

# QUALITÉ DE L'EAU, ABRASION, CORROSION: CAUSES, CONSÉQUENCES, SOLUTIONS

Webinar 01/04/2020 par Karl Willemen, RESUS



Atic

for HVAC professionals





# LA NOTION “Qualité de l’eau”

n’exprime pas suffisamment de quoi il s’agit vraiment

On devrait parler de la  
**CONDITION** du système

- Longévité
- Durabilité
- Prévention de ruptures
- Life Cycle Engineering
- Life Cycle Analysis
- Total Cost of Ownership





# Sommaire

## Interprétation du problème

Definitions

Origines

## Solutions

Conception

Realisation

Gestion / Maintenance

# Les installations contemporaines sont plus vulnérables qu'à l'époque



- Conduites bouchées
- Mauvais rendement
- Usure élevée
- Composants défectueuses
- Ennuis
- Manque de confort
- Frais inutiles, souvent assez élevées

Réparer – solutionner - prévenir ...

- Souvent curatif
  - Onéreux pour le client final
  - Aléatoire
  - Très bénéficiaire pour l'installateur / maintenance
- On devrait évoluer vers un monitoring PREDICTIF avec interventions planifiées



# Très peu de reconnaissance des symptômes



Perte de pression



Purge



Fuites



Blocages



Défect complet

La vraie CAUSE est peu connue

# L'introduction d'oxygène

# La corrosion : le métal + l'oxygène

- Haematite =  $\text{Fe}_2\text{O}_3$   
(brun/rouge)



- Magnétite =  $\text{Fe}_3\text{O}_4$   
(noir)



- Alumine =  $\text{Al}_2\text{O}_3$   
(gris foncé)



# Le synthétique

## ? La solution? : le métal + l'oxygène

- Les chaudières et les radiateurs en matière synthétique?
- La robinetterie en matière synthétique?
- Les techniques de piscine en chauffage?

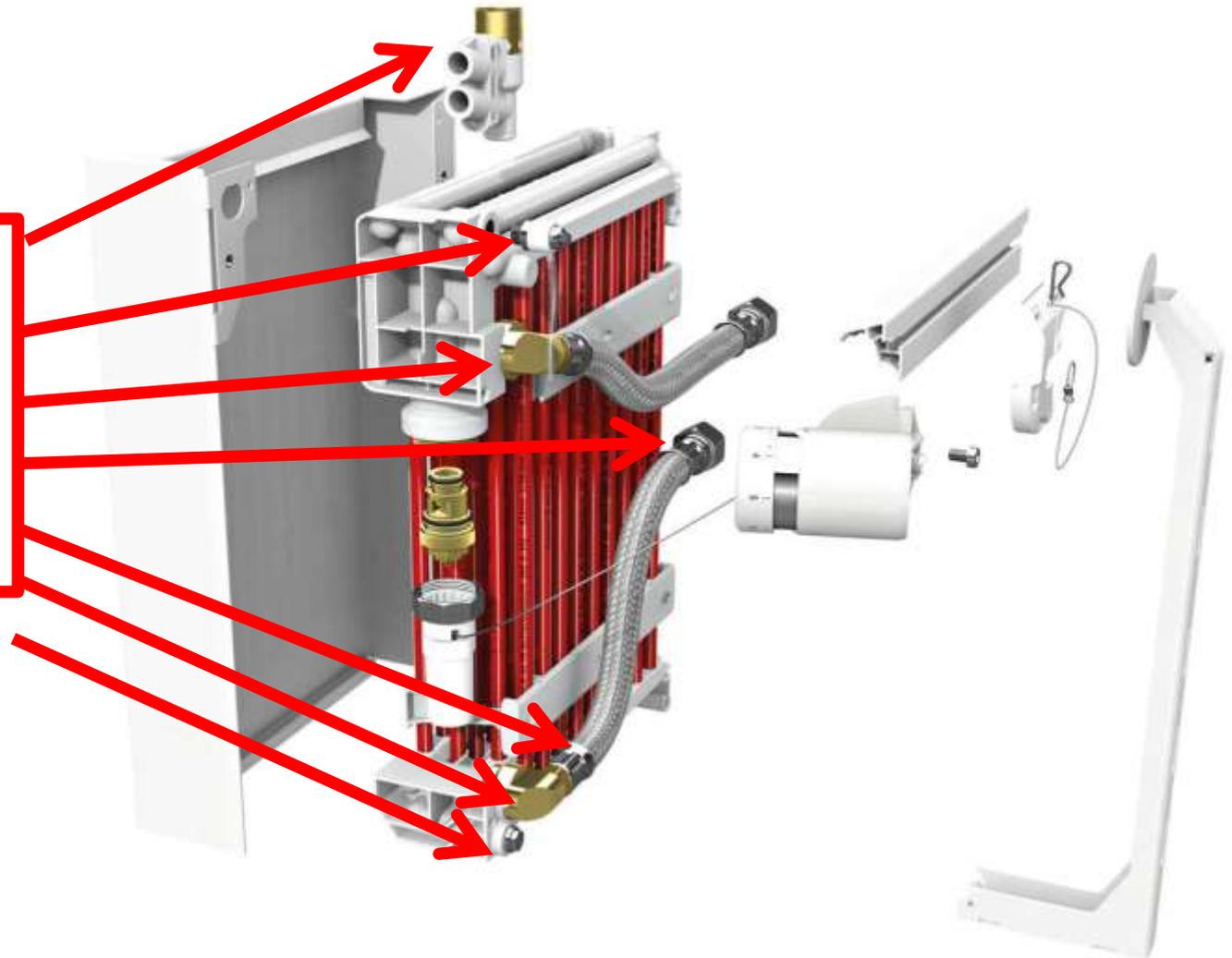


Il y a toujours un maillon faible  
s'il n'y a pas d'acier pour lier l'oxygène, un  
autre métal le fera (p.ex. cuivre dans les  
alliages comme le laiton)



Exemple: un “radiateur” synthétique dont le fabricant affirme qu’il ne peut pas corroder

Il y toujours des composants métalliques (laiton)



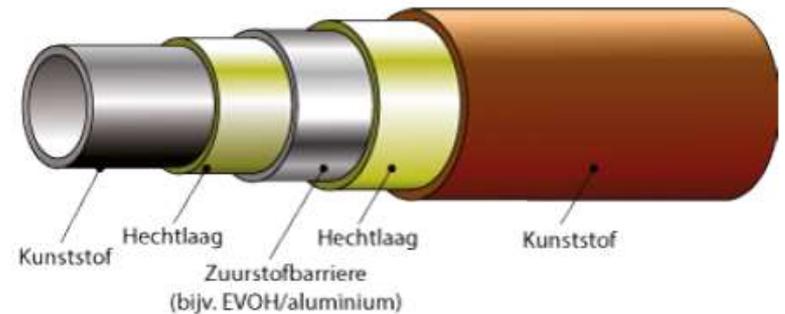
# L'emploi accrue de matière synthétique aggrave le problème

- Non pas à cause de la diffusion d'oxygène, ce problème est réglé:

Les conduites multicouche avec

- l'aluminium = 100% étanche
- Couche EVOH = 99,99% étanche

- Les raccords à sertir avec joint torique en caoutchouc subissent un risque d'entrée d'oxygène
- Très peu de recherche scientifique, assez récent



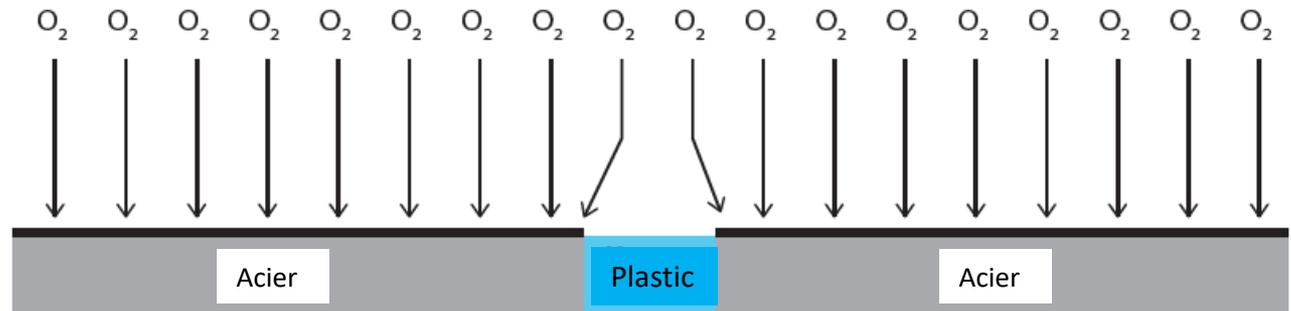
# Le PARADOX de la corrosion

Plus de matériau corrodable, moins de dommages peuvent être causés s'il y aurait encore une quantité limitée d'oxygène qui pourrait s'introduire - seules des boues de corrosion se formeront

Inversement, moins de matériau susceptible de corroder, plus l'oxygène pénétrant endommagera localement les composants les plus faibles.

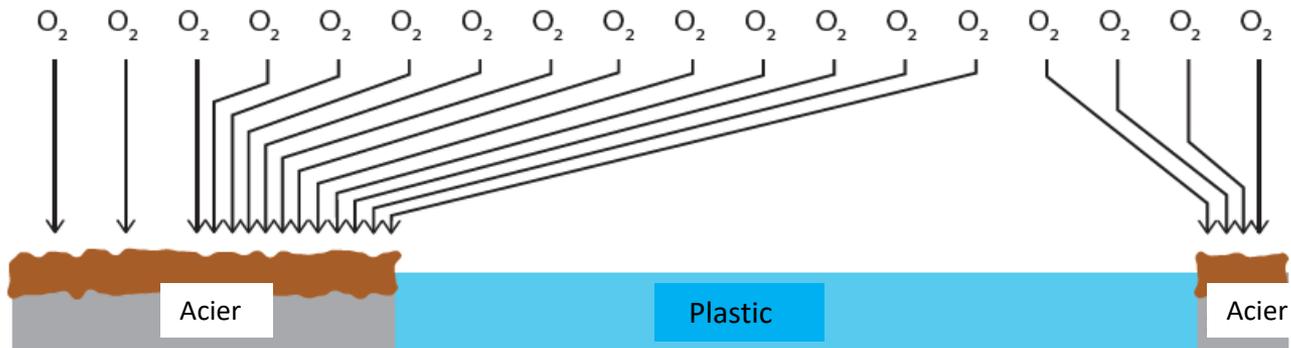
**A**

Peu de synthétique,  
beaucoup d'acier:  
Pression de corrosion  
faible



**B**

Beaucoup de synthétique,  
peu d'acier:  
Pression de corrosion  
élevée



? À l'envers alors ? Métal + ~~Oxygène~~

## “l'eau morte”

Ne contient pas d'oxygène dissout (dorénavant, la corrosion cesse d'exister)

En vidangeant un tel système on observera:

- Au début juste un peu d'eau noire, ensuite de l'eau claire
- A la fin un peu de noir



Des millions d'installations de chauffage fonctionnent bien, sans corrosion, depuis des dizaines d'années

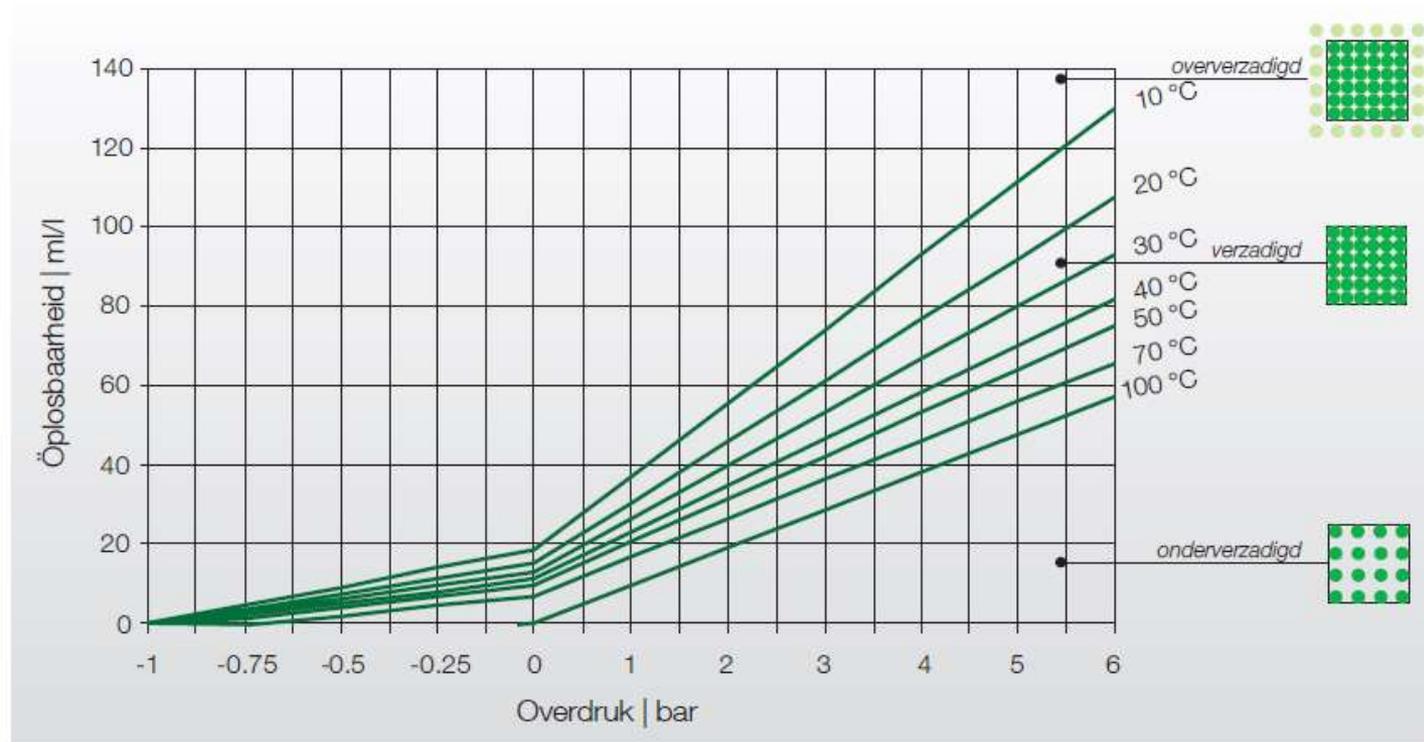


Pas d'oxygène → pas de corrosion



# COMMENT l'oxygène entre-t-il dans l'eau de chauffage

## Solubilité de l'oxygène dans l'eau

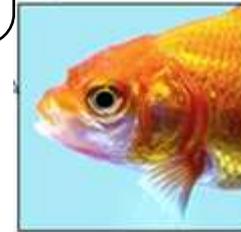


# Une eau morte est toujours à la recherche d'oxygène à cause de la différence de pression partielle

Je m'appelle Balthazar,  
je vous explique  
comment



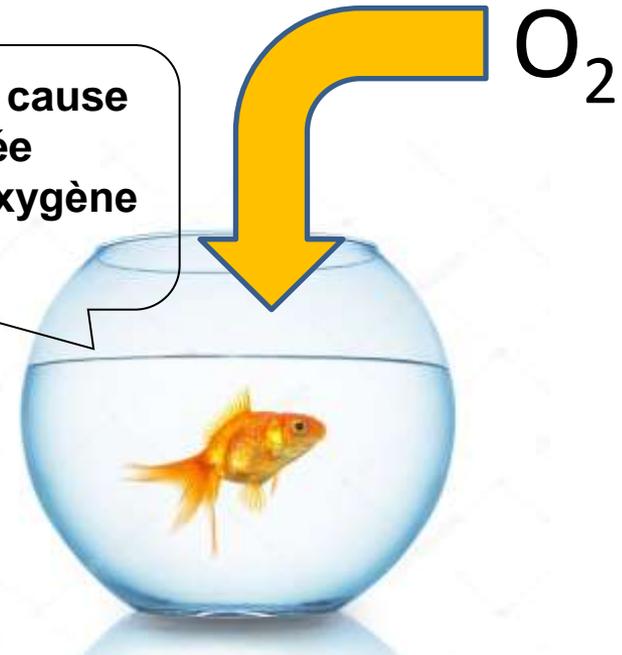
J'ai besoin d'oxygène,  
je l'enlève de l'eau



Par conséquent, je  
fais baisser la teneur  
en oxygène de l'eau  
(baisse de pression  
partielle pour  
oxygène )



**Donc, je suis la cause  
d'une entrée  
permanente d'oxygène  
fraîche**



La corrosion d'un métal dans une installation de chauffage provoquera un mécanisme identique



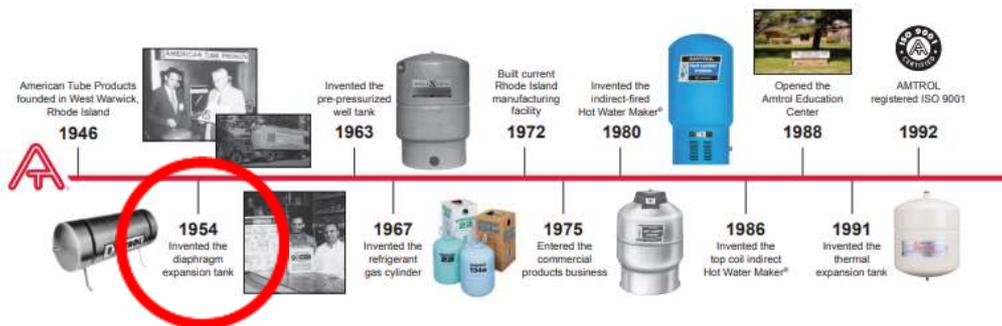
Vase  
d'expansion  
ouvert



O<sub>2</sub>



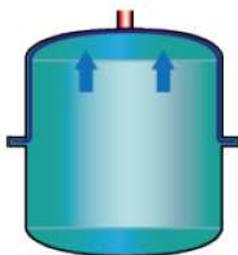
# C'est la raison de l'invention du vase d'expansion fermé par Chester H. Kirk



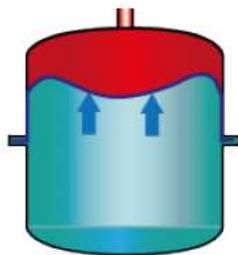
**3,035,614**  
**EXPANSION TANK**  
 Chester H. Kirk, Jr., 14 Glen Ave., Cranston, R.I.  
 Filed Nov. 4, 1959, Ser. No. 850,872  
 6 Claims. (Cl. 138—30)



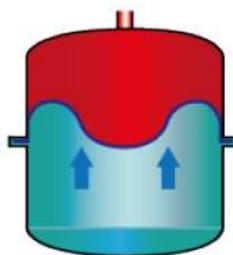
1. An expansion tank comprising a hollow body member having a side and end walls, a flexible diaphragm in and spanning said body member between said end walls and having a peripheral portion in peripheral engagement with said side, a continuous ring having a groove in its outer periphery engaging and receiving said peripheral portion and an inwardly extending peripheral rib in said side engaging said peripheral portion of said diaphragm and compressing it into said groove to secure said ring and diaphragm against movement and seal said diaphragm to said side.



Toestand bij levering (voordruk)



Installatie gevuld geen opwarming (vuldruk)



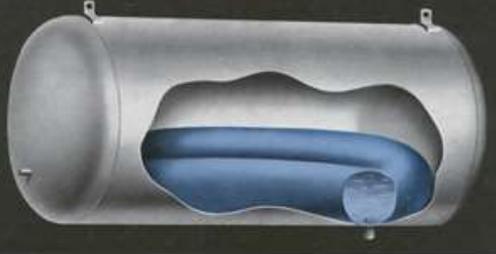
Maximum druk bij de hoogste temperatuur (einddruk)

# Peut-être c'était Carl Stücklin en Suisse?

Schweizer Konstruktion,  
Schweizer Qualität,  
für schweizerische  
Sicherheitsanforderungen!  
Patentsprüche in 9 Staaten

**PNEUMATEX**  
das Sicherheits-Expansionsgefäß

jetzt mit  
Spezial-  
Hydrometer  
mit der  
grünen  
Zone



Die Praxis hat bestätigt, was Forschung  
und Erfahrung schufen: **PNEUMATEX**  
ist heute zum Standard geworden!

#### Wirkungsweise des Pneumatex-Sicherheits-Expansionsgefäßes:

Das durch die Erwärmung der Zernatsetzung entstehende Mehr-Volumen an Wasser tritt in das Innere der Butyl-Kautschuk-Blase im Pneumatex-Gefäß ein. Wasser und Luft sind also vollständig getrennt. Die der Anlagepresse entsprechende Gefäß-Form erhält in der Fabrik eine Luftfüllung. Diese Luftfüllung wirkt als weiches Kissen auf das Äußere der Blase und erzeugt auf das im Blaseninnern angesammelte Wasser einen abgemessenen Gegendruck. Die natürliche Expansion- und Kontraktion des Heizungswassers erfolgt stetig und langsam. Selbst für größere Anlagen genügt deshalb ein "einziges" "Ausschleusen". Wird jedoch eine Anlage mit Ventilen überflutet oder überfließt, dann verhindern die mit dem Kessel verbundenen, mehrfachen Pneumatex-Sicherheitsventile einen unzulässigen Druckanstieg. Butyl ist unter allen synthetischen Kautschuk-Arten die atemungsunfähigste. Da Licht und Ozon im Gefäß fehlen, kann mit einer Lebensdauer der Blase von 12-15 Jahren gerechnet werden. - Im Falle des Bruchs sind die Kanten und der Zersaufwand gering.

Die Kombination von PNEUMATEX-Gefäß, Spezial-Hydrometer und Sicherheitsventilen ergibt optimale Sicherheit und weist viele echte Fortschritte auf:

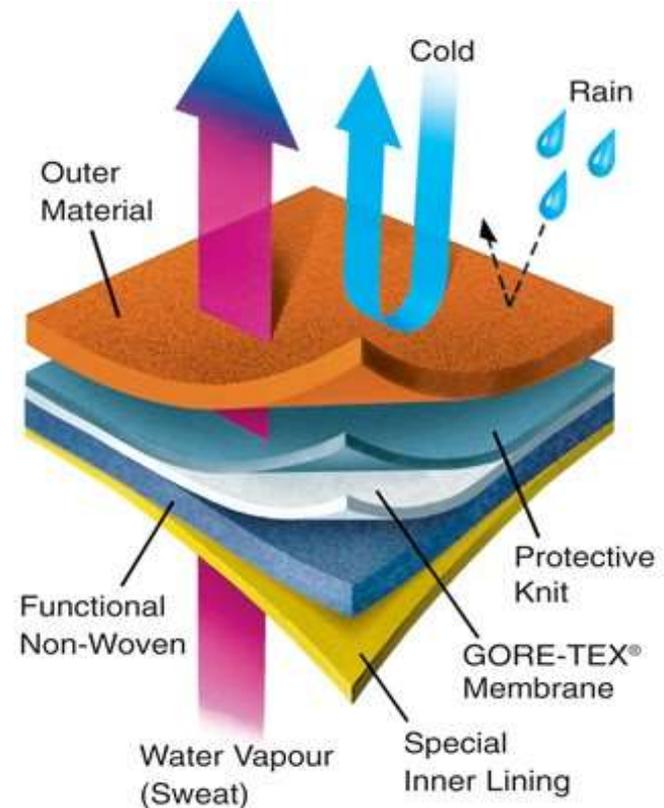
1. **Vollständige Sicherheit** durch die Pneumatex-Mehrfach-Membranventile
2. **Einfache Montage** des Gefäßes im Heizraum selbst, ohne Korrosion
3. **Kein Wärmeverlust, keine Gefäß-Isolierung**: Gefäß wird nur handwarm
4. **Gefäß rostfrei**, Trennung von Wasser und Luft schließt Korrosion aus
5. **Wegfall der Kosten** für lange Sicherheitsleitungen und deren Isolierung
6. **Projektion stark vereinfacht**, besonders bei Mehr-Kessel-Anlagen
7. **Sparsame Armaturen und Montagekosten** durch Wegfall von Wechsel-Ventilen
8. **Sparsame Baukosten**, keine Auflagen bei Flachdecken mit Deckenheizung
9. **Entlüftungsprobleme beseitigt** durch absolute Trennung von Wasser und Luft
10. **Rostfrei**, da der Innenoberflächen-Dachüberlauf nur vollständig entfällt.

Das Pneumatex-System ist in tausenden von Anlagen seit mehr als fünf Jahren im Betrieb und bewährt sich einwandfrei.



Le célèbre vase d'expansion rouge a été développé peu après la Seconde Guerre mondiale par Johan Wormmeester aux Pays-Bas et mis en production par la suite par Flamco, dont il était le directeur à l'époque. La forme de tonneau est dictée par une considération très pratique: Wormmeester cherchait une forme appropriée et s'est rendu compte qu'une matrice est assez cher, alors il a cherché une solution bon marché: deux casseroles l'une sur l'autre. Ces moules existaient déjà. Le vase d'expansion rouge Flexcon se compose en fait de deux casseroles l'une sur l'autre, tenues ensemble par un anneau serti. La membrane en caoutchouc est également serrée par cet anneau entre les deux moitiés

Question:  
fermé = étanche = hermétique ?  
? Étanche à l'eau ← → les gaz ?



# De quelle manière l'oxygène pénétrera dans une installation de chauffage fermé ?

- |   |   |
|---|---|
| 1. L'oxygène dans l'air résiduel après le premier remplissage   | 1. Peu, seulement au début  |
| 2. La teneur en oxygène de l'eau de remplissage   | 2. Peu, seulement au début  |
| 3. La teneur en oxygène de l'eau d'appoint  | 3. Dépend de la quantité d'appoint  |
| 4. L'entrée d'air due à une dépression (erreur de maintien de pression)                               | 4. Très important   |
| 5. La diffusion d'oxygène à travers des matériaux perméables (p.ex caoutchouc et tuyaux synthétiques) | 5. Peut-être important, dépend du rapport acier / matière perméable       |
| 6. L'entrée d'oxygène par le contact entre l'eau de l'installation et l'atmosphère                    | 6. Peut-être important, dépend aussi des variations d'expansion thermique |



# Un exemple de calcul

- Contenu de l'installation: 1000 l
- Tout oxygène entré se lie à l'acier pour faire du magnétite  $\text{Fe}_3\text{O}_4$
- 1 g  $\text{O}_2$  formera 3,625 g  $\text{Fe}_3\text{O}_4$
- Les mécanismes d'entrée d'oxygène sont
  - uniques (p.ex. Remplissage, air résiduel)
  - Répétitif (dans ce cas on calcule la quantité de boues annuel)

On ne tient pas compte

- De la conductivité
- Du pH

Parce-que ces aspects ne font aucune différence causale, ils ne peuvent influencer que la vitesse de la réaction

# Air résiduel

Présupposition:

- 10% de l'installation ne pouvait être purgé
- Cet air résiduel, avec une densité de  $\text{kg/m}^3$ , contient 21% d'oxygène, que l'eau du système absorbera

91 g  $\text{Fe}_3\text{O}_4$

= approx 10 Nutroma cups de 9g



Unique (lors de la mise sous eau)

# Oxygène dissout dans l'eau de remplissage

Constat:

- Un litre d'eau potable contient approx. 10mg d'oxygène dissout  $O_2$



= approx. 4 Nutroma cups de 9g



Unique (lors du premier remplissage)

# Eau d'appoint

Présupposition:

- Un appoint est inévitable
- Quantité maximale d'appoint selon le CSTC = 10 % du contenu du système

3,6 g  $\text{Fe}_3\text{O}_4$

= moins qu' un demi Nutroma cup



Répétitif (annuel)

# Dépression (manque de maintien de pression)

Présupposition:

- Saison de chauffe de 220 jours à 5 jours/semaine
- 52 jours à 70 °C-20 °C,  
52 jours à 55 °C-20 °C  
52 jours à 30 °C-20 °C
- Un maintien de pression inadéquate, donc à chaque refroidissement il se manifeste une aspiration d'air aux endroits supérieurs par les points de purge et certains joints

3658 g  $\text{Fe}_3\text{O}_4$

= deux boîtes de Nutroma cups de 200 pcs



Répétitif (annuellement)

# Diffusion d'oxygène à travers de tuyau synthétique à barrière EVOH

'worst case' scénario: l'écran anti-diffusion EVOH répond juste à la norme

- 500 mètres de 20 x 2 mm tuyau synthétique  
(PS: 65 x 6,5 mm donnera le même résultat, car le rapport diamètre/épaisseur de paroi reste identique)
- coefficient de perméation 3,60 mg/(m<sup>2</sup> · dag) répond juste aux exigences du DIN 4726 à 80 °C
- L'entrée éventuelle par les raccords sertis n'est pas calculé

135 g Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>

= approx un paquet et demi?



Répétitif (annuellement)

# Tuyau synthétique non-étanche à la diffusion d'oxygène : la catastrophe !

Présupposition PE-RT

- 500 mètres de 20 x 2 mm tuyau synthétique non-diffustop
- Coefficient de perméation 50 (ml · mm)/(m<sup>2</sup> · dag · bar)
- L'entrée éventuelle par les raccords sertis n'est pas calculé
- Ce genre de tuyaux n'est plus utilisé (on espère 😊 )

235686 g

Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>

= une demi camionette de Nutroma?



Répétitif (annuellement)

# La diffusion d'oxygène à travers de flexibles en caoutchouc

Veronderstelling:

- 50 mètres de caoutchouc butyle à tressage inox (25 x 6 mm) (appelées flexibles oxystop ou difustop)
- Coefficient de perméation 36 (ml · mm)/(m<sup>2</sup> · jour · bar)
- Remarque: les flexibles en EPDM sont beaucoup plus quotidiens, le résultat se multiplie d'un facteur de 17 !

5971 g Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>

= 2 grandes boîtes de 360 pcs?



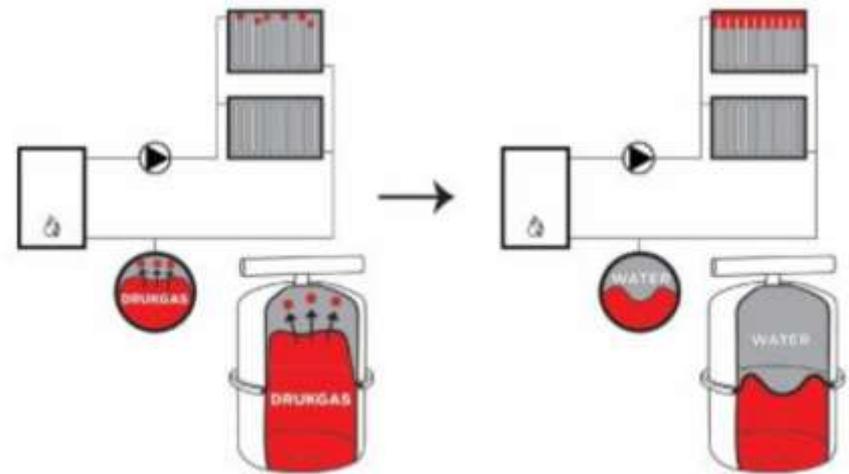
Répétitif (annuellement)

# L'oxygène provenant du coussin de gaz du vase d'expansion fermé

Présupposition:

- Vase d'expansion de 150 litres, pression de gonflage 1,5 bar
- Remplit en usine avec de l'air comprimé séché (quasi toutes les fabricants, sauf 1)

375 g  $\text{Fe}_3\text{O}_4$



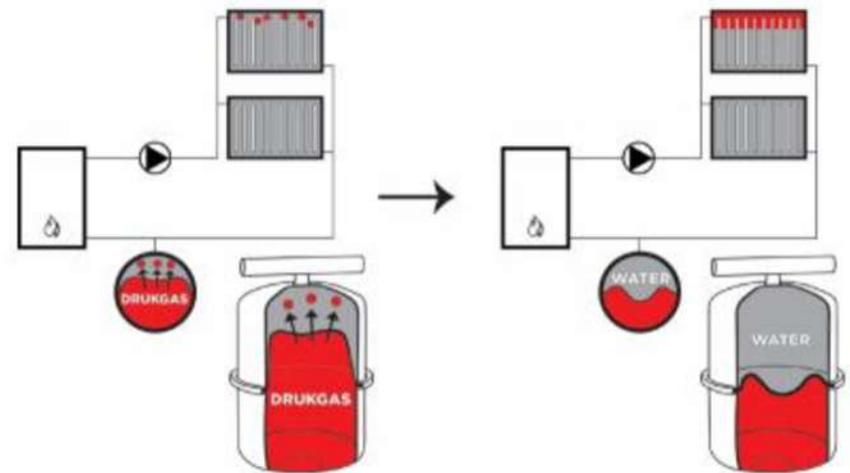
Répétitif (annuellement)

# L'oxygène provenant du coussin de gaz du vase d'expansion fermé (calcul alternatif)

150 g  $\text{Fe}_3\text{O}_4$

Présupposition:

- Vase d'expansion de 100 litres, pression de gonflage 1,0 bar
- Remplit en appoint en usine avec de l'azote



Répétitif (annuellement)

# Tableau comparatif: quantité de magnétite [g]

Cause - Origine	Unique	Annuelle
Air résiduel 10%	91	
Eau de remplissage	36	
Eau d'appoint		3,6
Dépression		3.658
Perméation à travers de synthétique (EVOH)		135
Perméation sans barrière d'oxygène		235.686
Perméation tuyaux flexibles caoutchouc		5.971
Coussin de gaz vase d'expansion 150/1,5 air comprimé	375	
Coussin de gaz vase d'expansion 100/1 azote	150	

# Conclusions simplifiées

## Origine principale

- Flexibles en caoutchouc
- Dépression (maintien de pression erronée)
  - Perte de pression de gonflage
  - Point zéro erronée
  - Pression de gonflage trop élevée
  - Vase trop petit (p.ex. Dans les chaudières murales)

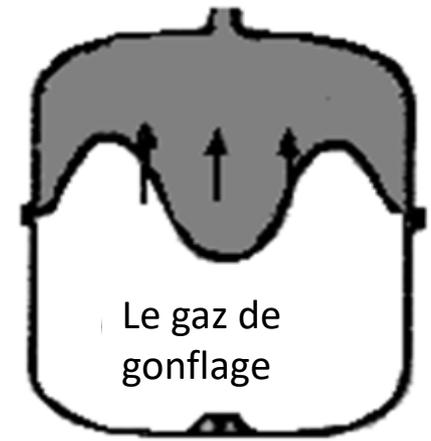
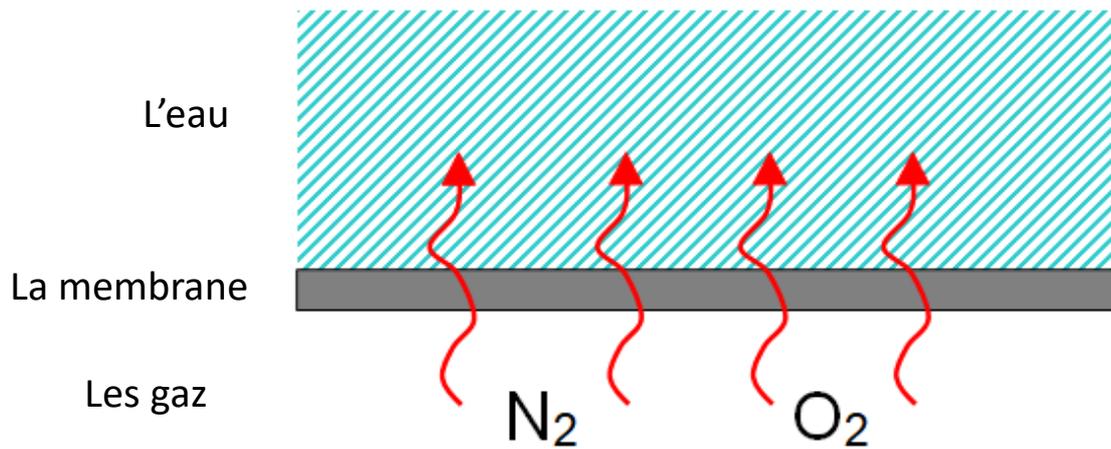
## Commentaire

- Pratiquez des flexibles en inox ondulée ou tuyau composite
- Le vase d'expansion joue le rôle principal
  - Contrôle de la pression de gonflage annuelle est indispensable
  - Point zéro à l'aspiration du circulateur
  - Instaurer la bonne pression de gonflage dans le vase dès le départ + le noter sur le vase (avec date!)
  - Calculer bien le vase – sinon surdimensionner

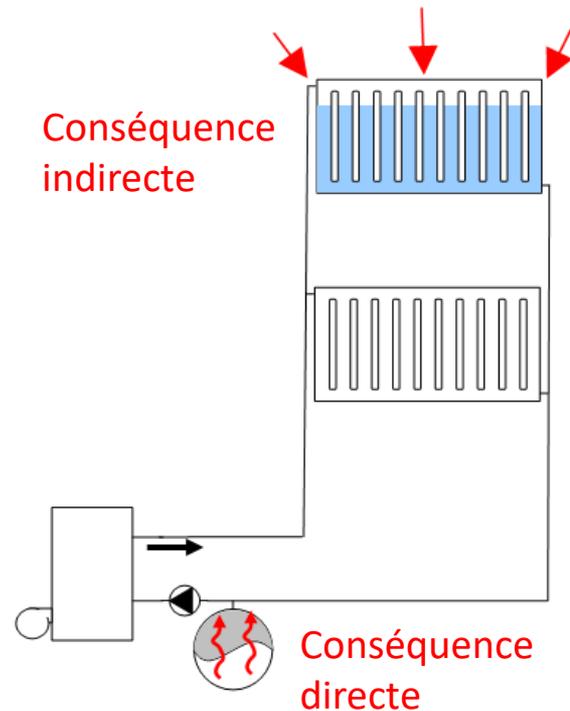
Le vase d'expansion est la cause la plus sous-estimée pour les entrées d'oxygène



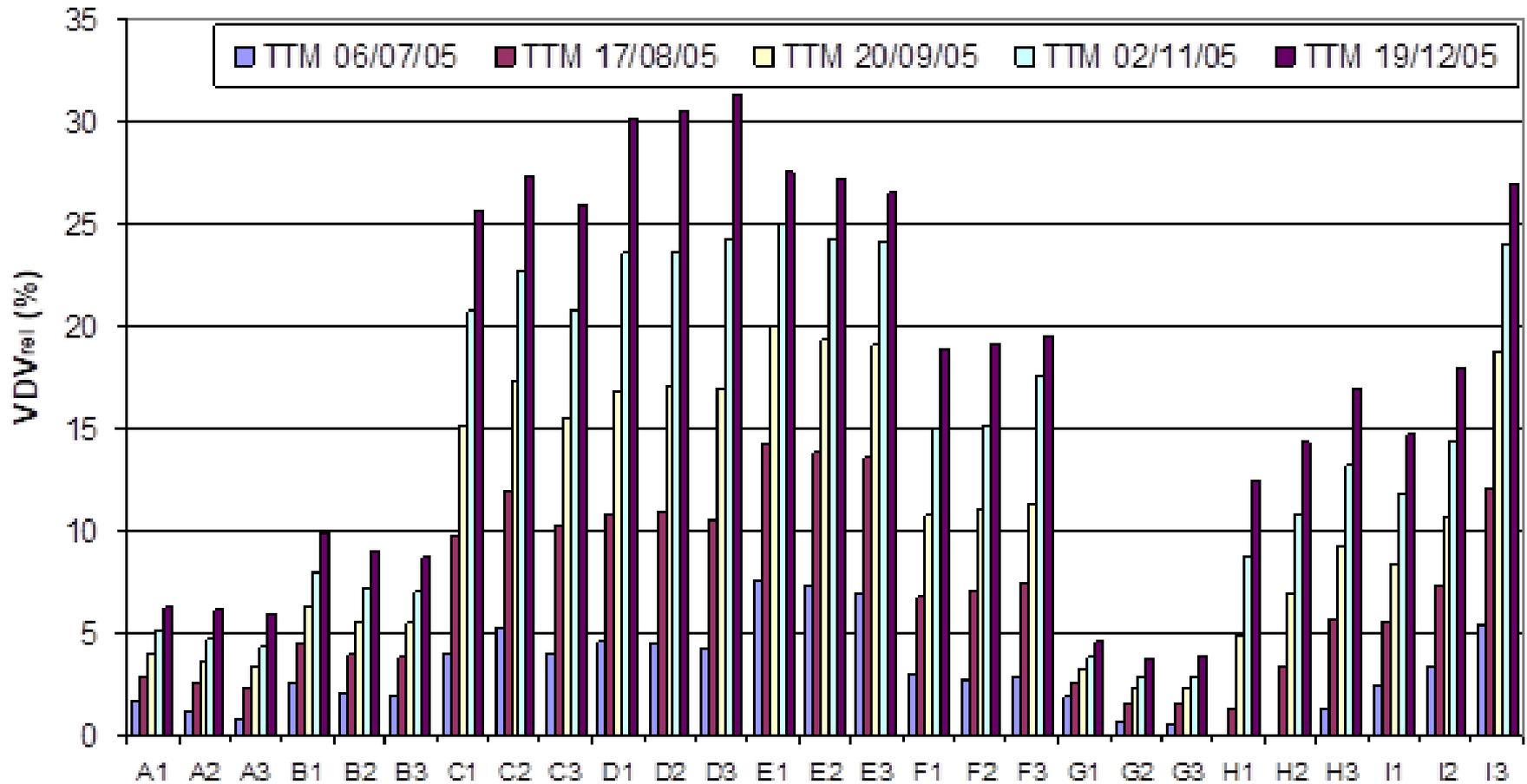
# Recherche scientifique à l'université d'Anvers déjà en 2005 fournissait des perspectives assez intéressantes:



# Banque d'essai "perte de gonflage"



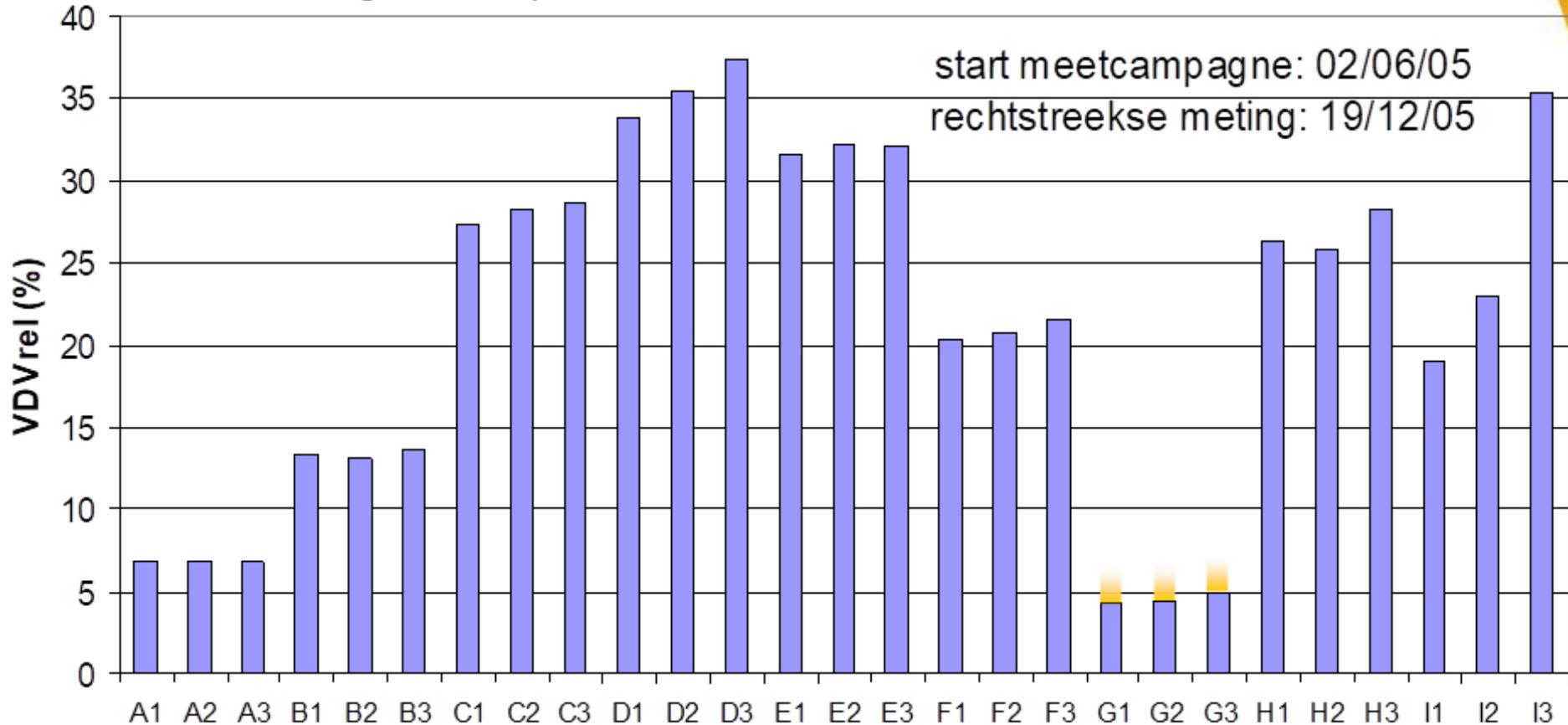
# Mesure gravitaire





Karel de Grote-Hogeschool Antwerpen

## Mesurage direct de la perte de pression de gonflage



# Des résultats spectaculaires, malheureusement sans résonance dans le secteur du chauffage

- Les meilleures marque (A en G) perdent à peu près à 15 % de leur pression de gonflage en un an
- Les plus mauvaises (C, D, H en I) perdent entre 50 en 75 % dans un an !!!!



Par conséquent: une controle annuelle de la pression de gonflage est une nécessité



#

*C'est n'est pas* TOUJOURS  
*facile, mais ça en vaut*  
TOUJOURS *la peine*

# Et les autres paramètres (de la qualité d'eau)?

## Conductivité

- ne joue aucun rôle pour la quantité de boue
- Influence seulement la vitesse de réaction
  - Conductivité faible: réaction de corrosion lente
  - Conductivité élevée: réaction de corrosion rapide

## pH

- Idem
  - pH influencera si le métal se trouvera plus ou moins passivée envers de l'action de l'oxygène
    - Immunité de l'acier à pH élevé
    - Solubilité élevée de la couche d'alumine (couche protectrice) à pH élevée
- pH acceptable pour les deux matériaux dans une largeur de bande assez réduite entre 8,2 et 8,5 (9 dans certains cas)

Un pH correcte et une conductivité basse offrent une sécurité additionnelle, mais n'empêchent pas la corrosion par les entrées d'oxygène

# Les entrées d'oxygène

font la vraie cause des  
formations de boue

# Les analyses d'eau alors?

## Très peu utile

- La chimie de l'eau du système aide un peu pour comprendre les grandes anomalies
- Attention aux prélèvements
- Dans certains cas une analyse peut aider à identifier les causes (p.ex. remplissage excessifs se dévoilent à l'aide de chlorides)

## Pas vraiment utile

- L'oxygène dissout
  - Ne se mesure qu'en situ, mesure compliquée
  - O<sub>2</sub> disparaît de suite, quasi instantanée
  - Les entrées d'oxygène ne sont rarement constant, quasi toujours intermittent. Quand est-ce que c'est le bon moment alors pour mesurer?

Les analyses chimiques donneront une image approximative, dans les cas pathologiques extrêmes



Une analyse de l'eau peut être comparée à un contrôle de sécurité d'incendie



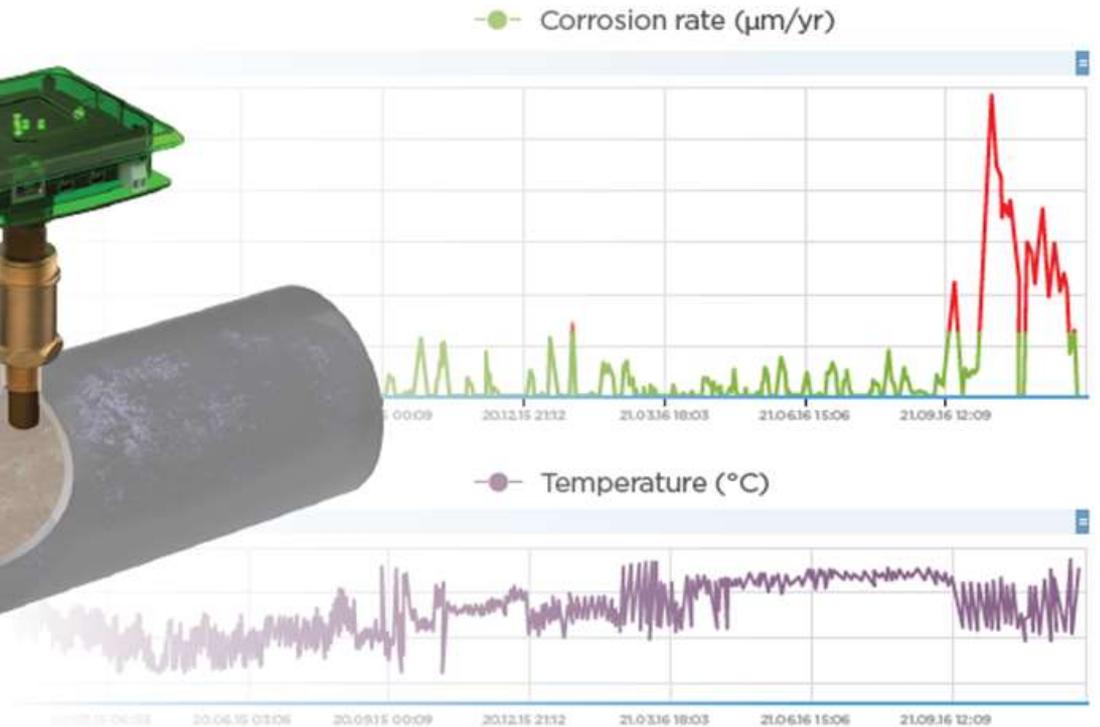
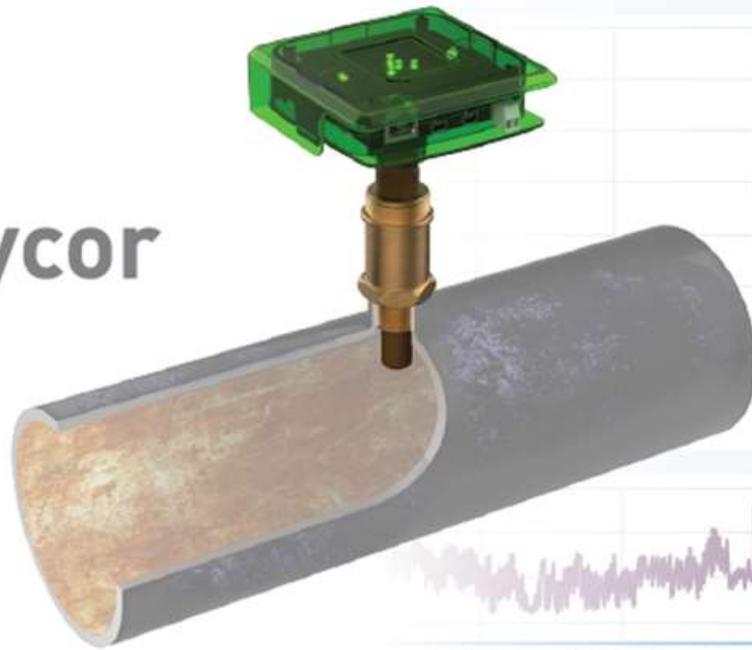
le contrôle de sécurité incendie ne substitue pas les détecteurs de fumée

L'expression « **un canari dans une mine de charbon** » fait référence à une ancienne pratique de mineurs qui apportaient des canaris dans les mines de charbon. Au XIXe siècle, alors que l'exploitation des mines de charbon battait son plein, il était fréquent de retrouver, au fond des mines, un canari en cage. Très sensible aux émanations de gaz toxiques, impossibles à détecter pour les hommes ne bénéficiant pas des équipements modernes, le petit oiseau jaune servait d'outil de référence comme un détecteur. Ainsi, lorsqu'il mourait ou s'évanouissait, les mineurs se dépêchaient de sortir de la mine afin d'éviter une explosion ou une intoxication imminentes.



# Le monitoring de la corrosion rend visible ce que l'on ne peut pas voir

 risycor



# L'analogie avec de détecteur d'incendie ou le commutateur différentiel



On attend la publication du nouveau avis technique du CSTC

# Les directives en Europe:

- Aux Pays-Bas



KENNISBANK.ISSO.NL

KENNISINSTITUUT VOOR INSTALLATIETECHNIEK

## ISSO-publicatie 13

### Voorkomen van corrosie en vervuiling

#### Richtlijnen voor gesloten watervoerende systemen

Datum: 01-10-2019

ISBN: 978-90-5044-324-1

Product: ISSO-publicatie

Status: Actueel



# Les directives en Europe:

- En Allemagne:

## VDI 6044 - Projekt

Vermeidung von Schäden in Warmwasser-, Kaltwasser- und Kühlkreisläufen - Kaltwasser- und Kühlkreisläufe

### Auf einen Blick

Englischer Titel

Mögliches Erscheinungsdatum  
2021-08

Herausgeber  
VDI-Gesellschaft Bauen und Gebäudetechnik

Autor  
VDI-Fachbereich Technische Gebäudeausrüstung

Zugehörige Handbücher  
VDI-Handbuch Wärme-/Heiztechnik

### Kurzreferat

Der Bedarf einer solchen Richtlinie ergibt sich aus der Vielzahl der Probleme mit größeren geschlossenen Kaltwassernetzen in der Praxis. In diesen Anlagen gibt es vor allem im Betrieb teilweise erhebliche biologische und infolge auch chemische Belastungen, die zu Korrosion führen. Betreiber und Eigentümer dieser Anlagen müssen oft bereits nach wenigen Jahren für erhebliche Beträge das Umlaufwasser reinigen lassen und die Korrosionsschäden beseitigen. **Ein umfassendes Monitoring für die Betreiber ist häufig unerlässlich.** In Ermangelung einer allgemein anerkannten Regel der Technik wird dies aber häufig unterlassen und entsprechende Wasseranalysen, sofern sie überhaupt vorliegen, können von den Betreibern meist nicht interpretiert werden, um konkrete Maßnahmen zur Verhinderung von Korrosion zu ergreifen.

Hier soll mit der Richtlinie, die auf Basis der BTGA-Regel 3.003 „Geschlossene wassergeführte Kalt- bzw. Kühlwasserkreisläufe – Zuverlässiger Betrieb unter wassertechnischen Aspekten“ erarbeitet werden soll, Sicherheit geschaffen werden.

Voyez plus loin.



La technologie de capteur intelligente qui vous avertit lorsque la corrosion menace votre système de chauffage ou de refroidissement.



Les vraies professionnels savent comment prévenir les problèmes

# Atic

for HVAC professionals

