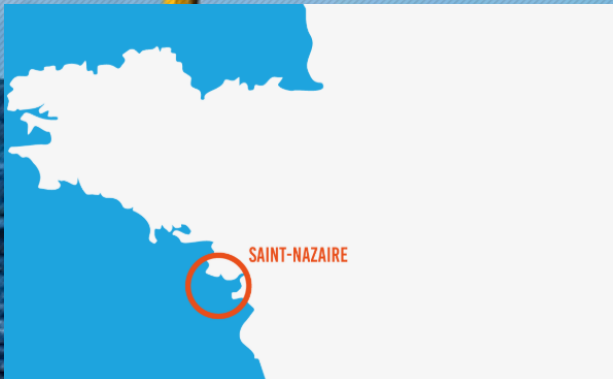
Conclusion

Données et Hypothèses parc éolien Saint-Nazaire

26

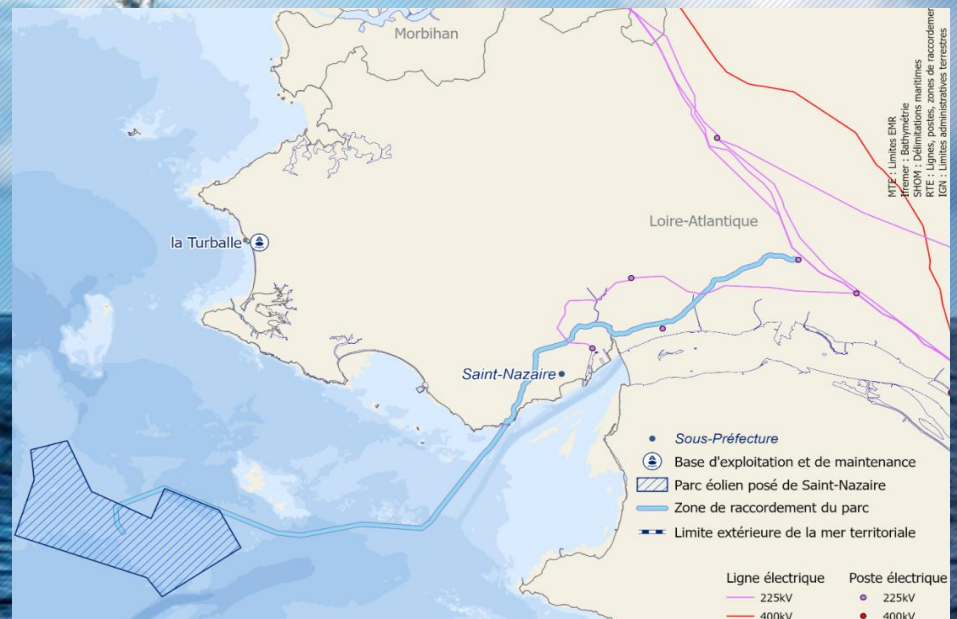
- 80 éoliennes
- $m_{i \text{ anode}} = 12 \text{ t}$
- Durée de vie : 25 ans
- 85% de $m_{i \text{ anode}}$ consommée
- **Al : 95% + Zn : 5%**
- $M_{i \text{ Al}} = 80 * 0.95 * 12 = 912 \text{ t}$
- $M_{\text{consommée Al}} = 0.85 * 912 = 775 \text{ t}$

- Particules restant en suspension
- Absence de diffusion et courant marin
- **Présence de courants de marée**
- **Sur 25 ans**



Tiré de : Loire Atlantique Nautisme

<https://www.loire-atlantique-nautisme.fr/piriac/le-parc-eolien-de-saint-nazaire-accessible-la-navigation>



Tiré de : Éoliennes en Mer

<https://www.eoliennesenmer.fr/facades-maritimes-en-france/facade-nord-atlantique-manche-ouest/saint-nazaire>

Courants de marées

27

- $v=0,5 \text{ m.s}^{-1}$
- $d=10,8 \text{ km}$

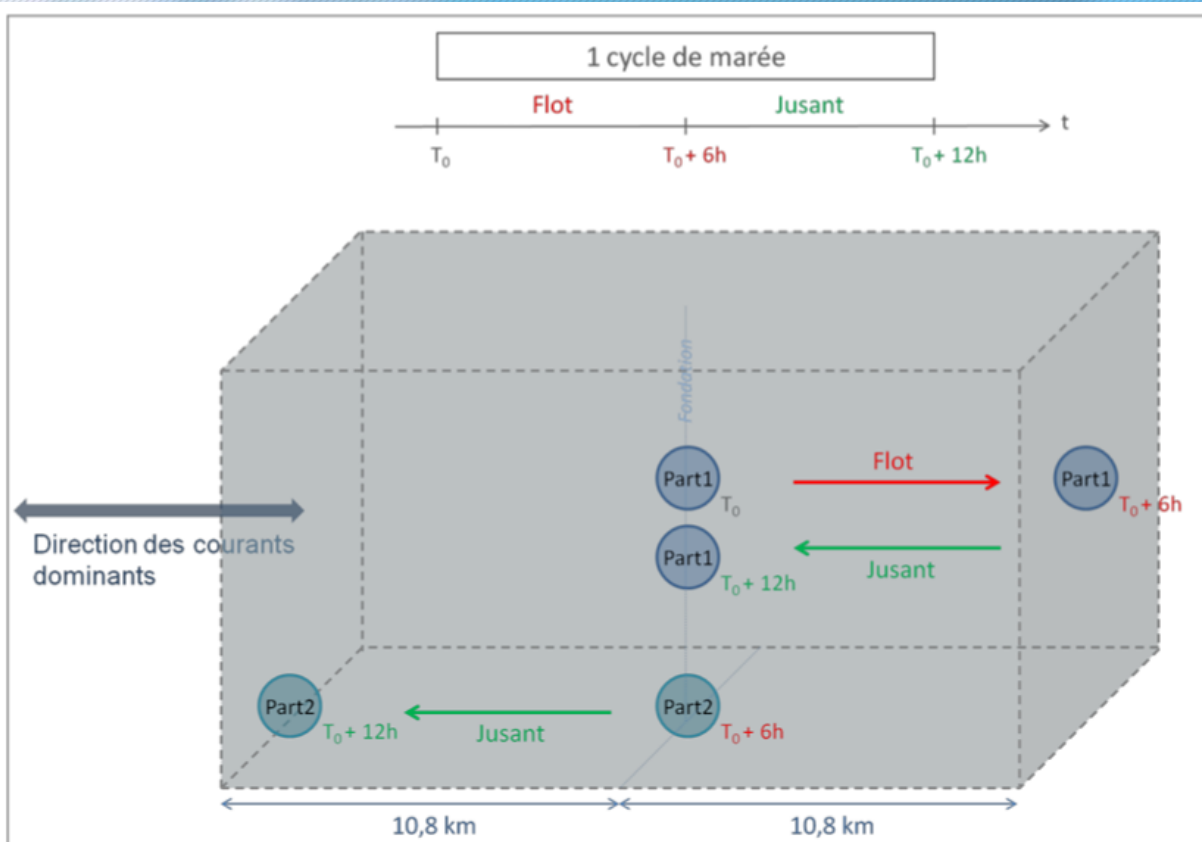


Figure 5 : Illustration du mouvement des particules sur un cycle de marée, au niveau d'une fondation

Tiré de : Mémoire-réponse avis Autorité Environnementale parc éolien de Saint-Nazaire

Calculs des concentrations

28

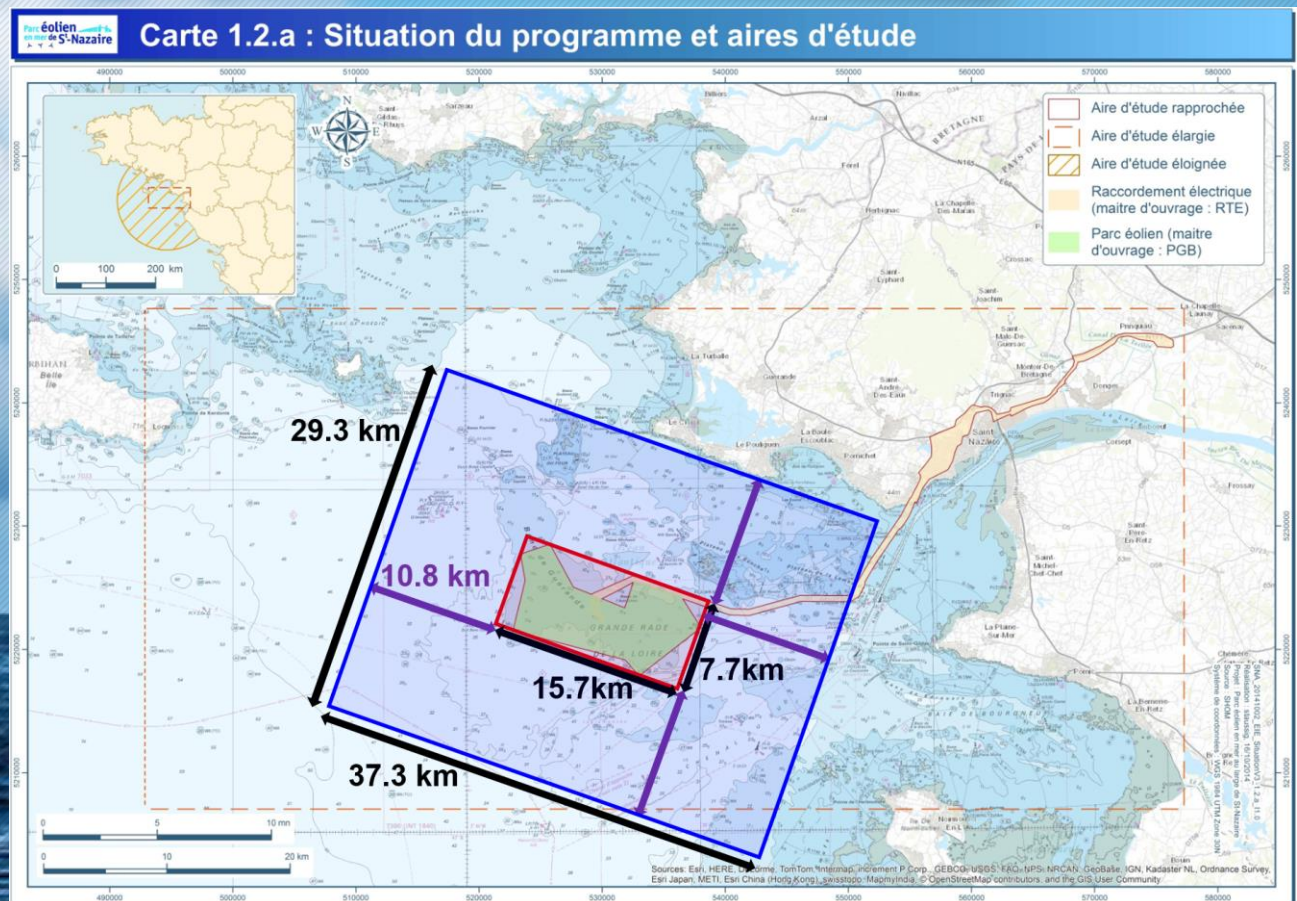
$$S=1090 \text{ km}^2$$

$$H_{\text{moyenne}} \sim 20\text{m}$$

$$V_{\text{eau}} = 2.2 \cdot 10^{10} \text{ m}^3$$

$$[Al]=35 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$$

$$[Zn]=1,8 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$$



Tiré de : Éoliennes en Mer

Analyses

29

Calculé

$[Al] = 35 \mu g.L^{-1}$

$[Zn] = 1,8 \mu g.L^{-1}$

Eau de mer côtière : $[Al] = 2 - 150 \mu g.L^{-1}$

Eau douce de surface et souterraine : $[Zn] = 10 - 50 \mu g.L^{-1}$

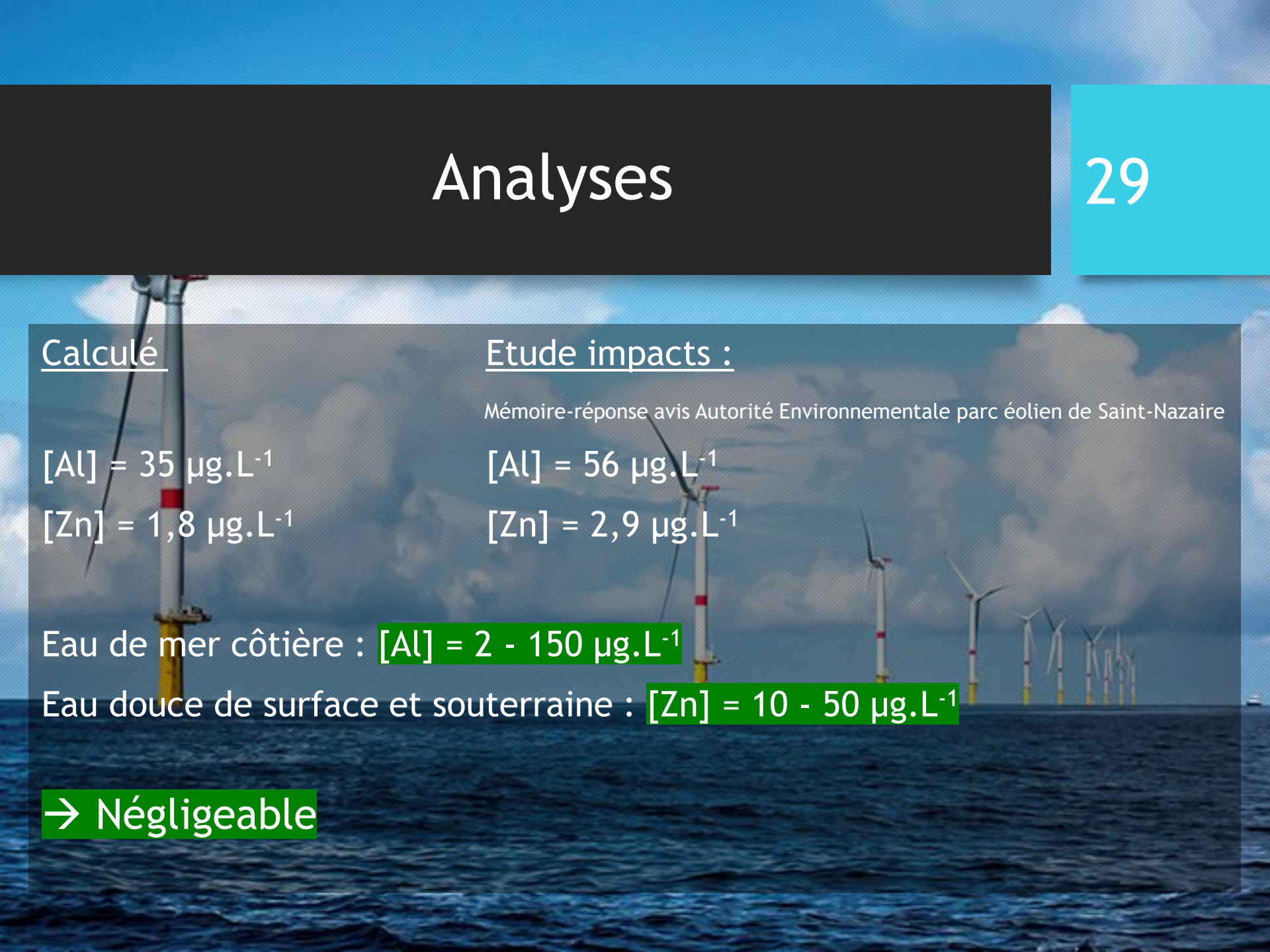
→ Négligeable

Etude impacts :

Mémoire-réponse avis Autorité Environnementale parc éolien de Saint-Nazaire

$[Al] = 56 \mu g.L^{-1}$

$[Zn] = 2,9 \mu g.L^{-1}$



5. Étude économique

30

Comment combattre efficacement la corrosion de l'acier et augmenter la durée de vie des mâts d'éoliennes offshore ?

Phénomène

Tests

Économique



Protections

Pollution

Conclusion

Remplacer Acier par Inox

31

- $V_{\text{mât}} = 63,7 \text{ m}^3$

	Acier	Inox
ρ	7850 g.L ⁻¹	8010 g.L ⁻¹
$m_{\text{mât}}$	500 t	510 t
Prix	750 €/t	800 - 1500 €/t (Choix : 1000 €/t)
Coût mât	375 000 €	510 000 €

Avec Anodes Sacrificielles

32

- 12t/éolienne
 - Prix pour anode : 2505 €/t (Al : 2500 €/t et Zn: 2600 €/t)
- Pour 1 éolienne : 30 060 €

	Acier + Anode	Inox
1 éolienne	405 000 €	510 000 €
Parc éolien St-Nazaire	32,4 millions €	40,8 millions €

$\Delta = 8,4$ millions €

→ Anode plus économique

6. Conclusion

33

Comment combattre efficacement la corrosion de l'acier et augmenter la durée de vie des mâts d'éoliennes offshore ?

→ Problème de corrosion
→ Protections efficaces existent

→ Pollution négligeable
→ Viabilité économique

Phénomène

Tests

Économique



Protections

Pollution

Conclusion

Contacts

34

Merci à :

- Laurence Guiheneuf

Ingénieur R&D Matériaux BTP-Génie Civil,
IUT Saint-Nazaire



IUT Saint-Nazaire
Pôle Sciences et technologie

Nantes Université

- Romain Clerc

Maître de Conférences en Génie Civil,
UFR Sciences et Techniques - Nantes Université



**Faculté des sciences
et des techniques**

- Franck Schoefs

Directeur du Master en Ingénierie Civil,
GeM, UFR Sciences et Techniques - Nantes Université



Annexe 1

35

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
## Courbe Exp Perso
# Données
# Toutes les données sont mises dans l'ordre chronologique
# Toutes les masses sauf l'inox représentent deux plaques et sont en g

t = np.array([52,66,80,108]) # Temps passé (jours)

M_i=np.array([[9.49+9.17,9.34+9.07,9.65+9.31,9.22+9.39],[333.40,421.89,426.31,424.47],[312.91+347.90,307.61+287.43,339.70+313.74,285.12+314.40],
[286.36+346.59,285.53+310.84,287.11+286.01,348.13+310.97]],[89.25+81.47,87.89+88.71,90.99+83.42,89.15+80.71]]) # Matrice des masses initiales du fer, inox, acier, acier protégé, zinc

M_f=np.array([[9.47+9.15,9.33+9.06,9.64+9.30,9.21+9.38],[332.82,421.14,426.19,423.66],[309.60+345.27,284.66+304.03,334.68+308.45,280.10+307.42],
[286.11+346.11,285.18+310.81,286.89+285.69,347.43+310.31]],[79.05+70.38,78.17+73.13,81.59+73.14,75.05+57.27]]) # Matrice des masses finales du fer, inox, acier, acier protégé, zinc

#Calculs des masses perdues
M_perdue=M_i-M_f # Matrice des masses perdues du fer, inox, acier, acier protégé, zinc

#Calculs des pourcentages de masses perdues
P_perdue=M_perdue/M_i*100 # Matrice des pourcentages de masses perdues du fer, inox, acier, acier protégé, zinc

#Incertitudes
balance_err = 0.01 # sur la mesure de balance
m_err=(2*balance_err**2)**(0.5) # sur la somme des masses de type Y=A+B : sqrt(uA**2 + uB**2)
m_perdue_err=(2*m_err**2)**(0.5) # sur la masse perdue de type Y=A-B : sqrt(uA**2 + uB**2)

P_err=100*P_perdue*((m_perdue_err/M_perdue)**2+(m_err/M_i)**2)**(0.5) # Matrice des incertitudes des pourcentages de m. perdues du fer, inox, acier, acier protégé, zinc
#de type Y=kA/B : k*Y*sqrt((uA/A)**2+(uB/B)**2)
P_err[1]=np.array([100*P_perdue[1]*((m_err/M_perdue[1])**2+(m_err/M_i[1])**2)**(0.5)]) # Incertitude de l'inox qui n'a que 1 plaque au lieu de 2

# Tracés des courbes
plt.errorbar(t, P_perdue[0], fmt='o', ms=10, color='blue', ecolor='blue', capsize=7, capthick=4, label='Fer')
plt.errorbar(t, P_perdue[1], yerr=P_err[1], fmt='o', ms=10, color='green', ecolor='green', capsize=7, capthick=3, label='Inox')
plt.errorbar(t, P_perdue[2], yerr=P_err[2], fmt='o', ms=10, color='black', ecolor='black', capsize=7, capthick=3, label='Acier')
plt.errorbar(t, P_perdue[3], yerr=P_err[3], fmt='o', ms=10, color='purple', ecolor='purple', capsize=7, capthick=3, label='Acier protégé')

plt.xlabel('Temps en jours',size=15)
plt.ylabel('Pourcentages de masses perdues',size=15)
plt.title('Masses perdues des matériaux en fonction du temps',size=20)
plt.legend(fontsize=15, loc = 'upper left')
plt.grid(linestyle='--')
plt.xlim(0,)
plt.show()

plt.errorbar(t, P_perdue[4], yerr=P_err[4], fmt='o', ms=10, color='pink', ecolor='pink', capsize=7, capthick=3, label='Zinc')

plt.xlabel('Temps en jours',size=15)
plt.ylabel('Pourcentages de masses perdues',size=15)
plt.title('Masses perdues du zinc en fonction du temps',size=20)
plt.xlim(0,)
plt.ylim(0,)
plt.legend(fontsize=15, loc = 'upper left')
plt.grid(linestyle='--')
plt.show()
```


Annexe 2

36

```
## Courbe Exp IUT

# Données
# | # Toutes Les données sont mises dans l'ordre chronologique
t = np.array([72,168,240,336]) # Temps passé (h)

M_i=np.array([[303.70,345.09,309.11,284.39],[285.76,310.40,284.88,345.82],[89.25,88.71,87.89,81.47]]) # Matrice des masses initiales du acier, acier protégé, zinc
M_f=np.array([[299.86,335.24,293.70,265.34],[284.34,307.06,278.38,331.77],[78.69,72.58,77.37,69.10]]) # Matrice des masses finales du fer, inox, acier, acier protégé, zinc

#Calculs des masses perdues
M_perdue=M_i-M_f # Matrice des masses perdues du fer, inox, acier, acier protégé, zinc

#Calculs des pourcentages de masses perdues
P_perdue=M_perdue/M_i*100 # Matrice des pourcentages de masses perdues du fer, inox, acier, acier protégé, zinc

#Incertitudes
balance_err = 0.01 # sur la mesure de balance
m_err=(2*balance_err**2)**(0.5) # sur la somme des masses de type Y=A+B : sqrt(uA**2 + uB**2)
m_perdue_err=(2*m_err**2)**(0.5) # sur la masse perdue de type Y=A-B : sqrt(uA**2 + uB**2)

P_err=100*P_perdue*((m_perdue_err/M_perdue)**2+(m_err/M_i)**2)**(0.5) # Matrice des incertitudes des pourcentages de m. perdues de l'acier, acier protégé, zinc
#de type Y=kA/B : k*Y*sqrt((uA/A)**2+(uB/B)**2)

# Tracés des courbes
plt.errorbar(t, P_perdue[0], yerr=P_err[0], fmt='o', ms=10, color='green', ecolor='green', capsize=7, capthick=3, label='Acier')
plt.errorbar(t, P_perdue[1], yerr=P_err[1], fmt='o', ms=10, color='black', ecolor='black', capsize=7, capthick=3, label='Acier protégé')

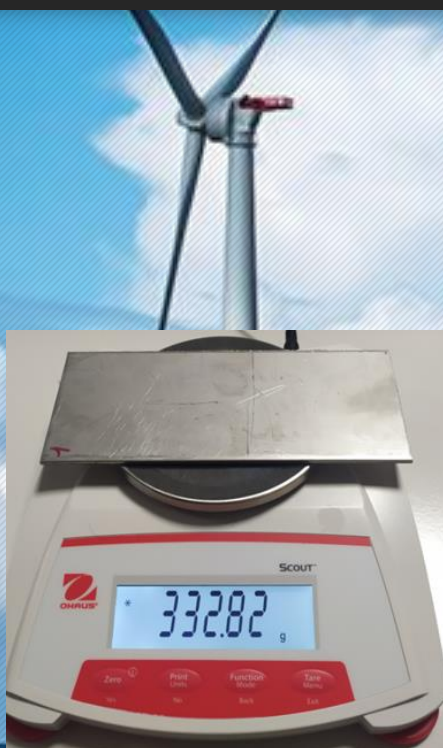
plt.xlabel('Temps en heures',size=15)
plt.ylabel('Pourcentages de masses perdues',size=15)
plt.title('Masses perdues des matériaux en fonction du temps',size=20)
plt.legend(fontsize=15, loc = 'upper left')
plt.grid(linestyle='--')
plt.xlim(0,)
plt.show()

plt.errorbar(t, P_perdue[2], yerr=P_err[2], fmt='o', ms=10, color='purple', ecolor='purple', capsize=7, capthick=3, label='Zinc')

plt.xlabel('Temps en heures',size=15)
plt.ylabel('Pourcentages de masses perdues',size=15)
plt.title('Masses perdues du zinc en fonction du temps',size=20)
plt.legend(fontsize=15, loc = 'upper left')
plt.grid(linestyle='--')
plt.xlim(0,)
plt.ylim(0,)
plt.show()
```


Annexe 3

37



Types	Plaques	Masse initiale (g)	Finale (g)	Surface (cm²)	Masse perdue (g)		Pourcentage masse perdue	Surface expo		moyenne pourcentages
Inox	1	333,4	332,82		0,58	52	0,173965207	7,9*12		
Inox	2	421,89	421,14		0,75	66	0,177771457	10*12		
Inox	3	426,31	426,19		0,12	80	0,02814853	10*12		
Inox	4	424,47	423,66		0,81	108	0,190826207	10*12		
Zinc	1	90,99	81,59		9,4	80	10,33080558			
Zinc	2	87,89	78,17		9,72	66	11,05927864			
Zinc	3	83,42	73,14		10,28	80	12,32318389			
Zinc	4	89,15	75,05		14,1	108	15,81604038		108	22,42914521
Zinc	5	89,25	79,05		10,2	52	11,42857143		80	11,32699474
Zinc	6	80,71	57,27		23,44	108	29,04225003		66	14,31106193
Zinc	7	81,47	70,38		11,09	52	13,61237265		52	12,52047204
Zinc	8	88,71	73,13		15,58	66	17,56284523			
Acier + Zinc	1	287,11	286,89		0,22	80	0,076625684	8,5*12		
Acier + Zinc	2	285,53	285,18		0,35	66	0,122579063	8,6*12		
Acier + Zinc	3	286,01	285,69		0,32	80	0,1118842	8,4*12		
Acier + Zinc	4	348,13	347,43		0,7	108	0,201074311	8,4*15	108	0,206656717
Acier + Zinc	5	286,36	286,11		0,25	52	0,087302696	8,8*12	80	0,094254942
Acier + Zinc	6	310,97	310,31		0,66	108	0,212239123	9,1*13	66	0,066115166
Acier + Zinc	7	346,59	346,11		0,48	52	0,138492167	8,5*14,5	52	0,112897431
Acier + Zinc	8	310,84	310,81		0,03	66	0,009651268	8,8*13		
Acier	1	339,7	334,68		5,02	80	1,477774507	14,2*10,1		
Acier	2	312,91	309,6		3,31	52	1,05781215	10*13		
Acier	3	287,43	284,66		2,77	66	0,963712904	10,5*12		
Acier	4	285,12	280,1		5,02	108	1,760662177	10*12	108	1,990381979
Acier	5	307,61	304,03		3,58	108	1,16381132	11*13	80	1,581942012
Acier	6	314,4	307,42		6,98	66	2,220101781	10*13	66	1,063762112
Acier	7	313,74	308,45		5,29	80	1,686109517	10,4*13	52	0,906888254
Acier	8	347,9	345,27		2,63	52	0,755964358	10*14,5		
Fer	1	9,22	9,21		0,01	108	0,10845987	9*10		
Fer	2	9,49	9,47		0,02	52	0,210748156	9*10		
Fer	3	9,65	9,63		0,02	80	0,207253886	9*10		
Fer	4	9,34	9,33		0,01	66	0,107066381	9*10	108	0,107478071
Fer	5	9,17	9,15		0,02	52	0,218102508	9*10	80	0,157332636
Fer	6	9,07	9,06		0,01	66	0,110253583	9*10	66	0,108659982
Fer	7	9,31	9,3		0,01	80	0,107411386	9*10	52	0,214425332
Fer	8	9,39	9,38		0,01		0,106496273	9*10		

Oxydation du zinc

Acide :

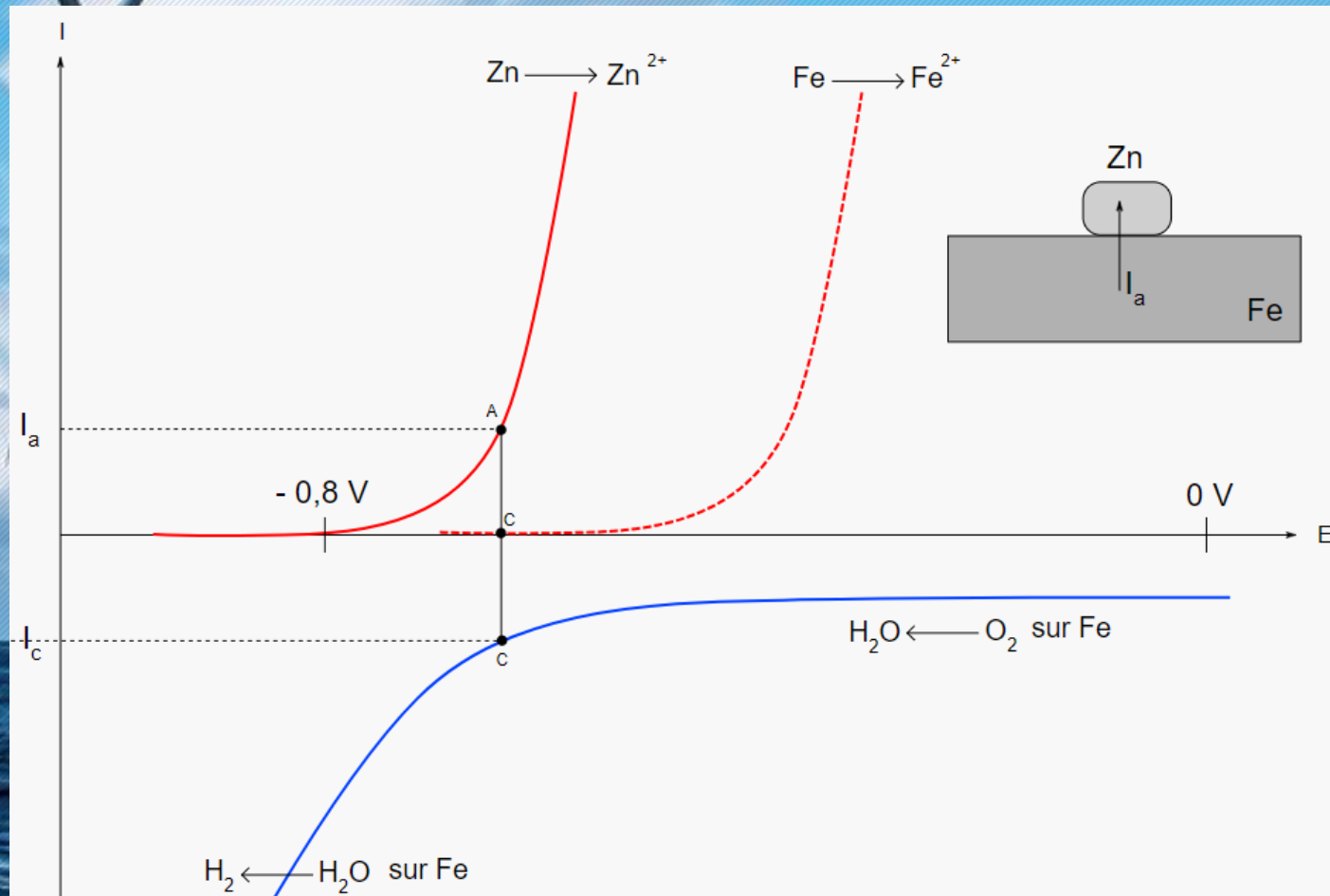


Basique :



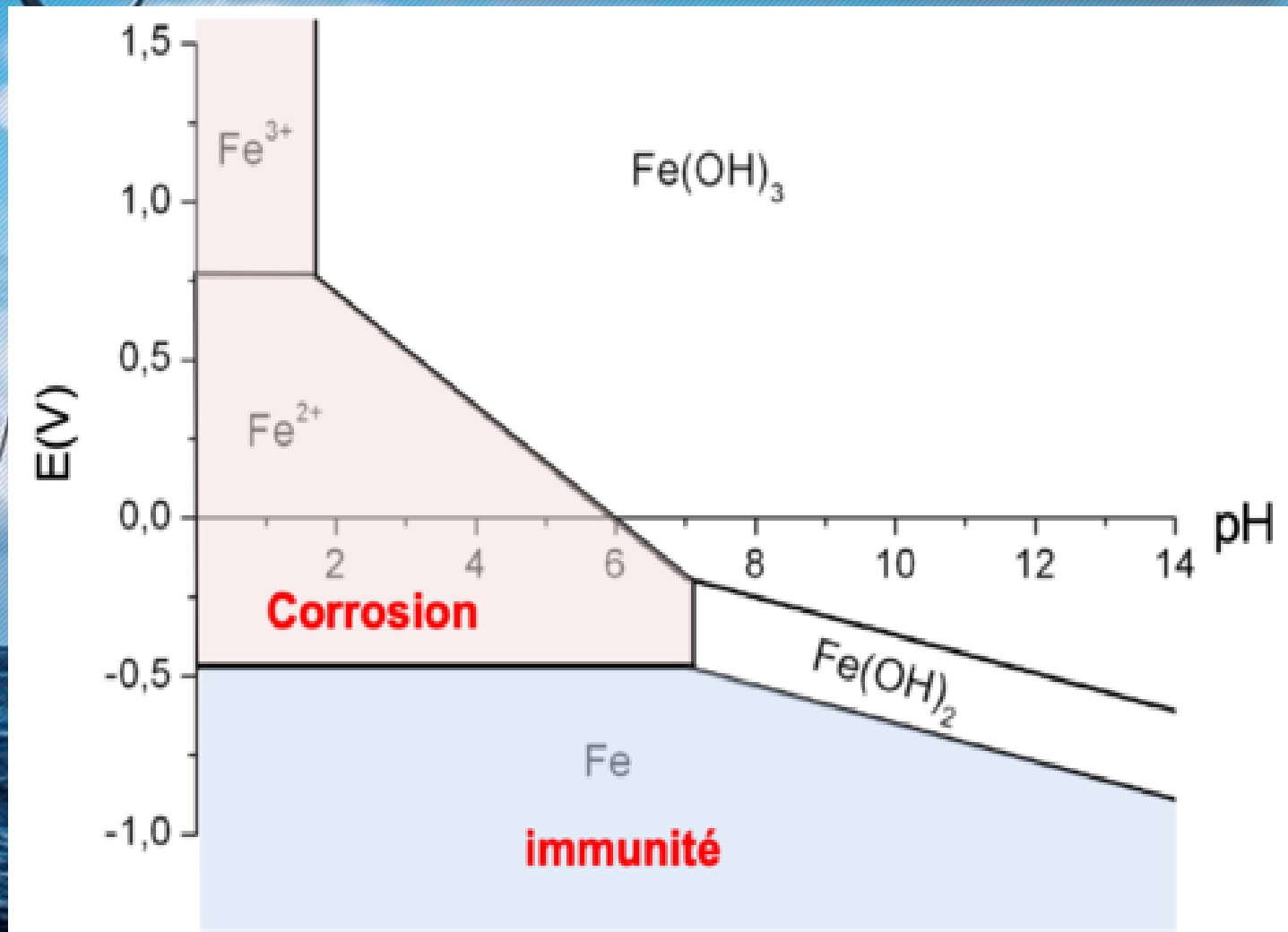
Annexe 5

39



Annexe 6

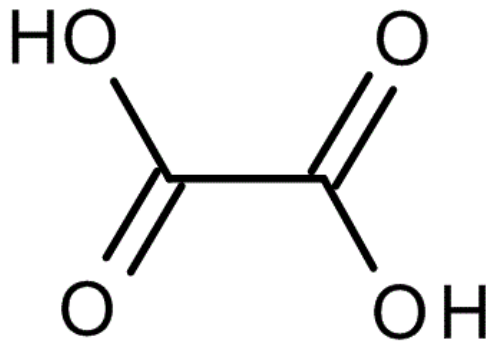
40



Annexe 7

41

Acide Oxalique



https://www.merckmillipore.com/FR/fr/product/Oxalic-acid-dihydrate,MDA_CHEM-100489?ReferrerURL=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F

Acide oxalique dihydrate

Synonyme : Acide éthanedioïque

Formule : $C_2H_2O_4$, $2H_2O$

H : 302+312-318

P : 280-301+312+330-302+352+312-305+351+338+310

CAS : 006153-56-6

Protection conseillée :

Lunettes, gants, blouse



Données :

$pK_{a1} = 1,2$

$pK_{a2} = 4,3$

$C_{utilisée} = 100 \text{ g.L}^{-1}$

Avantages :

- Pratique (poudre)
- Bon acide faible
- N'attaque pas Cr

Travail Collège

- O_2 limitant ?
- Constante thermodynamique
- Pollution expérience et impact sur faune
- Protection à courant imposé

Annexe 9

43

O₂ limitant ?

Seau d'acier : le plus corrodé

$$V_{\text{air}} = \pi * R^2 * H = 6,8 \text{ L}$$

Hypothèse hermétique

$$V_{\text{O}_2} = 0,21 * 6,8 = 1,4 \text{ L}$$

$$m_{\text{O}_2 \text{ i}} = \rho * V = 1,429 * 1,4 = 2,0 \text{ g}$$

$$n_{\text{O}_2 \text{ i}} = \frac{m_{\text{O}_2}}{2M_{\text{O}}} = \frac{2,0}{2*16} = 6,3*10^{-2} \text{ mol}$$

t = moitié entre début et 1er
prélèvement

$$m_{\text{Fe consommé}} = 4 * (3,31 + 2,63) / 2 = 11,9 \text{ g}$$

$$n_{\text{Fe consommé}} = \frac{m_{\text{Fe consommé}}}{M_{\text{Fe}}} = \frac{11,9}{55,6} = 0,21 \text{ mol}$$

$$n_{\text{O}_2 \text{ consommé}} = \frac{3}{4} * n_{\text{Fe consommé}} = 0,16 \text{ mol}$$

$$n_{\text{O}_2 \text{ consommé}} > n_{\text{O}_2 \text{ i}}$$

Seau nécessairement pas hermétique

Fermeture n'a pas empêché la réaction

Annexe 10

44

Thermo

- Bilan Total rouille : $4\text{Fe(s)} + 3\text{O}_2\text{(g)} \rightarrow 2\text{Fe}_2\text{O}_3\text{(s)}$
- $K^\circ = 1.27 \cdot 10^{265} \gg 10^3 \rightarrow \text{Réaction totale}$

Pollution Expérience

Seau avec Acier

$$V_{\text{eau}} = \pi * R^2 * H = 5.3 \text{ L}$$

$$m_{\text{totale fer perdue}} = 34.6 \text{ g}$$

$$[\text{Fe}] = \frac{m}{V} = \frac{34.6}{5.3} = 6.5 \text{ g.L}^{-1}$$

Seau avec Acier et zinc

$$V_{\text{eau}} = \pi * R^2 * H = 5.6 \text{ L}$$

$$m_{\text{totale fer perdue}} = 3.0 \text{ g}$$

$$[\text{Fe}] = \frac{m}{V} = \frac{3.0}{5.6} = 0.54 \text{ g.L}^{-1}$$

$$m_{\text{totale zinc perdue}} = 103.8 \text{ g}$$

$$[\text{Zn}] = \frac{m}{V} = \frac{103.8}{5.6} = 18.5 \text{ g.L}^{-1}$$

Démantèlement

- Durée de vie : 20 à 30 ans
- L'exploitation achevée, l'exploitant du parc éolien est tenu par la réglementation de procéder à son démantèlement et à la remise en état du site
- Ou, opération de renouvellement, consistant à optimiser la performance d'un site en remplaçant les anciennes éoliennes par des éoliennes plus puissantes et plus performantes.

Protection à courant imposé

- Protéger en polarisant le métal au moyen d'une tension électrique continue
- Contraindre le métal à fonctionner en cathode en le reliant au pôle (-) d'un générateur.
- Anode inerte (titane) reliée au pôle (+) du générateur pour assurer la circulation du courant : sens du courant imposé

Normes de pollution

Limite rejet eau dans la nature France :

$[Al] = 5\text{mg.L}^{-1}$

$[Zn] = 2\text{mg.L}^{-1}$

Norme eau consommation humaine

France : $[Al] = 200 \mu\text{g.L}^{-1}$

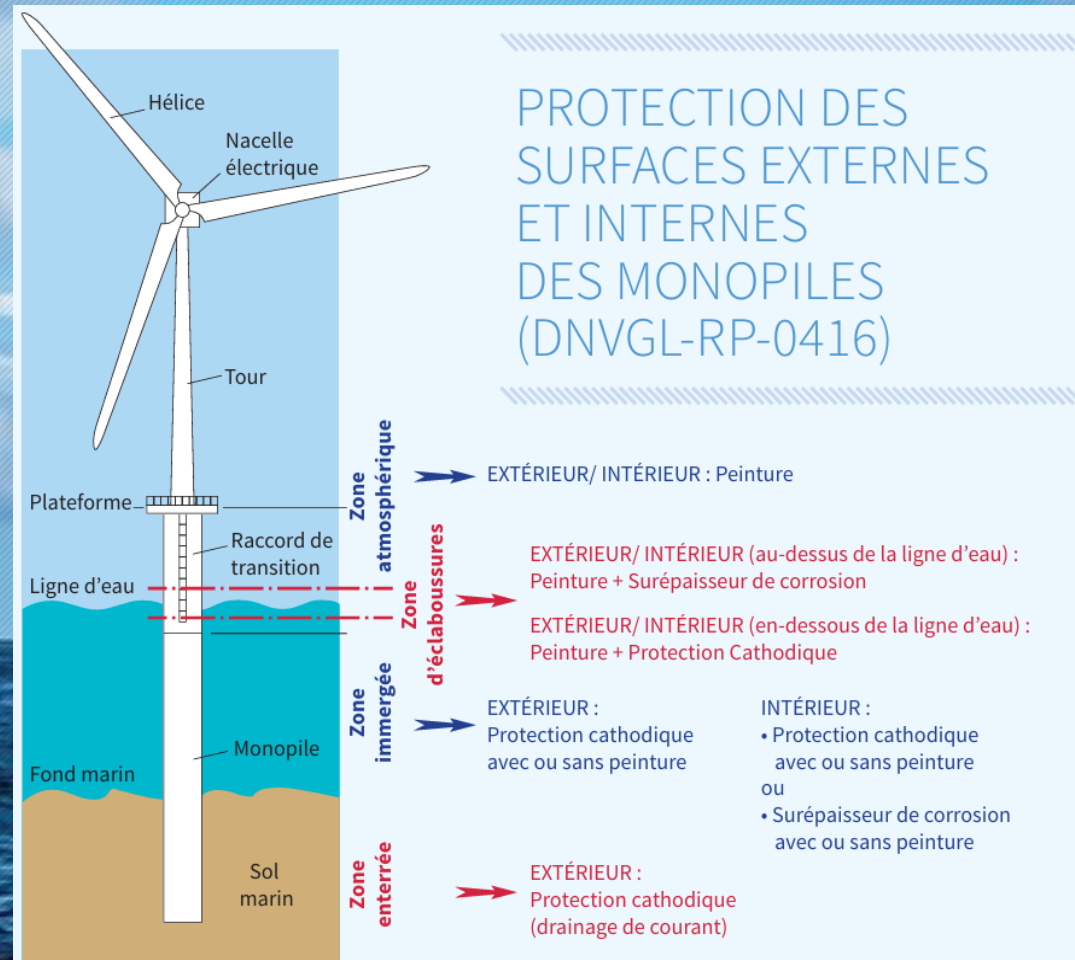
OMS : $[Zn] = 3 \text{ mg.L}^{-1}$ (Pas de valeur guide car problèmes d'acceptabilité)

$[Al] = 900 \mu\text{g.L}^{-1}$ (argument sanitaire)

Annexe 15

49

Différentes parties protégées



Données parc éolien Saint Nazaire

- Tourne 90% du temps dont 40% du temps à vitesse maximale
- V_{vent} entre 10 km/h et 90 km/h
- $P_{\text{totale}} = 480 \text{ MW}$
- 20% de la consommation de Loire-Atlantique
- Coût : 2 milliards d'euros
- 12 km de la côte

Annexe 17

51



Annexe 18

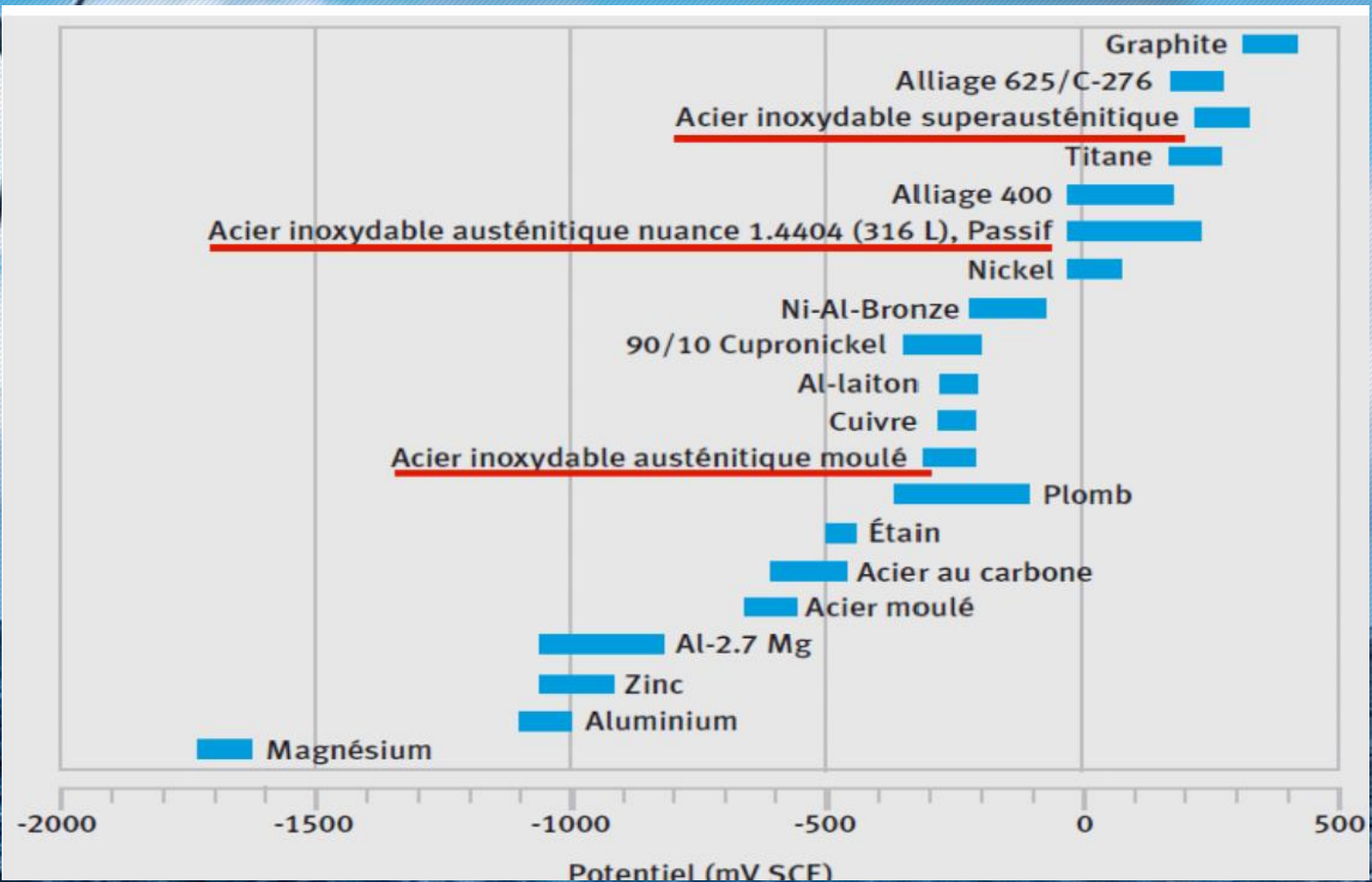
52

Durée de vie anode sacrificielle de bateau : 1-5 ans



Annexe 19

53

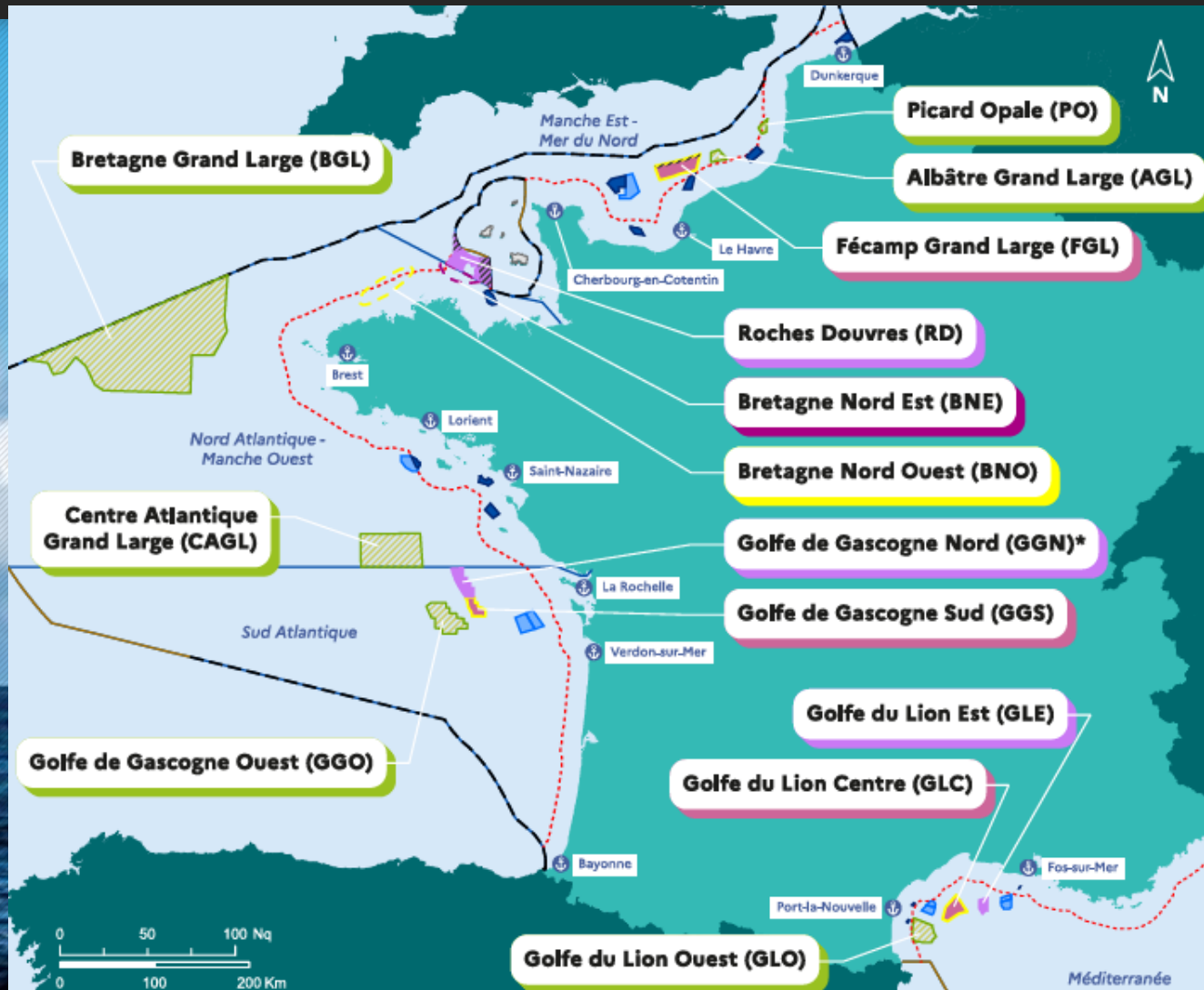


Tiré de : Préconisations d'installation d'un ballon d'ECS face à la corrosion galvanique

<https://www.apper-solaire.org/Pages/Fiches/Ballons/Preconisations%20d%20installation%20ballon%20ECS%20face%20a%20la%20corrosion%20galvanique/index.pdf>

Annexe 20

54



Zones Prioritaires retenues pour le développement de l'éolien en mer

Bleu : En service ou développement

Vert : pour 2050

Reste : pour 10 ans

Annexe 21

55



Suivi disponible : livraison estimée le mer. 5 juin - lun. 10 juin

Le délai de retour a expiré le 10 juil..

99.9% Pure Iron Foil Fe Thin Sheet
0.05x100x1000/0.1x100x1000/ 0.1x200
x1000mm

size: 0.1 x100 x1000mm

6,91 GBP

Vendu par : [chenting2018](#)