

WTC
Marlière
SPRL

Atic
for HVAC professionals



CONFERENCE ATIC 27/11/2019
« Importance de la qualité d'eau dans les circuits
caloporteurs et phénomènes de corrosion »

Présenté par Thomas Marlière

Plan de l'exposé

WTC-MARLIERE sprl

1. Chimie de l'eau
2. Normes actuelles
3. Types de corrosion + mémoire
4. Détecter la corrosion
5. Conditionnements de l'eau

SLIDE 2

Thomas Marlière

- ▶ Ingénieur Industriel ECAM Electromécanicien
- ▶ Publication dans la revue scientifique ISILF N°33 2019
- ▶ Conférence sur les chaudières aluminium pour l'AIECAM

Contact :

Thomas.marliere@wtc-marliere.eu

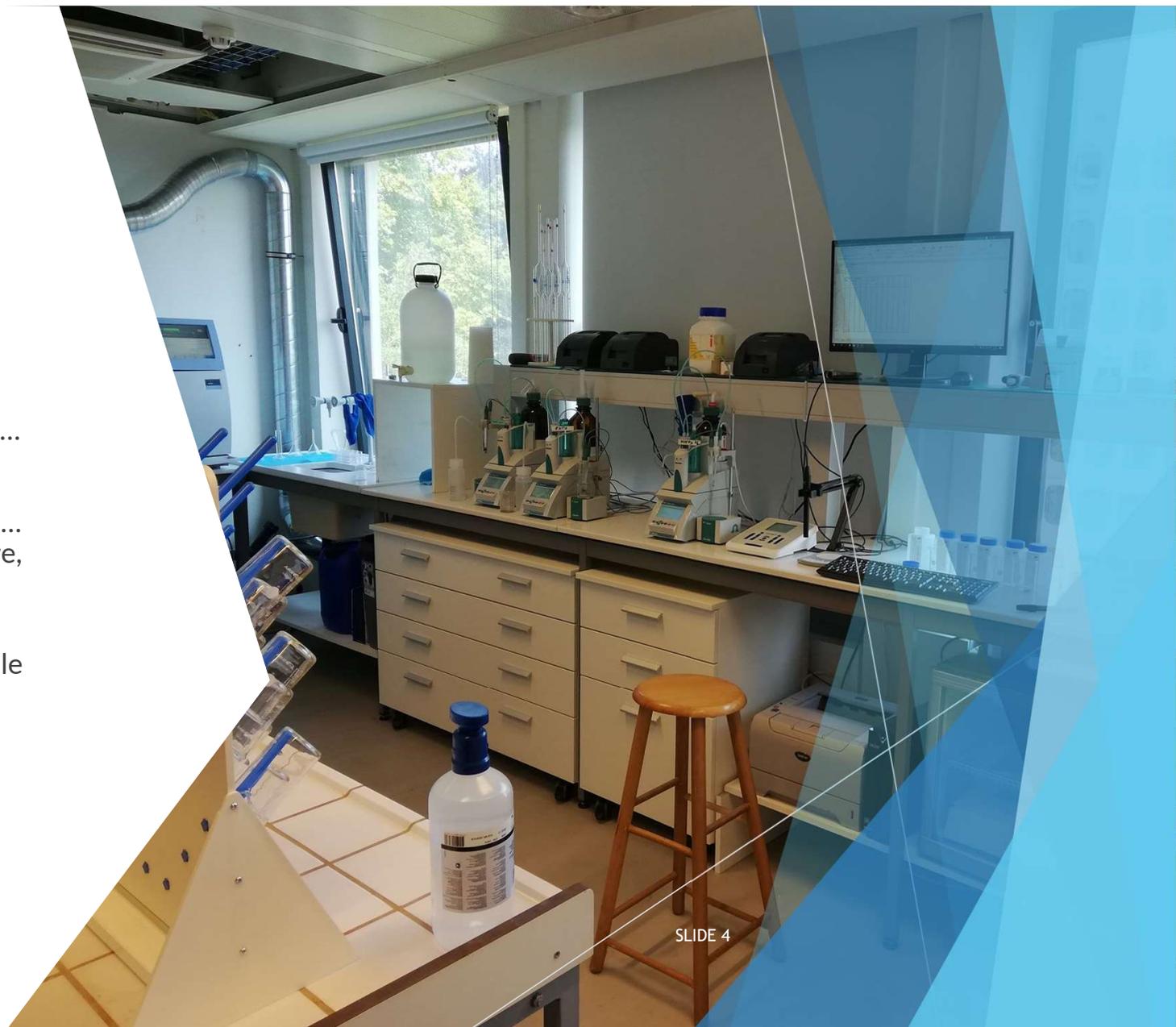
+32 474/78.33.91

Linkedin : [linkedin.com/in/thomasmarliere](https://www.linkedin.com/in/thomasmarliere)

SLIDE 3

WTC-MARLIERE sprl

- ▶ Le laboratoire
 - ▶ **Conductivimètres**
Titrateurs : pH, dureté, chlorures, ...
spectromètres colorimétriques :
concentrations en
inhibiteurs, aluminium, turbidité, ...
AAS : Concentrations en fer, cuivre,
zinc, plomb, ...
- ▶ Objectif général : augmenter le contrôle
& le suivi des installations
- ▶ Indépendance du laboratoire par
rapport à une marque, un produit, ...



1. Chimie de l'eau

Bases de la chimie de l'eau :

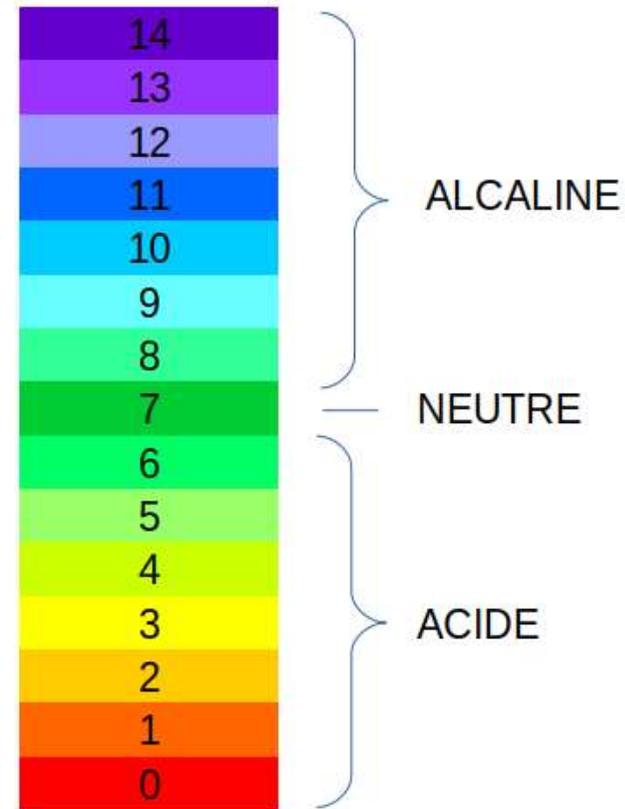
- ▶ pH
- ▶ Dureté
- ▶ Conductivité & Chlorures
- ▶ Inhibiteurs de corrosion

1. Chimie de l'eau

Importance du pH

- ▶ Déterminé à partir de la quantité d'ions hydrogène libre (H^+) dans une substance $pH = -\log(H^+)$
- ▶ pH lié aux phénomènes de corrosion.
- ▶ Plage de pH en fonction de la chaudière : **GARANTIE**

pH de l'eau

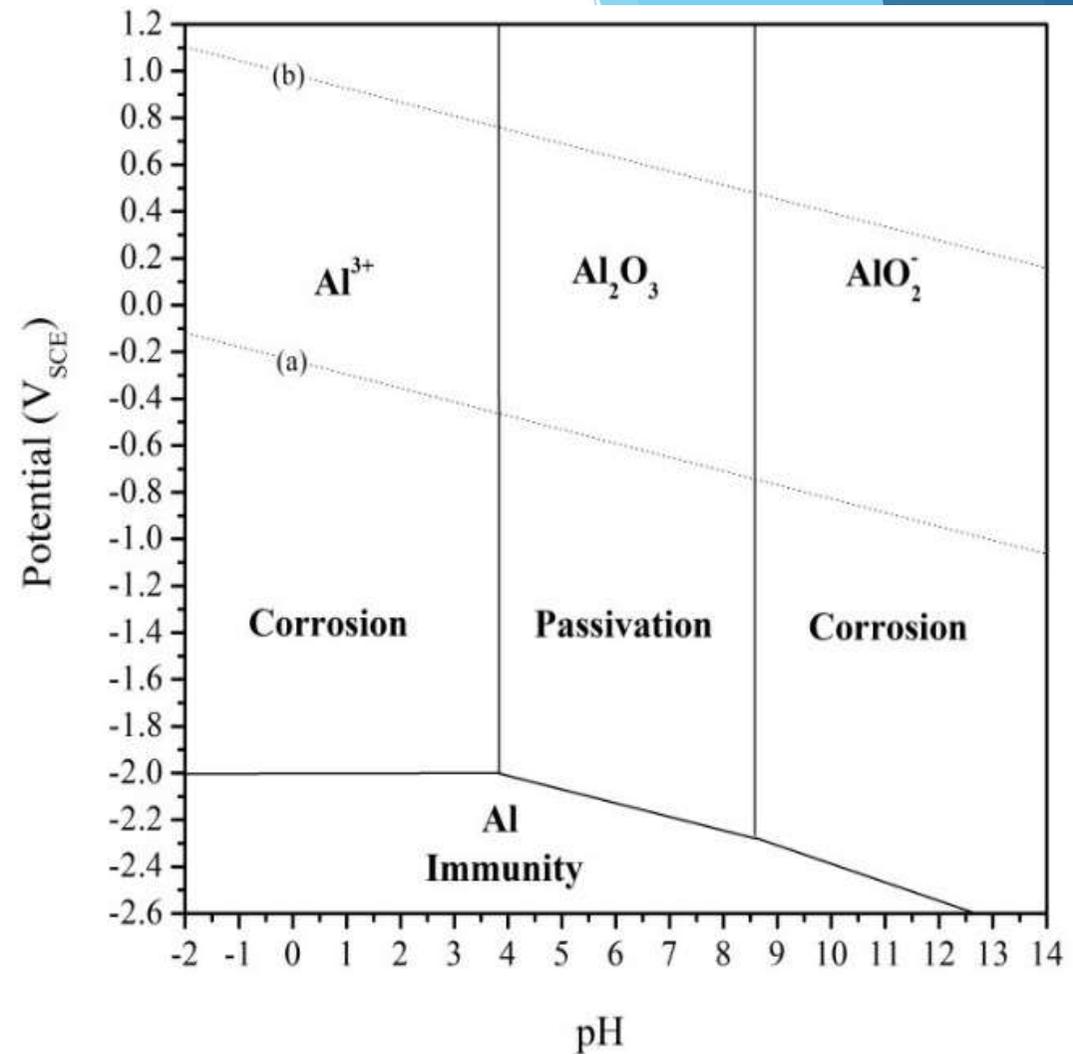


SLIDE 6

1. Chimie de l'eau

Importance du pH

- ▶ pH et aluminium
- ▶ (a) & (b) zones d'équilibre thermodynamique de l'eau.
- ▶ 4 à +8,5 : Zone de passivation de l'aluminium

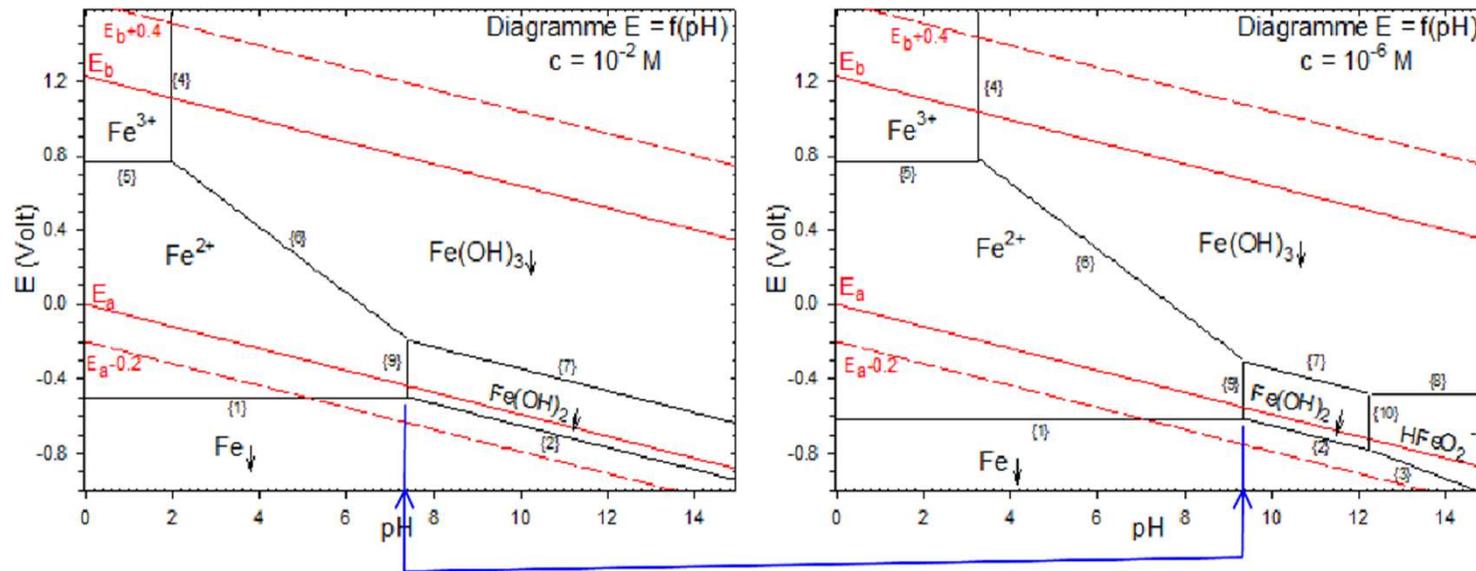


SLIDE 7

1. Chimie de l'eau

Importance du pH

- ▶ pH et Acier : pas de zone de 'passivation'
- ▶ (Ea) & (Eb) zones d'équilibre thermodynamique de l'eau.

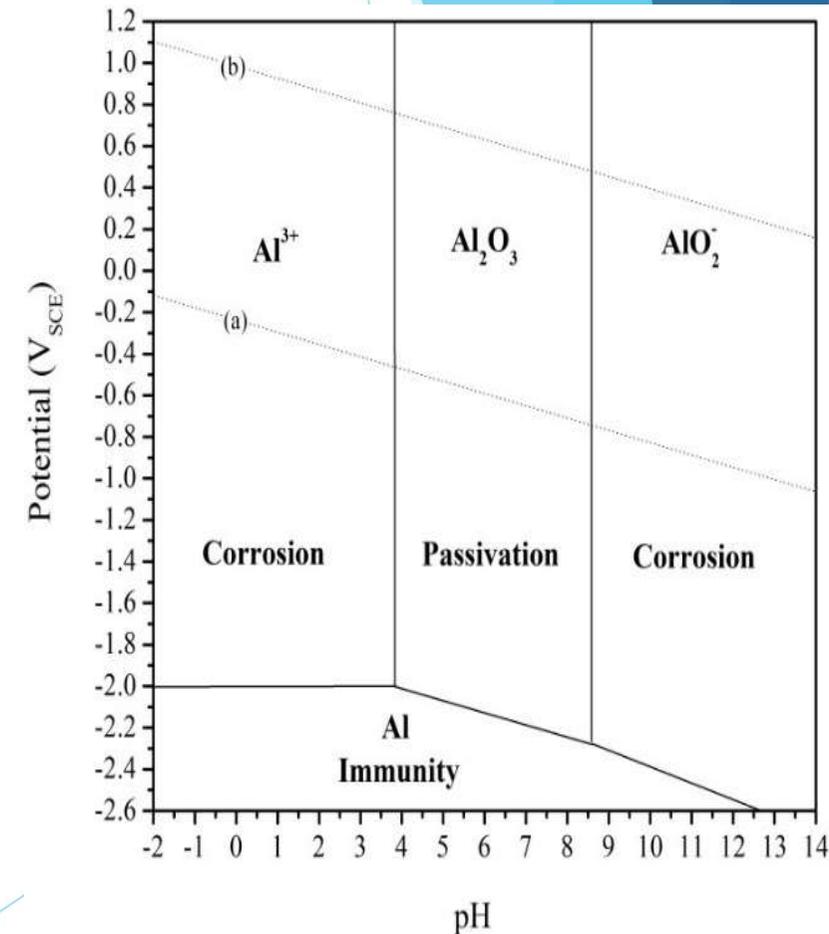


SLIDE 8

1. Chimie de l'eau

parenthèse : diagrammes de Pourbaix

- ▶ Indicateur du domaine d'existence ou de la prédominance des différentes formes d'un élément
- ▶ Basé sur les équations de Nernst
- ▶ **Conventions & limites :**
- ▶ Concentration égales pour les espèces en solution
- ▶ Température prise à 25°C
- ▶ Thermodynamique ! Pas d'idée de la vitesse des réactions
- ▶ Fortement dépendantes de la concentration & légèrement de la température
- ▶ Ne tiennent pas compte des actions extérieures



1. Chimie de l'eau

Dureté de l'eau

Dureté:

TH (°f)	0 à 7	7 à 15	15 à 30	30 à 40	+ 40
Eau	très douce	douce	plutôt dure	dure	très dure

Entartrage : dépôt de tartre



- ▶ $\uparrow T^\circ \rightarrow \uparrow \text{CaCO}_3$
- ▶ Nature des canalisations, présence d'ions favorisant l'entartrage ...

SLIDE 10

1. Chimie de l'eau

Dureté de l'eau : Chauffage

- ▶ Objectif : ↓ Dureté au maximum pour ↓ Risque d'entartrage
- ▶ Exemples de tableaux/graphes :

Capacité totale installée P [kW]	Contenance spécifique $V_i^{(1)}$ [l/kW]		
	$V_i < 20$	$20 \leq V_i \leq 50$	$V_i > 50$
	Dureté conseillée de l'eau [° fH]		
$P \leq 50$	Aucune exigence ⁽²⁾	≤ 20	$\leq 0,2$
$50 < P \leq 200$	≤ 20	≤ 15	
$200 < P \leq 600$	≤ 15	$\leq 0,2$	
$P > 600$	$< 0,2$	$< 0,2$	

(¹) Pour les chaudières placées en cascade, cette valeur équivaut au rapport de la contenance totale et de la capacité de la chaudière la plus petite.

(²) Pour certaines chaudières très compactes (chaudières à échangeurs de chaleur à plaques, p. ex.), certains fabricants prescrivent malgré tout un adoucissement de l'eau de remplissage. Ces prescriptions doivent encore être mises en pratique.

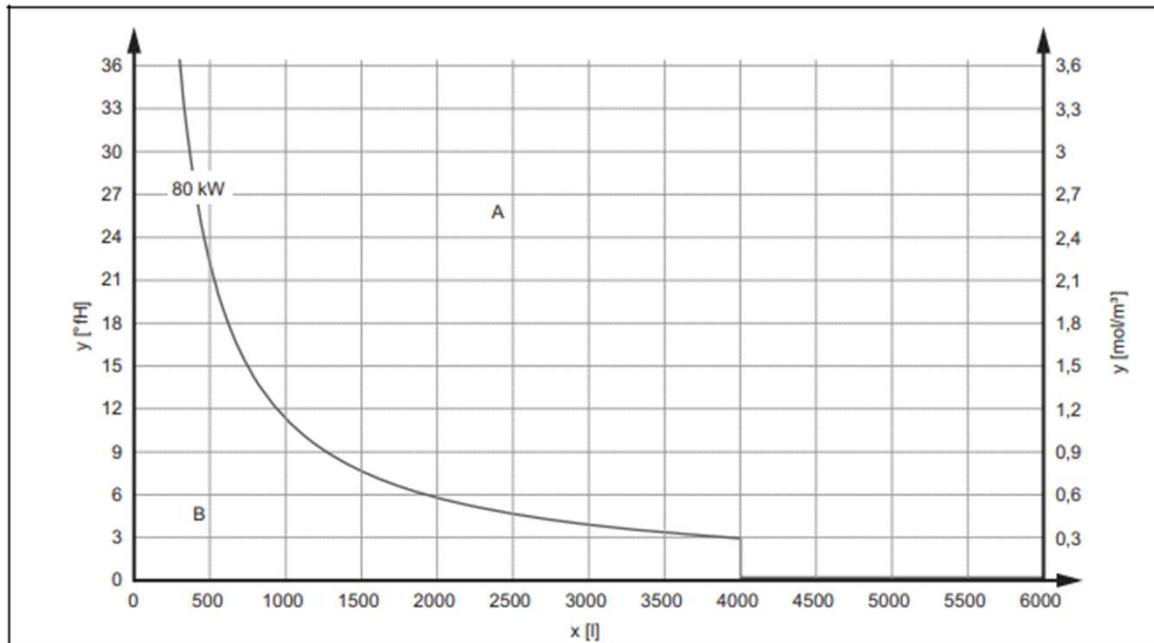
← VDI 2035 part.1

Puissance calorifique totale en kW	Somme des métaux alcalinoterreux mol/ m ³	Dureté globale en °d
≤ 50	pas de conditions requises*1	pas de conditions requises*1
> 50 jusqu'à ≤ 200	$\leq 2,0$	$\leq 11,2$
> 200 jusqu'à ≤ 600	$\leq 1,5$	$\leq 8,4$
> 600	$< 0,02$	$< 0,11$

← Exemple tableau fabricant

1. Chimie de l'eau

Dureté de l'eau : Chauffage



x Volume de l'installation A Traitement de l'eau nécessaire
y dureté de l'eau B Traitement de l'eau pas nécessaire

← Exemple sous forme graphique

SLIDE 12

1. Chimie de l'eau

Dureté de l'eau : Chauffage

▶ Cas de l'aluminium

Adoucisseur classique : échange d'ion Ca par Na

→ /!\ Augmentation du pH de l'eau car température de contact élevée et donc Formation de Na(OH).

▶ Autres moyens d'adoucir l'eau :

- ▶ Mitigeage eau déminéralisée
- ▶ Autres résines ...
- ▶ Inhibiteurs complexant avec le calcaire ...

1. Chimie de l'eau

Dureté de l'eau : ECS

- ▶ **Equilibre Calco-Carbonique**



- ▶ ***Notion d'agressivité d'une eau***

Eau agressive : Tendance à dissoudre le CaCO₃

Eau incrustante : tendance à entartrer (dépôt CaCO₃).

Dureté totale comprise entre 7 et 15°F. (5°F minimum selon NBN 12502-3)

- ▶ Indice de Ryznar et de Langelier indicateurs de l'équilibre de l'eau.

1. Chimie de l'eau

Conductivité & Chlorures

Conductivité:

- ▶ Directement liée à la corrosion. \uparrow Conductivité \rightarrow \uparrow Courant de corrosion
- ▶ Chaudières à corps de chauffe aluminium
- ▶ Tours de refroidissement et GP (formation de dépôts)

Chlorures

- ▶ Initient la piqûration (corrosion localisée)
- ▶ Image du taux de concentration d'une tour de refroidissement

1. Chimie de l'eau

Concentrations en ions métalliques

- ▶ Mesurés au laboratoire : Fe^{++} , Fe^{+++} , Cu^{++} , Zn^{++} , Pb^{++} , Al^{+++}
 - ▶ Limites en fonction des fabricant / normes pour le fer dissous (Fe^{++})
 - ▶ Limite de potabilité pour le plomb (EFS)
- ▶ Différence Fer dissous et Fer total
- ▶ Mesure de l'aluminium en solution

2. Normes actuelles

- ▶ VDI 2035
- ▶ SICC BT102-01

2. Normes actuelles

VDI 20135

- ▶ In most cases drinking water can be used as filling water and make-up water for water heating installations.
- ▶ Entartrage !

Capacité totale installée P [kW]	Contenance spécifique V_i (¹) [l/kW]		
	$V_i < 20$	$20 \leq V_i \leq 50$	$V_i > 50$
Dureté conseillée de l'eau [° fH]			
$P \leq 50$	Aucune exigence (²)	≤ 20	$\leq 0,2$
$50 < P \leq 200$	≤ 20	≤ 15	
$200 < P \leq 600$	≤ 15	$\leq 0,2$	
$P > 600$	$< 0,2$	$< 0,2$	

(¹) Pour les chaudières placées en cascade, cette valeur équivaut au rapport de la contenance totale et de la capacité de la chaudière la plus petite.

(²) Pour certaines chaudières très compactes (chaudières à échangeurs de chaleur à plaques, p. ex.), certains fabricants prescrivent malgré tout un adoucissement de l'eau de remplissage. Ces prescriptions doivent encore mises en pratique.

Source VDI 2035 part 1

SLIDE 18

2. Normes actuelles

VDI 20135

- ▶ Paramètres principaux liés à la norme (après 8-12 semaines).
 - ▶ Alcalinisation si $< 8,2$

Table 1. Guide values for the heating water

		Low-saline	Saline
Electrical conductivity at 25 °C	$\mu\text{S/cm}$	< 100	100–1500
Appearance		free of sedimentating substances	
pH value at 25 °C		8,2–10,0 ¹⁾	
Oxygen	mg/l	$< 0,1$	$< 0,02$

¹⁾ In the case of aluminium and aluminium alloys the pH value range is limited; see also Section 7.4.

ALU !

Aluminium non-allié : $\text{pH} \leq 8,5$

Aluminium alié : $\text{pH} \leq 9,0$ (AlSi10Mg)

Source VDI 2035 part 2

SLIDE 19

2. Normes actuelles

Norme Suisse

- ▶ **SICC BT102-01**
- ▶ Inhibiteurs de corrosion
Déconseillés : anodes sacrificielles

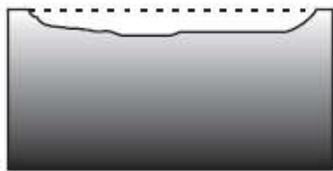
Remplissage		Appoint	
Dureté totale	< 1 °fH	Dureté totale	< 5° fH
Conductivité	< 100 µS/cm	Conductivité	< 200 µS/cm
pH	6,0 à 8,5	pH	8,2 à 10 Alu : max 8,5
		Chlorures	< 30 mg/l
		Sulfates	< 50mg/l
		O2 dissous	< 0,1 mg/l
		Fe dissous	< 0,5 mg/l

2. Normes actuelles

Normes & conditions de garantie constructeur

SLIDE 21

3. Types de corrosion fréquemment rencontrées



CORROSION
UNIFORME



CORROSION
LOCALISEE
(PIQÛRE)



CORROSION
GALVANIQUE

- Sous-dépôt (Aération différentielle)
- MIC (microbially induced corrosion)

Généralités sur la corrosion

Corrosion = oxydation d'un métal

Corrosion : un métal réducteur & un oxydant -> produit de corrosion

Oxydant = composé accepteur d'électrons

Réducteur = composé donneur d'électrons

Facilité à recevoir/donner des électrons : potentiel standard de réaction

Ex : $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{++} + 2e^-$ $E^0 = -0,44\text{V}$ par rapport à la référence $2\text{H}^+ + 2e^- \rightarrow \text{H}_2$

Le potentiel évolue selon la loi de NERNST $E = E^0 + RT/2F \ln [\text{Fe}^{2+}]$

T est la température en °K

F la constante de FARADAY

Dans le cas présent $E_1 = -0,44 + (,314 \times 298)/2 \times 96500 \ln[\text{Fe}^{++}]$

avec $\ln [\text{Fe}^{++}] = 2,3 \log [\text{Fe}^{++}]$

Soit $E = -0,44 + 29,5 \times 10^{-3} \log [\text{Fe}^{++}]$

Pour la réduction du proton, nous avons la même loi

$E_2 = 59,1 \times 10^{-3} \log [\text{H}^+]/\text{pH}^2$

PH^2 est la pression partielle de l'hydrogène soit 1 à l'atmosphère ambiante.

On aura oxydation si $E_2 > E_1$

Si nous prenons une concentration en Fe^{++} de 1ppm, cela donne un $\text{pH} < 11,3$, pour 1mg/l le pH n'est que de

L'oxydation dépend donc du pH et ne se produit qu'en dessous d'un certain pH .

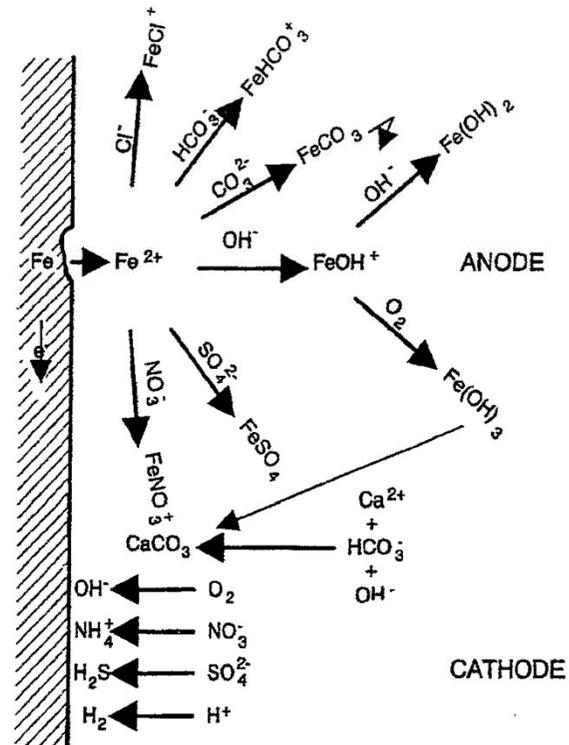
<http://www.algor-expertises.com/Technique/corrosion.htm>

Oxydation ssi $E_2 > E_1$

SLIDE 23

Corrosion uniforme : acier

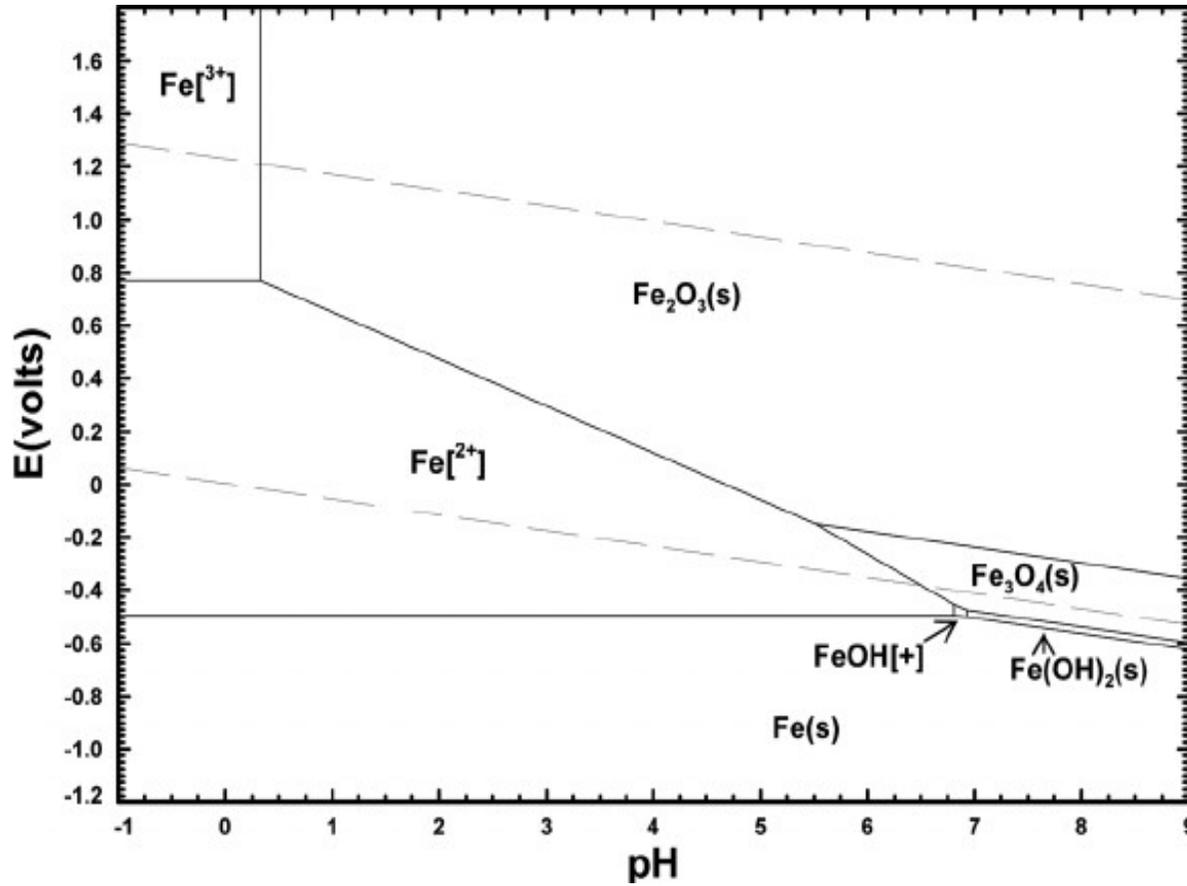
Les Réactions de Corrosions



<http://www.algor-expertises.com/Technique/corrosion.htm>

SLIDE 24

Corrosion uniforme : acier

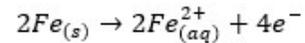


SLIDE 25

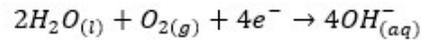
Corrosion uniforme : acier

En milieu oxygéné

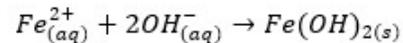
Mise en solution du fer au contact de l'eau :



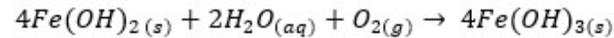
Simultanément à la mise en solution du fer dans l'eau, il y a réduction du dioxygène dissous en ion hydroxyde :



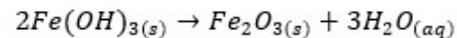
Oxydation du Fer II en hydroxyde de fer II :



Oxydation de l'hydroxyde de fer II en hydroxyde de Fer III :



Transformation spontanée de l'hydroxyde de fer III en oxyde de fer III hydraté :



Le produit $Fe_2O_{3(s)}$ de la réaction sont appelées communément « rouille »

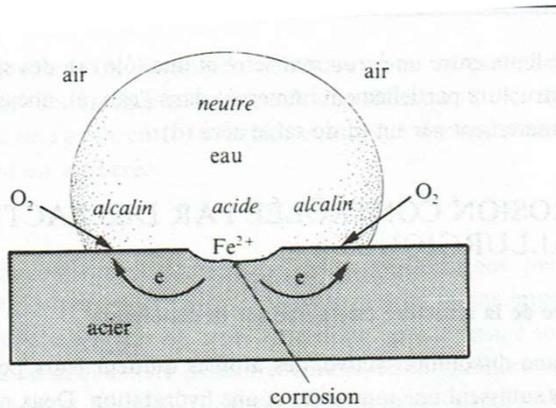
Perméable à l'oxygène !



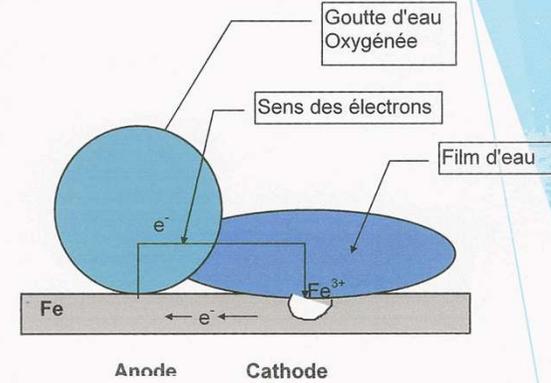
Corrosion du fer en milieu Oxygéné [28]

Corrosion uniforme : acier

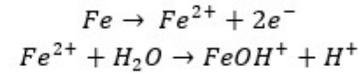
Variation locale du pH – aération différentielle



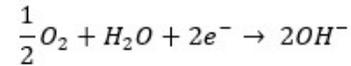
Modèle de la goutte d'Evans [36]



Au centre, l'oxygène a du mal à s'immiscer et il en résulte une diminution de pH. L'acier va se corroder via les réactions suivantes :

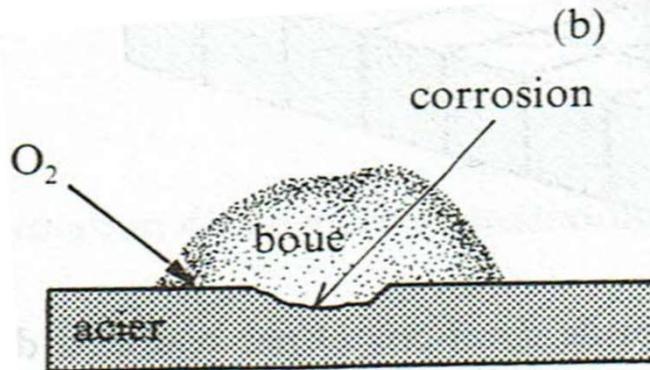


Sur la périphérie, l'oxygène est en présence : les électrons provenant de la réaction anodique forment :



Ce qui entraîne une augmentation locale du pH.

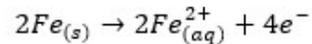
corrosion sous dépôt



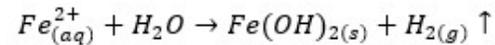
Corrosion uniforme : acier

En milieu désoxygéné

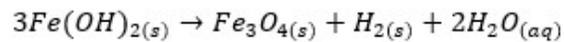
Mise en solution du fer au contact de l'eau :



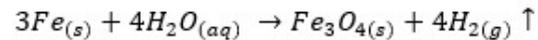
Oxydation du fer II soluble



Transformation de l'hydroxyde de fer II en oxyde de fer III (réaction de Schikorr)

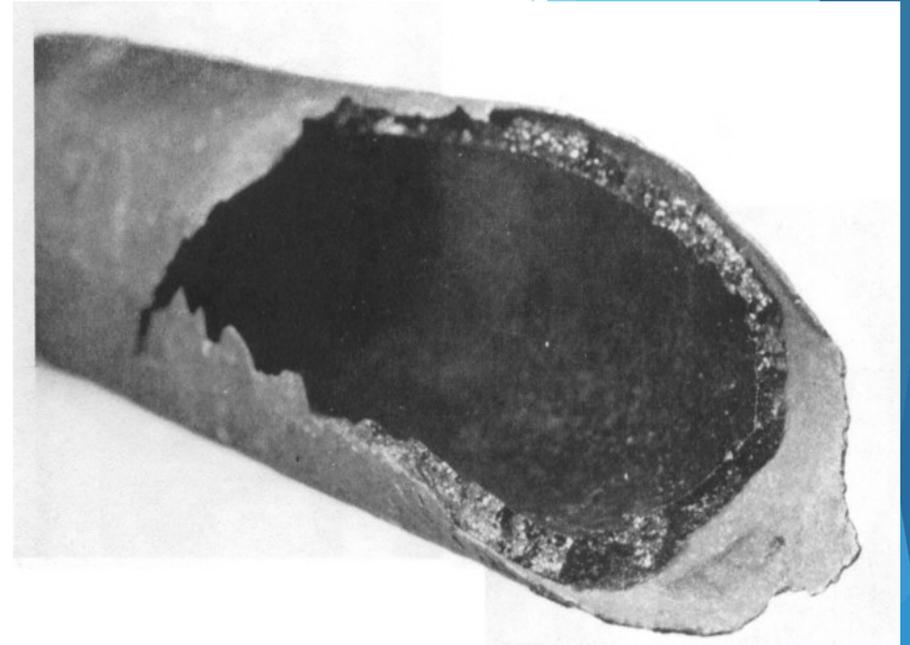


La réaction globale d'oxydation du fer en milieu désaéré peut donc se résumer de la manière suivante :



Le produit $Fe_3O_{4(s)}$ est communément appelé **magnétite**.

+ et - de la magnétite



Tuyauterie avec magnétite [8]

Corrosion uniforme : acier

RECAP

- ▶ Corrosion 'naturelle' de l'acier : phénomène inéluctable
- ▶ Corrosion en présence ou en absence d'oxygène.
- ▶ Eviter les boues (corrosion par aération différentielle)

Corrosion uniforme : aluminium

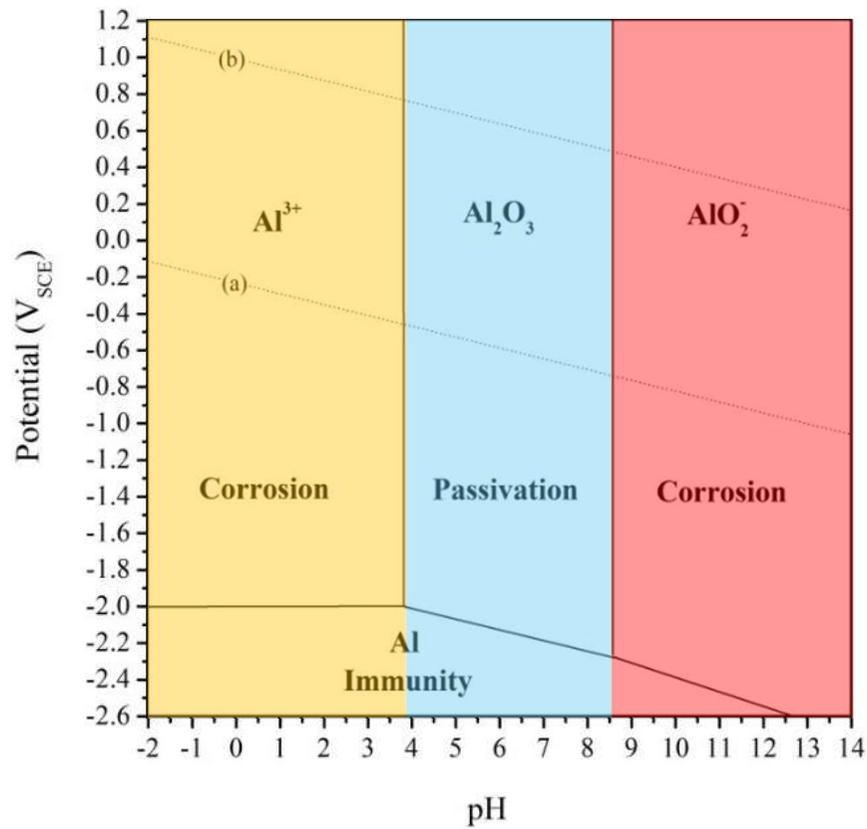
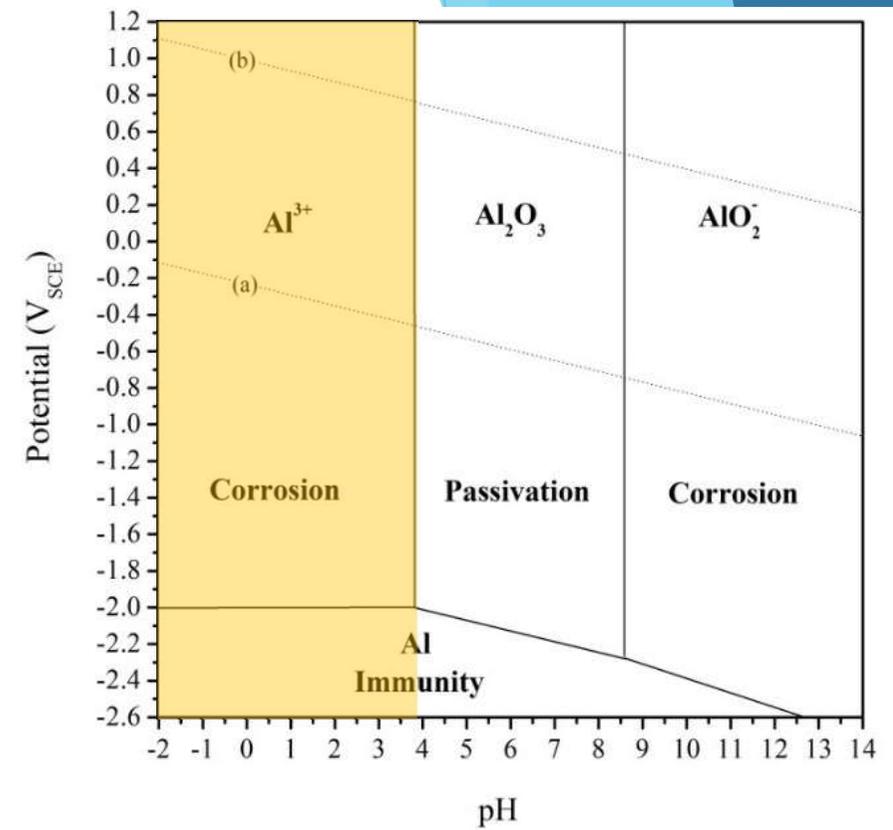
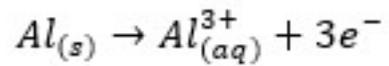


Diagramme de Pourbaix aluminium [14]

Corrosion uniforme : aluminium

► pH < 4

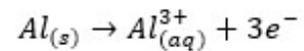
Mise en solution de l'aluminium :



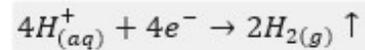
Corrosion uniforme : aluminium

► pH > 8,5

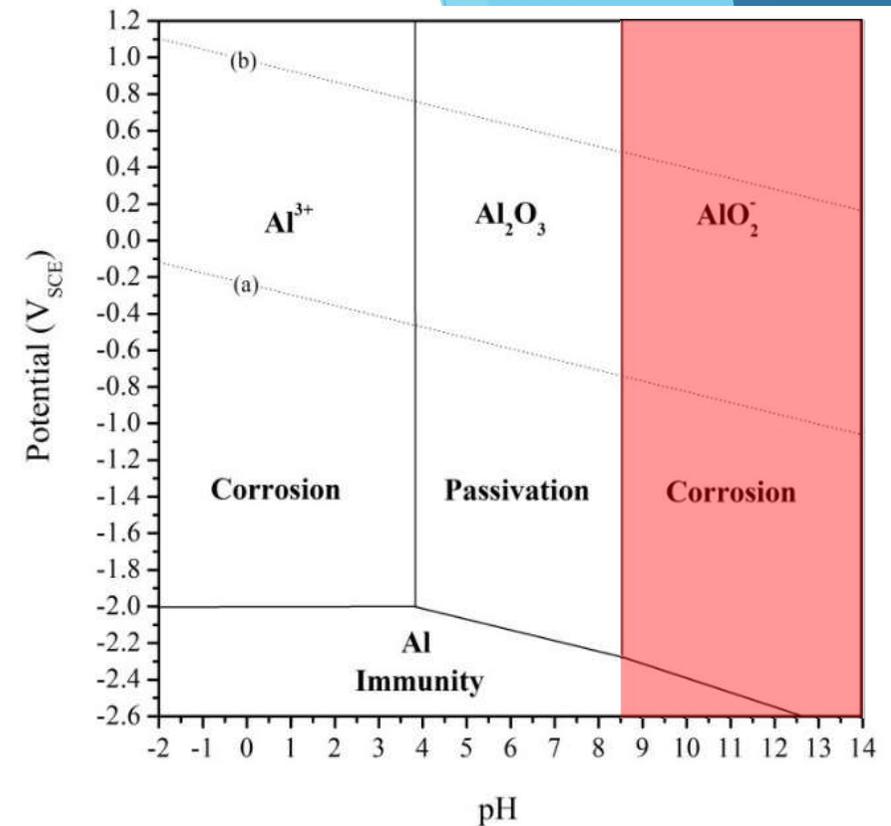
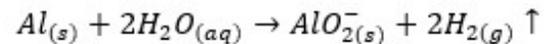
Mise en solution de l'aluminium [Source 10]



Grâce aux électrons produits par la réaction ci-dessus nous avons formation d'hydrogène gazeux :



Ces deux réactions amènent à la réaction globale de corrosion dans le cas où pH > 8.5 :

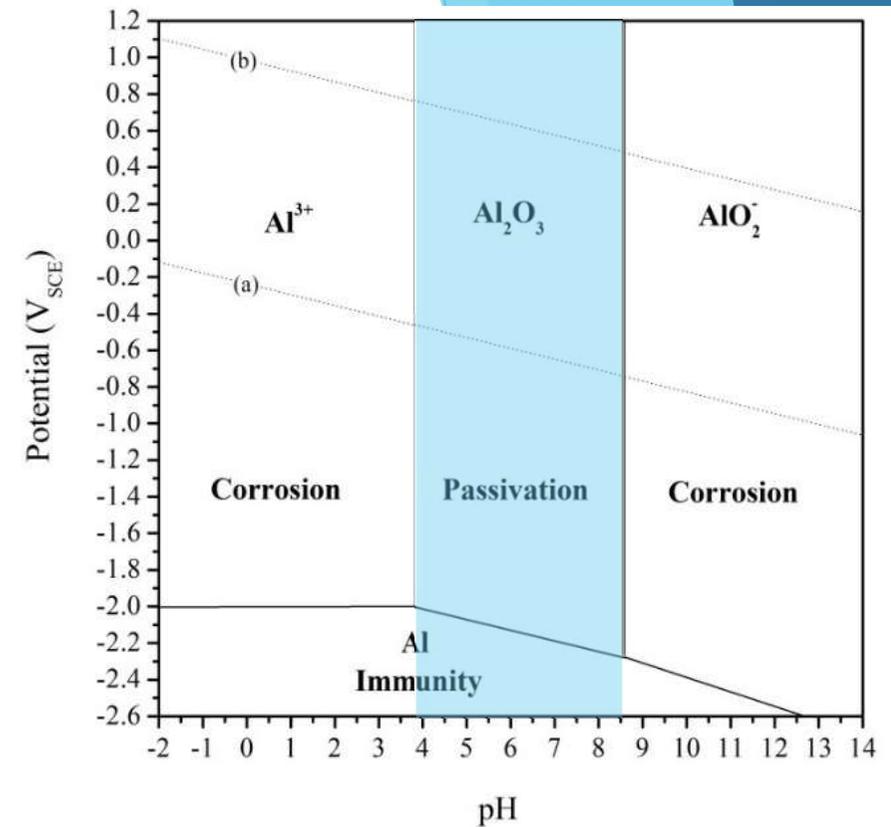


Corrosion uniforme : aluminium

- ▶ $4 < \text{pH} < 8,5$

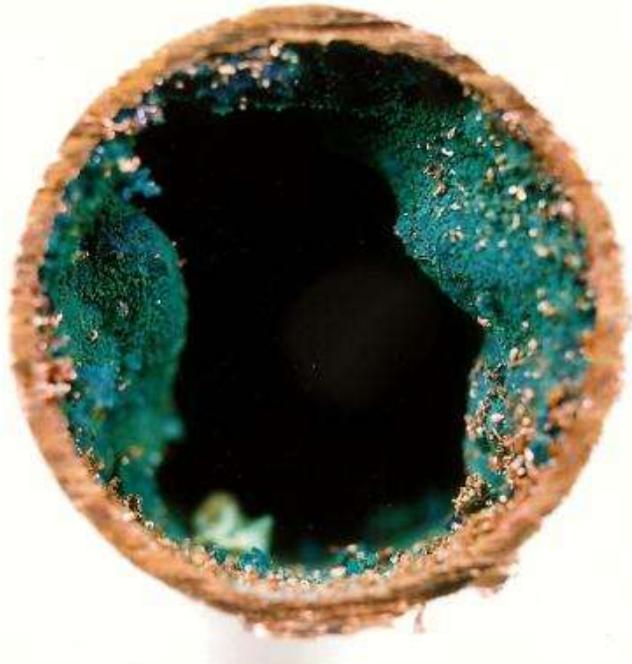


- ▶ 2 à 4 nm d'épaisseur
- ▶ Amorphe & fortement adhérente
- ▶ Passivation de l'aluminium = plage de pH désirée



Corrosion uniforme : cuivre

- ▶ Sans mise en solution (état métallique)
- ▶ Mise en solution à pH acide
- ▶ Cu_2O (passivation, nécessite apport calorifique)
- ▶ $\text{Cu}(\text{OH})_2$



Source : [Cu1]

Diagrammes E - pH du Cuivre et de l'Eau.

$$C_{\text{ba}} = 0,01 \text{ mol.L}^{-1}$$

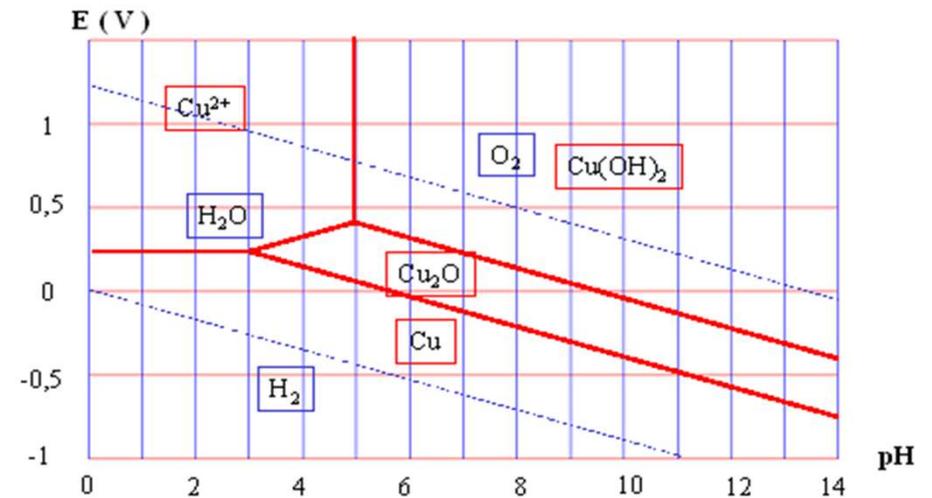
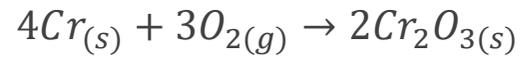


Diagramme de Pourbaix du cuivre [37]

SLIDE 34

Corrosion uniforme : Inox



$$[Cr^{3+}]_{TOT} = 10.00 \mu M$$

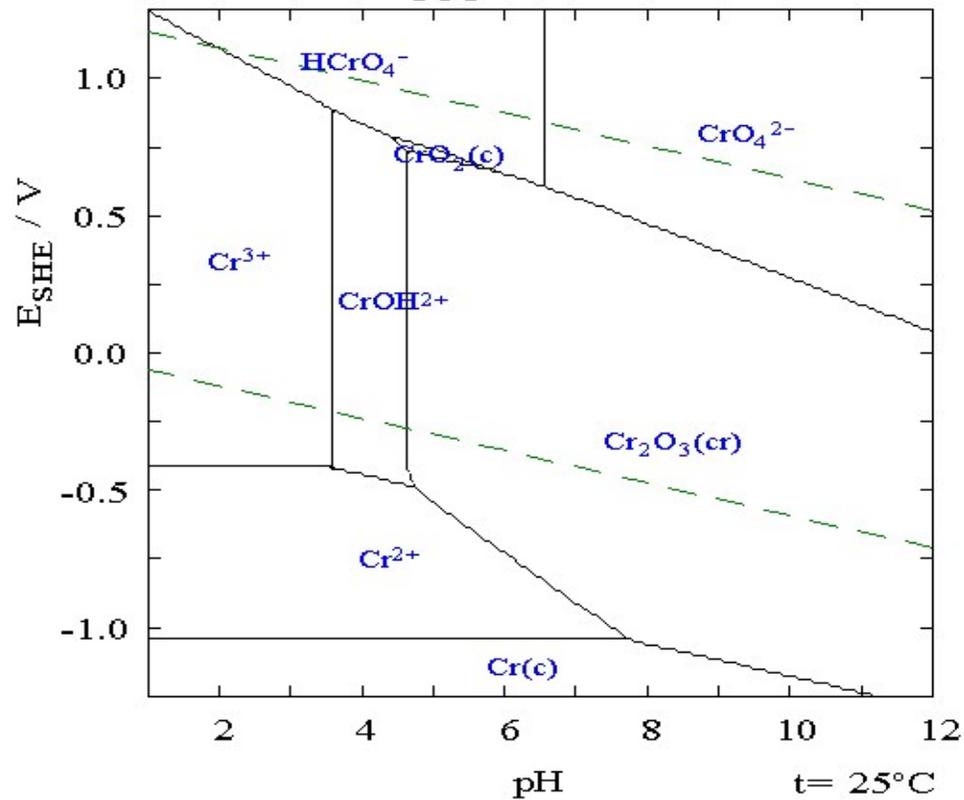


Diagramme de Pourbaix de l'inox [39]

Inox peut être sujet à des piqûrations

L'acier galvanisé

- ▶ Mécanisme de 'passivation' de l'acier galvanisé :
 1. En contact avec l'eau, mise en solution du Zinc
 2. Liaison du Zn^{++} avec des carbonates et des hydroxydes
 3. Le complexe se dépose sur les parois et crée une couche d'hydroxydes et de carbonates protectrice

- ▶ Conditions à la bonne formation de cette couche !
 - ▶ pH minimum 6,2
 - ▶ Suffisamment d'oxygène, OH, HCO_3 , $(HCO_3)_2$

Si stagnation de l'eau → pas de protection

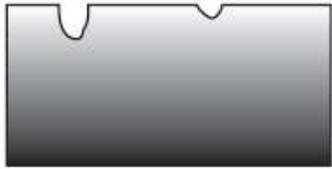
L'acier galvanisé
Conséquences :



SLIDE 37

3. Types de corrosion fréquemment rencontrées

Corrosion localisée

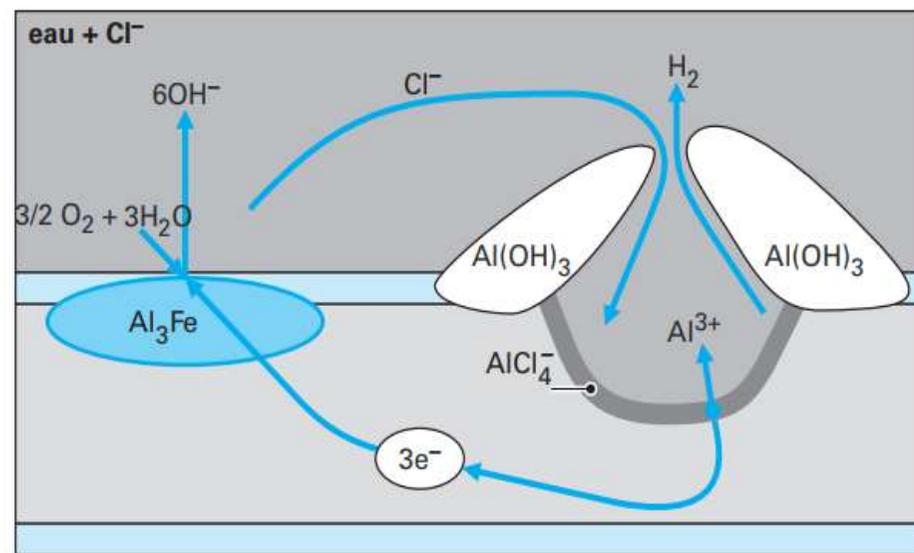


CORROSION
LOCALISEE
(PIQÛRE)

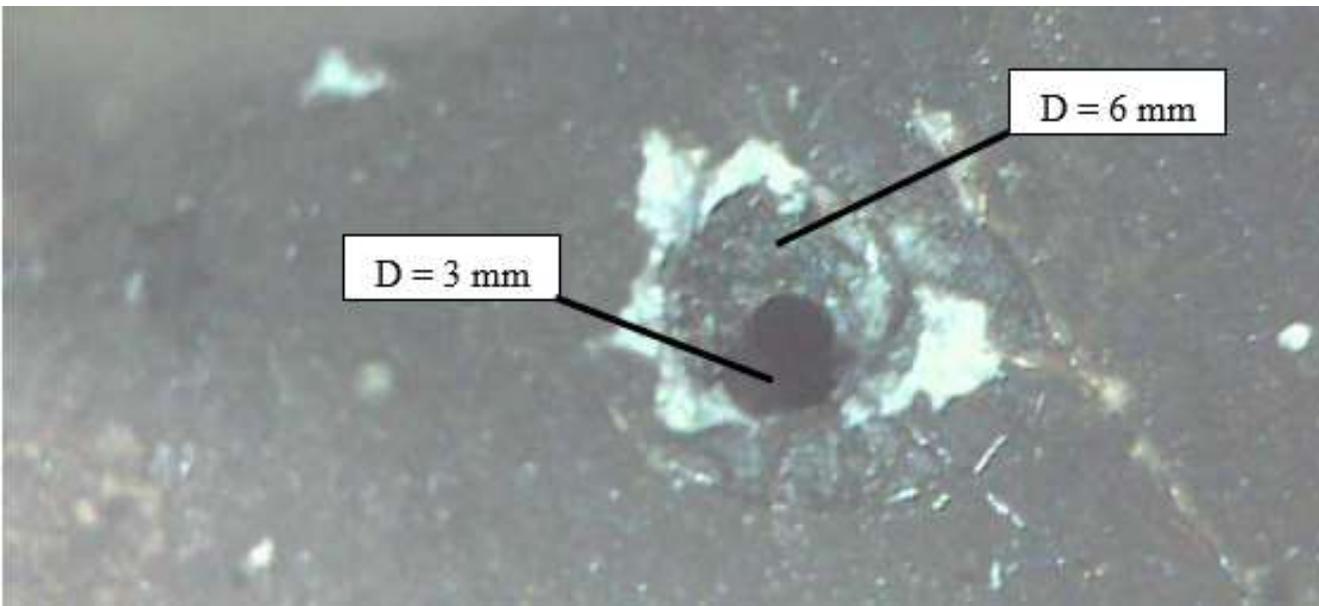
- Piqûration de l'aluminium
- Piqûration de l'acier inox (peu fréquent)

Piqûre dans l'aluminium

1. Réduction de l'oxygène aux sites cathodiques
2. Rupture de la couche de passivation à un point faible
3. Oxydation rapide de l'aluminium
4. Ions Cl^- absorbés
5. Oxygène réduits en OH^- aux sites cathodiques
6. Al^{3+} générés aux sites actifs. Combinaison avec OH^- et acidification de la piqûre
7. Tant que la couche se renouvelle, maintient de la corrosion



Piqûre dans l'aluminium



SLIDE 40

Mémoire fin d'études : chaudières en aluminium

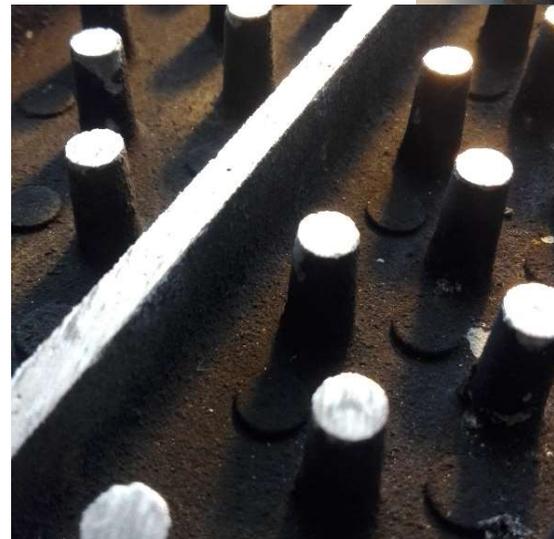
Échangeurs en fonte d'aluminium

Avantages

- Très bonne coulabilité
→ Formes complexes
→ Maximise l'échange thermique
- Conductivité élevée
- Volume plus faible
- Masse volumique faible
→ Facilité de manutention

Inconvénients

- Qualité d'eau spécifique requise (Inox parfois pire ...)
- Résistance mécanique plus faible



Mémoire fin d'études : chaudières en aluminium

- ▶ Etude spécifique du percement d'un corps de chauffe
- ▶ Conclusions sur le percement
- ▶ Etude du coût des solutions

Corps de chauffe en aluminium-silicium

Contexte

Rappel
des bases

Technique

Economique

Innovation &
Apport du TFE

Conclusion

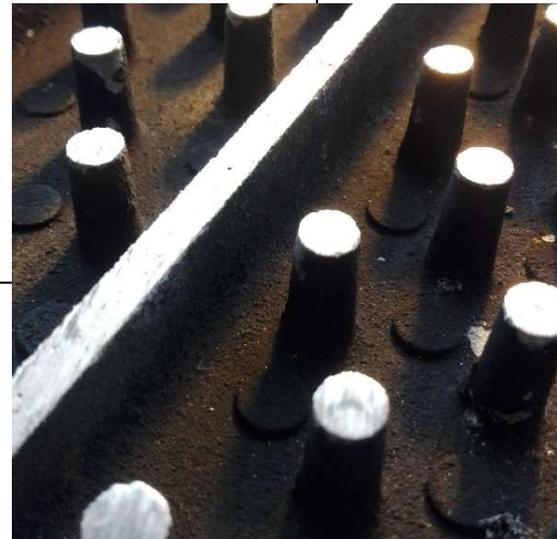
Échangeurs en fonte d'aluminium

Avantages

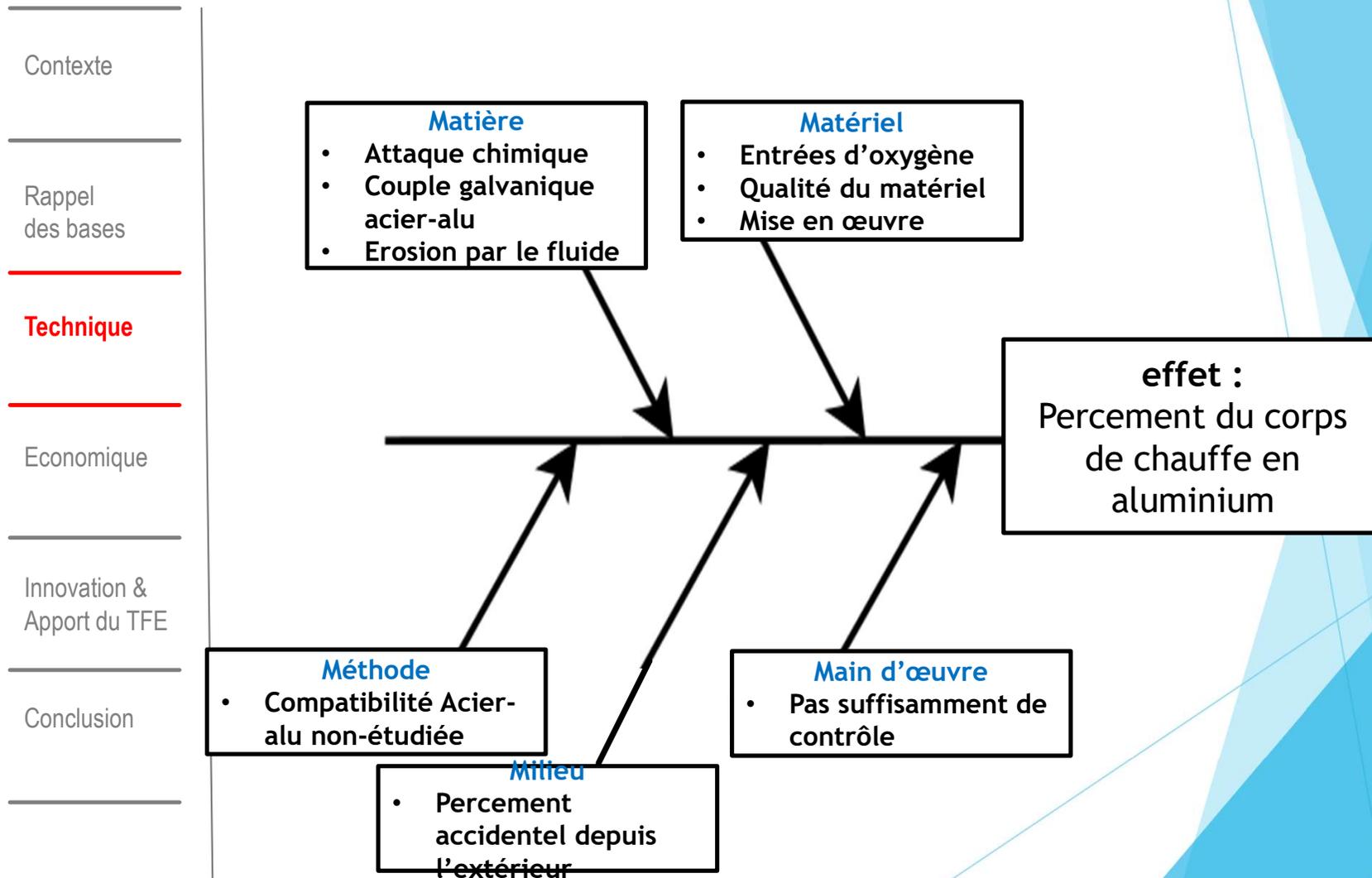
- Très bonne coulabilité
→ Formes complexes
→ Maximise
l'échange thermique
Conductivité élevée
- Volume plus faible
- Masse volumique
faible
→ Facilité de
manutention

Inconvénients

- Qualité d'eau
spécifique requise
(Inox parfois pire ...)
- Résistance
mécanique plus faible



Méthodologie de recherche de causes : Ishikawa



Rencontres avec des fabricants / Organismes

Contexte

Rappel
des bases

Technique

Economique

Innovation &
Apport du TFE

Conclusion



Note d'information
technique

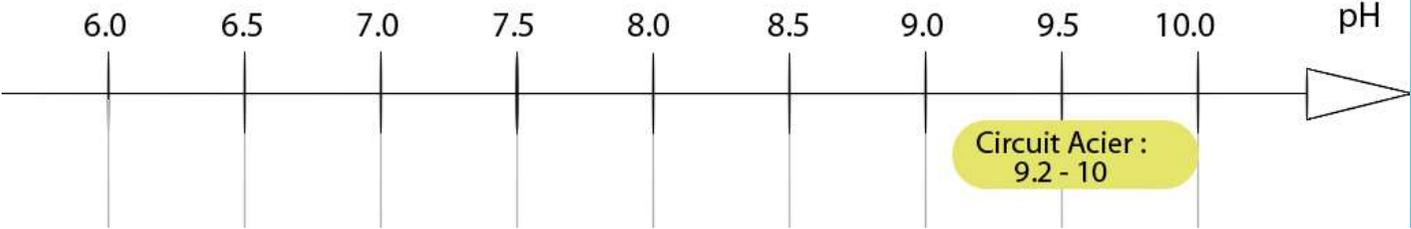
Fabricants/revendeurs
de chaudières

Qualité d'eau : pH →
corrosion

Critères de garantie

- Contexte
- Rappel des bases
- Technique**
- Economique
- Innovation & Apport du TFE
- Conclusion

Graphique comparatif des valeurs de pH



Critères de garantie

Contexte

Rappel
des bases

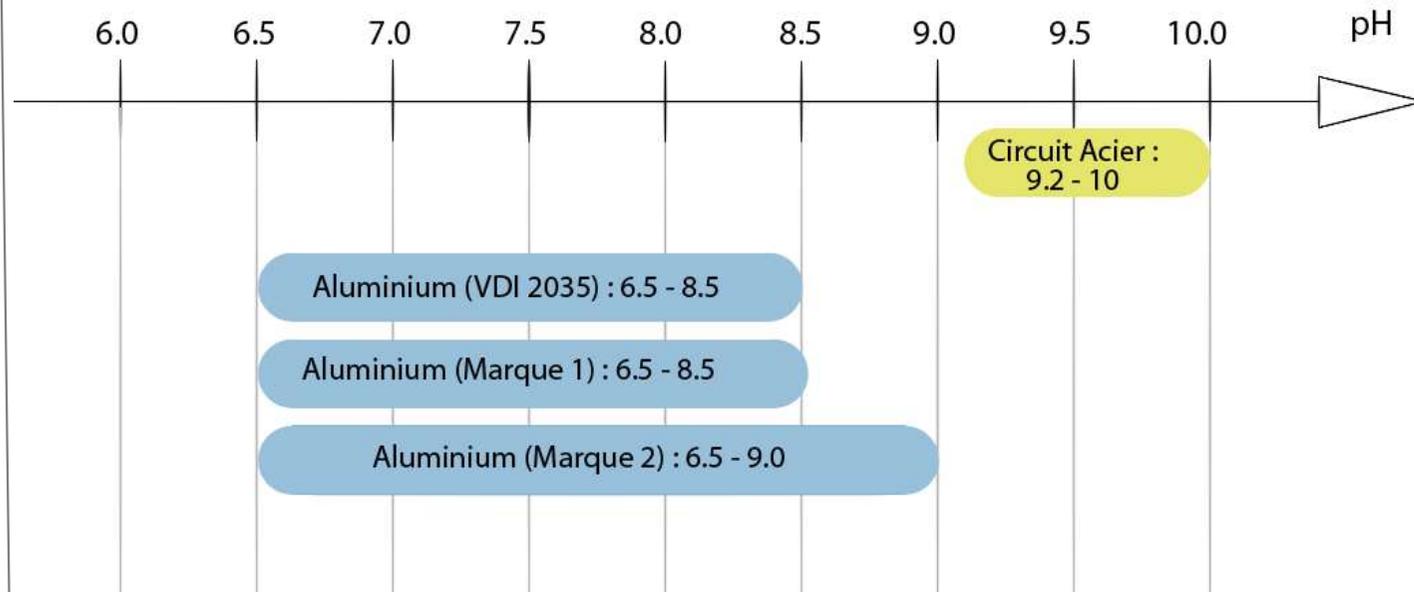
Technique

Economique

Innovation &
Apport du TFE

Conclusion

Graphique comparatif des valeurs de pH



Phénomène de piqûration

Contexte

Rappel
des bases

Technique

Economique

Innovation &
Apport du TFE

Conclusion

Illustration d'une piqûration d'un corps de chauffe Aluminium-Silicium



(Exemple différent)

Analyse chimique de l'eau en circulation

Contexte

Rappel
des bases

Technique

Economique

Innovation &
Apport du TFE

Conclusion

Résultats principaux :

Paramètre	Valeur mesurée
pH	9,414
Chlorures	36,05 mg/l
Cuivre	0,025 mg/l
Aluminium	1,68 mg/l

Corrosion de
l'aluminium
Catalyseurs de
piqûration

Confirme la corrosion de
l'aluminium

Analyse visuelle (2) – Sous la couche

Contexte

Rappel
des bases

Technique

Economique

Innovation &
Apport du TFE

Conclusion



Beaucoup de piqûres éteintes /
inactives

Solutions ?

Contexte

Rappel
des bases

Technique

Economique

Innovation &
Apport du TFE

Conclusion

Réduire le risque de corrosion par piqûre

- Diminuer la concentration en oxygène dans l'eau
- Diminuer la conductivité de l'eau
- Diminuer ou éliminer le cuivre
- Diminuer ou éliminer les chlorures
- Diminuer le pH → **L'acier risque de subir une corrosion**

Etudions 2 solutions :

- ***Déminéralisation & traitement***
- ***Placement d'un échangeur***

Déminéralisation & traitement chimique

Contexte

Rappel
des bases

Technique

Economique

Innovation &
Apport du TFE

Conclusion

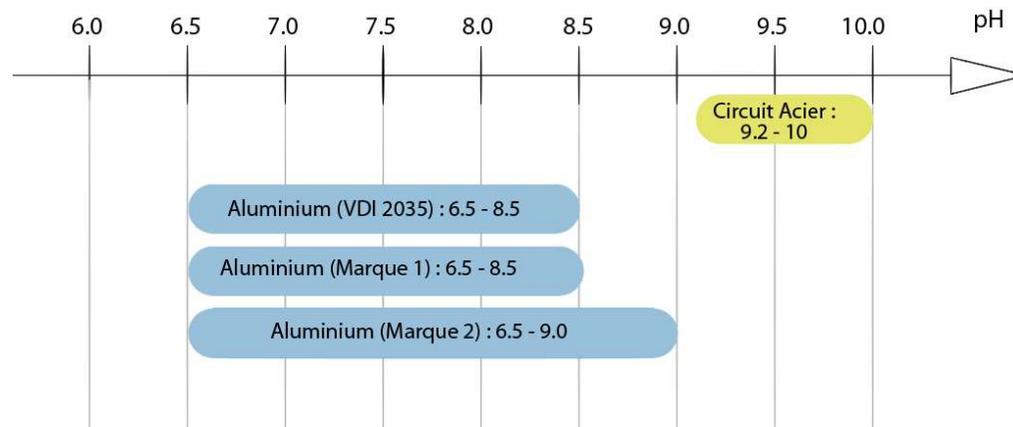
Avantages :

- Diminue la conductivité
- Minimiser la concentration en Chlorures
- Minimiser la concentration en cuivre
- En théorie: **AUCUNE corrosion de l'ACIER**
- Mise en œuvre relativement simple

Inconvénients :

- pH incertain ... et pas adapté ?

Graphique comparatif des valeurs de pH



Solution :

Produit chimique inhibiteur de corrosion

- Stabilise le pH à 8,5
- Élimine l'oxygène

Mise en œuvre d'un échangeur de chaleur

Contexte

Rappel
des bases

Technique

Economique

Innovation &
Apport du TFE

Conclusion

Avantages :

- Séparation hydraulique des deux circuits
- Traiter chaque circuit individuellement

Inconvénients :

- Modification de l'installation
- Entretien supplémentaires
- Coût énergétique
- Pertes ...
- Adapter la régulation

- **COUT!**

Circuit aluminium : eau déminéralisée + Tampon pH

Circuit acier : Eau adoucie + inhibiteurs

Perspectives

Contexte

Rappel
des bases

Technique

Economique

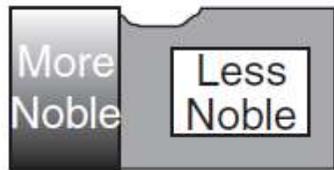
**Innovation &
Apport du TFE**

Conclusion

- Etablir un chantier test pour s'assurer de l'efficacité de la solution de déminéralisation & traitement chimique
- Tenir compte des conclusions du CSTC

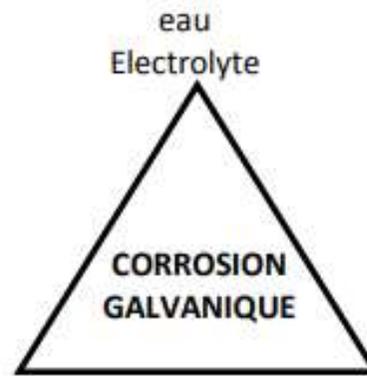
3. Types de corrosion fréquemment rencontrées

Corrosion Galvanique

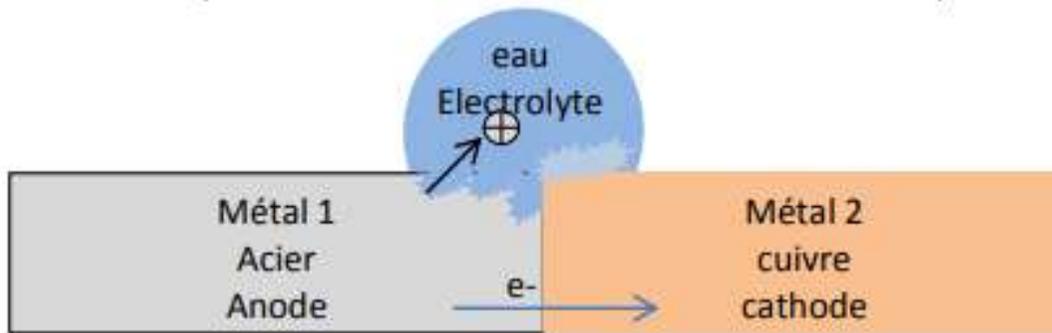


CORROSION GALVANIQUE

Métaux de nature différente



Contact électrique entre les deux métaux

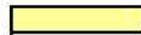


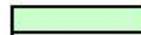
Source : Gal1

SLIDE 55

Tableau des couples galvaniques entre quelques métaux et alliages (en millivolts)

Electrolyte : eau + 2% de sel marin

 Le métal B est attaqué

 Contact pratiquement indifférent

 Le métal A est attaqué

Métal A : \ Métal B :		Platine	Or	Inox passivé	Argent	Mercure	Nickel	Arcap	Cuivre	Bronze d'alú	Laiton	Bronze	Etain	Plomb	Duralumin	Acier doux	Alpax H	Alu 99,5%	Acier dur	Duralinox	Cadmium	Fer pur	Almasilium	Chrome	Sn75-Zn25	Zinc	Magnésium
Symboles AFNOR	Platine	0	130	250	350	350	430	450	570	600	650	770	800	840	940	1000	1065	1090	1095	1100	1100	1105	1105	1200	1350	1400	1950
	Or	130	0	110	220	220	300	320	440	470	520	640	670	710	810	870	935	960	965	970	970	975	975	1070	1230	1270	1820
	Inox passivé	250	110	0	100	110	180	200	320	350	400	520	550	590	690	750	815	840	845	850	850	855	855	950	1100	1150	1700
	Argent	350	220	100	0	0	80	100	220	250	300	420	450	490	590	650	715	740	745	750	750	755	755	850	1010	1050	1600
	Mercure	350	220	110	0	0	80	100	220	250	300	420	450	490	590	650	715	740	745	750	750	755	755	850	1010	1050	1600
N	Nickel	430	300	180	80	80	0	20	140	170	220	340	370	410	510	570	635	660	665	670	670	675	675	770	930	970	1520
UZ23N22	Arcap	450	320	200	100	100	20	0	120	150	200	320	350	380	490	550	615	640	645	650	650	655	655	750	910	950	1500
U	Cuivre	570	440	320	220	220	140	120	0	30	80	200	230	270	370	430	495	520	525	530	530	535	535	630	790	830	1380
UA10	Bronze d'alú	600	470	350	250	250	170	150	30	0	50	170	200	240	340	400	465	490	495	500	500	505	505	600	760	800	1350
UZ39	Laiton	650	520	400	300	300	220	200	80	50	0	120	150	190	290	350	415	440	445	450	450	455	455	550	710	750	1300
UE12	Bronze	770	640	520	420	420	340	320	200	170	120	0	30	70	170	230	295	320	325	330	330	335	335	430	590	630	1180
E	Etain	800	670	550	450	450	370	350	230	200	150	30	0	40	140	200	265	290	295	300	300	305	305	400	560	600	1150
Pb	Plomb	840	710	590	490	490	410	380	270	240	190	70	40	0	100	160	225	250	255	260	260	265	265	360	520	560	1100
AU4G	Duralumin	940	810	690	590	590	510	490	370	340	290	170	140	100	0	60	125	150	155	160	160	165	165	260	420	530	1010
XC8 à 10	Acier doux	1000	870	750	650	650	570	550	430	400	350	230	200	160	60	0	65	90	95	100	110	105	105	200	360	400	950
AS10G	Alpax H	1065	935	815	715	715	635	615	495	465	415	295	265	225	125	65	0	25	30	35	35	40	40	135	295	335	885
A5	Alu 99,5%	1090	960	840	740	740	660	640	520	490	440	320	290	250	150	90	25	0	5	10	10	15	15	110	270	310	860
XC80 à 120	Acier dur	1095	965	845	745	745	665	645	525	495	445	325	295	255	155	95	30	5	0	5	5	10	10	105	265	305	855
AG3 - AG5	Duralinox	1100	970	850	750	750	670	650	530	500	450	330	300	260	160	100	35	10	5	0	0	5	5	100	260	300	850
Cd	Cadmium	1100	970	850	750	750	670	650	530	500	450	330	300	200	160	110	35	10	5	0	0	5	5	100	260	300	850
Fe	Fer pur	1105	975	855	755	755	675	655	535	505	455	335	305	265	165	105	40	15	10	5	5	0	0	95	255	295	845
ASG	Almasilium	1105	975	855	755	755	675	655	535	505	455	335	305	265	165	105	40	15	10	5	5	0	0	95	255	295	845
C	Chrome	1200	1070	950	850	850	770	750	630	600	550	430	400	360	260	200	135	110	105	100	100	95	95	0	25	200	750
EZ25	Sn75-Zn25	1350	1230	1100	1010	1010	930	910	790	760	710	590	560	520	420	360	295	270	265	260	260	255	255	25	0	40	590
Z	Zinc	1400	1270	1150	1050	1050	970	950	830	800	750	630	600	560	530	400	335	310	305	300	300	295	295	200	40	0	550
G	Magnésium	1950	1820	1700	1600	1600	1520	1500	1380	1350	1300	1180	1150	1100	1010	950	885	860	855	850	850	845	845	750	590	550	0

3. Types de corrosion fréquemment rencontrées

Corrosion Galvanique

Cas du chauffe eau électrique avec équipotentielle

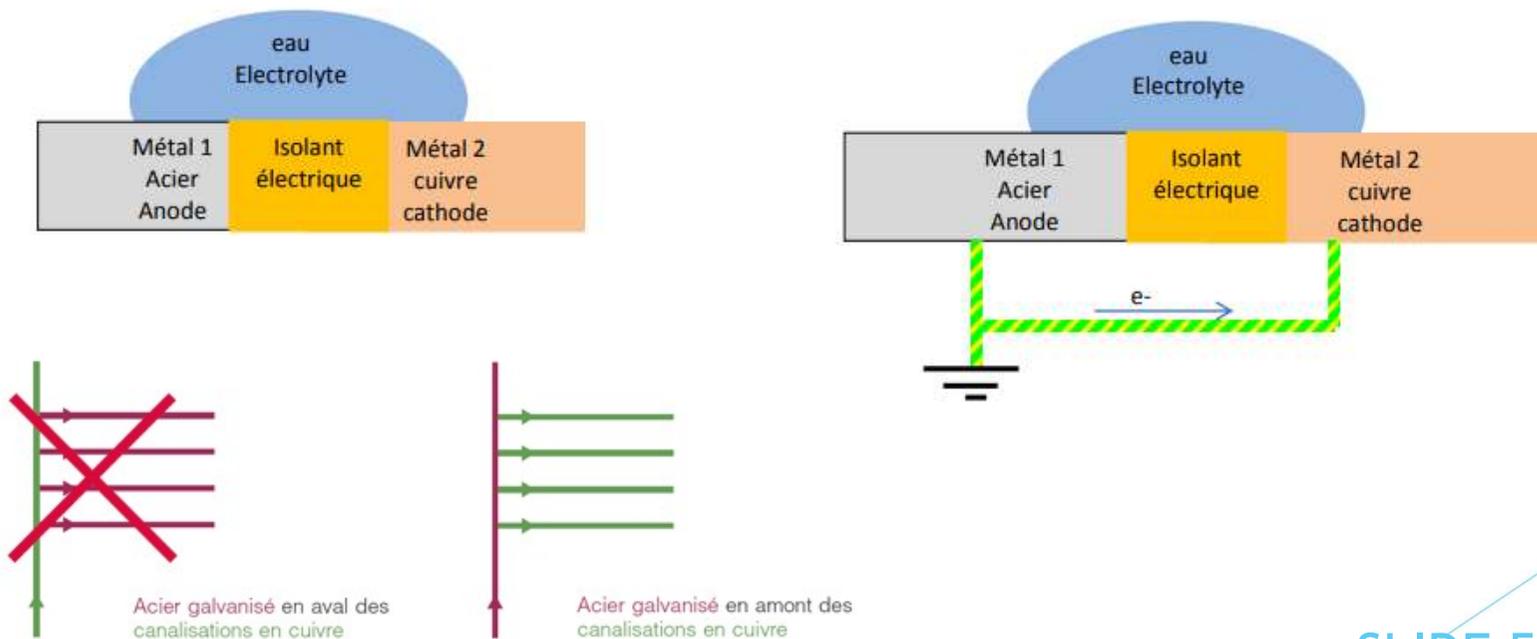


Fig. 2 Placement recommandé lors de l'utilisation de matériaux en cuivre et en acier galvanisé dans une installation sanitaire.

[CSTC1]

SLIDE 57

3. Types de corrosion fréquemment rencontrées

MIC

4. Détecter la corrosion

- ▶ Détecter
 - ▶ Analyses chimiques : évolution des paramètres ... 1 x par an
 - ▶ Coupons de corrosion et mesures de vitesse de corrosion
 - ▶ Avantages, inconvénients ?



Source 33



[Rys1]

SLIDE 59

5. Minimiser la corrosion : méthodes de conditionnement de l'eau

- ▶ Adoucisseur
- ▶ Déminéralisation (Résine, Ultrafiltration)
- ▶ Injection de réactifs : Molybdates, Phosphates, MBT

5. Conditionnements de l'eau

- ▶ Adoucisseur
 - ▶ Echange d'ions Ca^{++} en Na^{++}
 - ▶ \uparrow pH désirée pour l'acier, **déconseillé pour l'aluminium !**
- ▶ Déminéralisation (Résine, Ultrafiltration)
 - ▶ pH faible (< 7), incertain.
 - ▶ **DOIT** être réalisé avec un tampon pH et des inhibiteurs
- ▶ Injection de réactifs : Molybdates, Phosphates, MBT
 - ▶ Passivation de la paroi
 - ▶ **Effet** : remise en solution du fer déposé.
 - ▶ Mousses ...
 - ▶ Importance du dosage
 - ▶ Consommable. Doit être suivi. Si concentration trop faible : pire que mieux.

Conclusion générale

- ▶ Nombreux phénomènes de corrosion au sein des circuits
- ▶ Contrôles trop faibles mais indispensables
- ▶ Actions préventives mieux que correctives !

Merci pour votre
attention

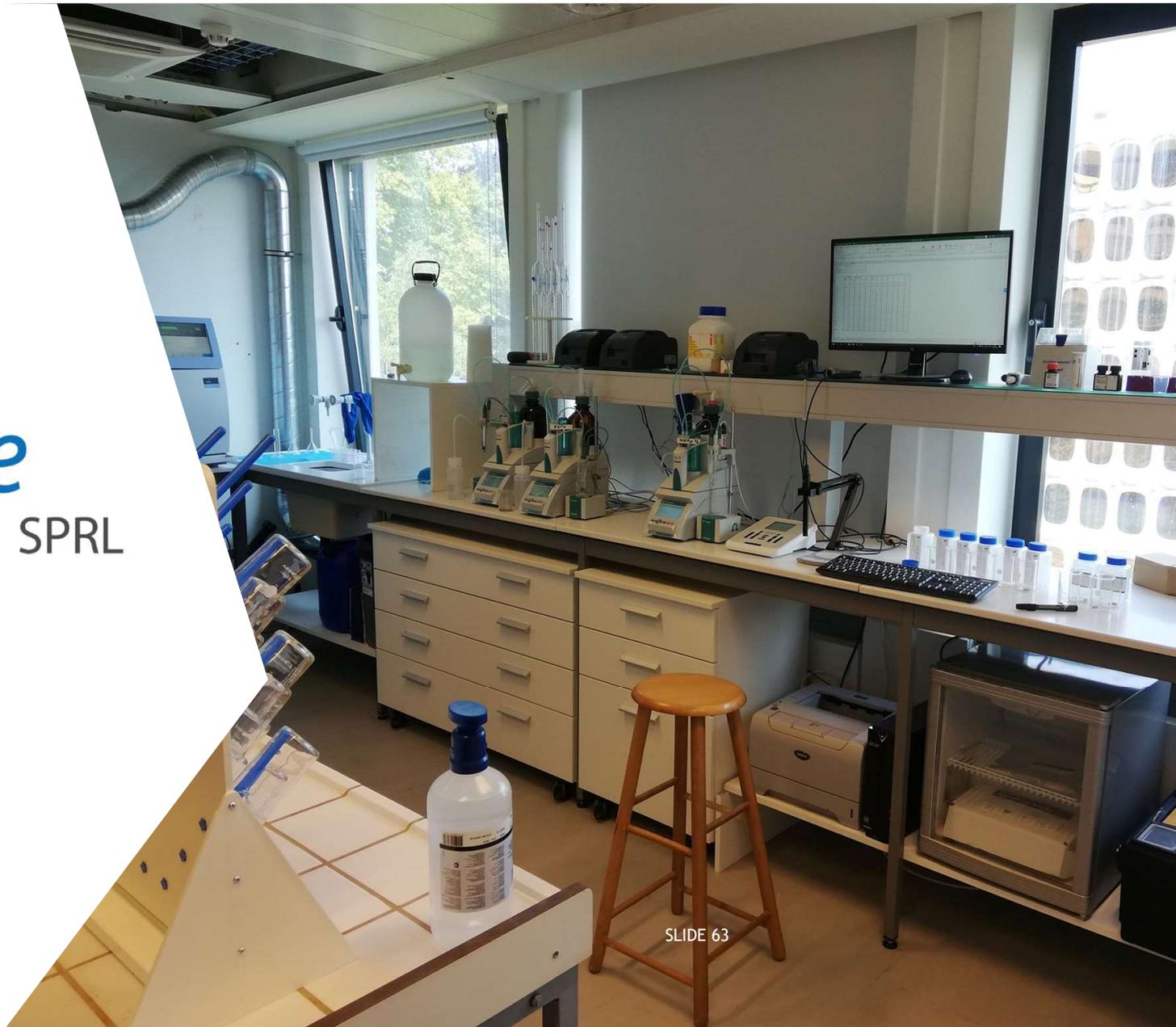


WTC
Marlière

SPRL

Atic

for HVAC professionals



SLIDE 63

Sources

[1] Corrosion Engineering, Principles and practice, PIERRE R. ROBERGE

[Cu1]

<https://www.google.com/url?sa=i&source=images&cd=&ved=2ahUKEwifyPba9InmAhURxoUKHUU6C0EQjRx6BAgBEAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.letelegramme.fr%2Far%2Fviewarticle1024.php%3Faaaammjj%3D20021217%26article%3D5425292%26type%3Dar&psig=AOvVaw0q90lH1pU14M55AsQ39lz9&ust=1574927611348053>

[gal1] <http://www.appersolaire.org/Pages/Fiches/Ballons/Preconisations%20d%20installation%20ballon%20ECS%20face%20a%20la%20corrosion%20galvanique/index.pdf>

[CSTC1]

<https://www.cstc.be/homepage/index.cfm?cat=publications&sub=bbri-contact&pag=Contact14&art=212>

[Rys1] <https://www.resus.eu/fr/produits/risyalert>

Sources (diagrammes, autres).

[Source 28] : CORRVIEW INTERNATIONAL, Corrosion de l'acier, in [corrview.com](http://www.corrview.com), 2018, en ligne : http://www.corrview.com/wp-content/uploads/2017/07/06_020-1024x768.jpg. Consulté le 6 mai 2018.

[Source 8] : MAGNÉTITE, in [universalis.fr](http://www.universalis.fr), s.d., en ligne : <https://www.universalis.fr/encyclopedie/magnetite/>. Consulté le 4 mars 2018.

[Source 10] : M. REBOUL : « Corrosion des alliages d'aluminium », in *techniques-ingenieur.fr*, s.d., en ligne : <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/materiaux-th11/materiaux-resistance-a-la-corrosion-et-au-vieillessement-42373210/corrosion-des-alliages-d-aluminium-cor325/>. Consulté le 10 novembre 2017.

[Source 15] : DIAGRAMME POTENTIEL-PH DU FER, in *ressources.univ-lemans.fr*, s.d., en ligne : http://ressources.univ-lemans.fr/AccesLibre/UM/Pedago/chimie/01/04-Chimie_descriptive/co/module_04-Chimie_descriptive_10.html. Consulté le 2 avril 2018.

[Source 14] : N.L. SUKIMAN, X. ZHOU et al. : «Durability and corrosion of aluminium and its alloys : overview, property space, techniques and developments » , in *intechopen.com*, s.d., en ligne : <https://www.intechopen.com/books/aluminium-alloys-new-trends-in-fabrication-and-applications/durability-and-corrosion-of-aluminium-and-its-alloys-overview-property-space-techniques-and-developm>. Consulté le 11 novembre 2017.

[Source 16] : UNIVERSITÉ LEMANS, Diagramme E-pH du fer, in : [univ-lemans.fr](http://ressources.univ-lemans.fr/AccesLibre/UM/Pedago/chimie/01/04-Chimie_descriptive/co/module_04-Chimie_descriptive_10.html), en ligne : http://ressources.univ-lemans.fr/AccesLibre/UM/Pedago/chimie/01/04-Chimie_descriptive/co/module_04-Chimie_descriptive_10.html. Consulté le 6 mai 2018.