

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

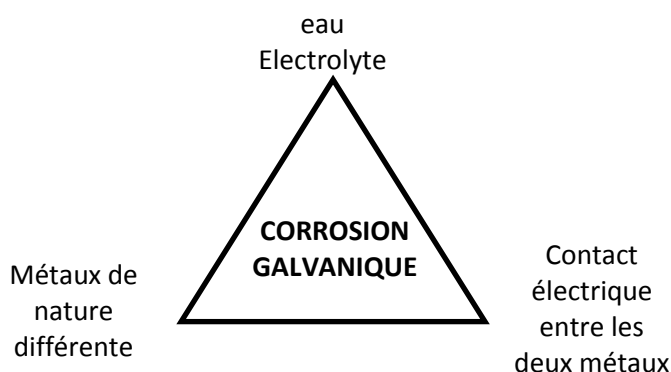
Des questions reviennent fréquemment sur le forum de l'APPER concernant la corrosion, les couples galvaniques, les cuves ballons qui percent, l'association acier/cuivre. Ce fut l'occasion pour moi d'apprendre et de faire la synthèse des explications et des documents techniques. Ce document vous donnera des préconisations sur vos installations afin d'installer votre ballon d'ECS solaire de façon durable.

La corrosion est un phénomène entre des métaux de nature différente au contact de l'eau. Bien souvent le phénomène ne se voit pas, puis la panne survient et se manifeste par des fuites : un ballon qui perce, un tuyau qui se bouche. A ce stade il est trop tard pour agir. Il faut y penser avant : lors de l'installation !

Principe de la corrosion galvanique :

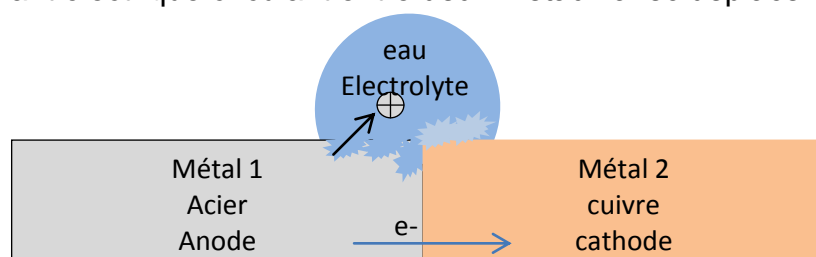
La corrosion galvanique a lieu en présence de trois conditions différentes :

- Deux métaux de natures différentes, au potentiel d'oxydoréduction différent.
- La mise en contact électrique de ces deux métaux.
- La présence d'eau agissant en tant qu'électrolyte, recouvrant les deux métaux



Réduire la corrosion galvanique consiste à supprimer une de ces trois conditions. Or il nous est impossible de supprimer l'eau ni la nature des métaux en contact ! Il nous est possible d'éviter le contact électrique, nous allons voir comment. Certains matériaux, comme le fer, rouille de lui-même dans l'eau, ceci est de l'auto-corrosion et ne sera pas détaillé dans ce qui suit. On va s'intéresser à la corrosion galvanique qui est beaucoup plus problématique.

La corrosion galvanique c'est comme une pile en court-circuit. Le terme galvanique désigne un courant électrique circulant entre deux métaux avec déplacement d'ions métalliques.



Le métal 1 rongé est appelé anode : l'acier libère des ions de métal (Fe^{2+} par exemple)

Un courant électrique circule entre ces deux métaux : électrons.

Le métal 2 qui se charge en ions métallique est la cathode.

Le fer ainsi dissout sous forme d'ions va, d'une part, se déposer sur le cuivre (le cuivre noircit) et, d'autre part, se dissiper dans l'eau puisqu'elle est constamment renouvelée comme c'est le cas dans un réseau d'eau chaude ou froide sanitaire.

La **corrosion caverneuse** est particulièrement intense dans la zone de contact des deux métaux. Elle ronge les plans de joints et les filetages [3]. Plus les métaux sont proches plus la densité ionique est intense, plus rapide est la corrosion. Le fait de mettre un joint en matière isolante (polyéthylène ou néoprène, mais pas en fibre) augmente la distance entre les métaux et réduit considérablement la corrosion caverneuse.

La vitesse de corrosion augmente d'autant plus que l'anode est petite. C'est le cas de zones de contact entre la section d'une sortie de ballon en acier et un réducteur en laiton.

Les tables de couples galvaniques sont données à titre indicatif pour de l'eau salée qui n'est pas forcément le milieu que nous employons avec un réseau d'eau potable. Pour utiliser cette table, commencez par choisir le matériau A. Puis relever le potentiel à l'intersection avec le matériau B. Plus le potentiel est élevé, ou plus les matériaux sont de nature différente, plus le risque de corrosion est élevé.

Pour nos applications en solaire retenez :

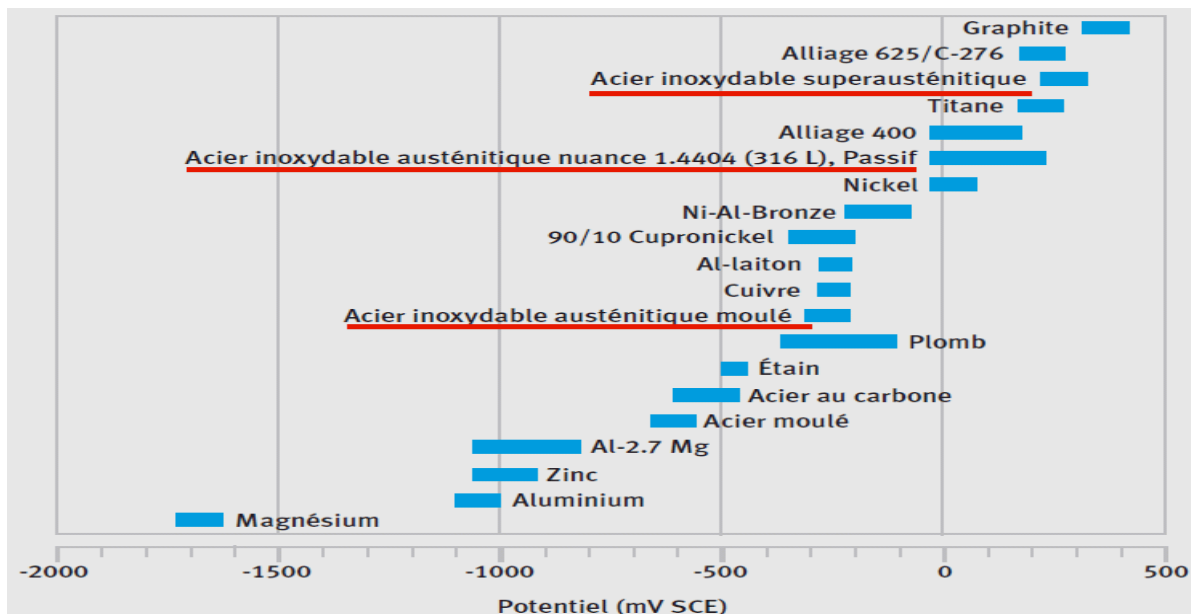
- **Le fer est corrodé en contact avec le cuivre ou le laiton (ballon d'ECS)**
- **L'aluminium est corrodé en contact avec le cuivre (capteurs solaires, radiateurs en alu)**
- **Le magnésium est corrodé en présence de tous les matériaux (anode sacrificielle).**

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 :		Platine	Or	Inox passivé	Argent	Mercur	Nickel	Arcap	Cuivre	Bronze d'alu	Laiton	Bronze	Etain	Plomb	Duralumin	Acier doux	Alpax H	Alu 99,5%	Acier dur	Duralinox	Cadmium	Fer pur	Almasilium	Chrome	Sn75-Zn25	Zinc	Magnésium
Métal B :	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
Z15CN18	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
	Mercur	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'alu	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	200	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	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	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	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

Une autre table ci-dessous [1] classifie différentes sortes d'inox. On remarque que suivant la qualité de ceux-ci on peut avoir des comportements très différents !



En cas de doute ou pour choisir le meilleur compromis sur le matériau : plonger les deux métaux dans de l'eau salée et mesurer la tension entre eux. Plus la tension est faible, plus faible sera la corrosion.

L'acier galvanisé :

Les voitures d'aujourd'hui sont faites avec des pièces d'acier galvanisé (recouvertes de Zinc). L'acier non protégé forme une couche d'oxyde de fer qui est perméable à l'air et à l'eau si bien que la corrosion se poursuit à l'intérieur de l'acier. C'est de l'auto-corrosion.

En revanche, l'oxyde de zinc produit à la surface de la couche de zinc est imperméable. Tant que le zinc et l'oxyde de zinc sont intacts (c'est-à-dire tant qu'ils ne sont pas effrités ou rayés) l'acier qu'il y a dessous ne se corrodera pas.

L'acier galvanisé seul a des propriétés auto-réparatrices, en effet des petites éraflures qui exposeraient l'acier vont se recouvrir de zinc. Ceci se produit parce que le zinc présent autour de l'éraflure va se dissoudre et se déposer sur l'acier en remplaçant celui qui a disparu lors de l'éraflure.

Mais une conduite en acier galvanisé en contact avec une autre conduite en cuivre ou en laiton va perdre ses propriétés protectrices. Le zinc va se corroder puis disparaître. Ensuite se sera le tour de la conduite en acier qui finira par corroder et percer avec le temps !

La connaissance des matériaux en contact permet de mettre en place des actions préventives.

Les installateurs avertis savent qu'il convient :

- De ne pas mélanger des conduites en cuivre et en acier dans une installation
- De ne pas installer des radiateurs en aluminium avec des tubes en cuivre
- De penser à vérifier annuellement l'état de l'anode de magnésium des ballons d'ECS.
- De poser un manchon galvanique entre du cuivre (ou laiton) et de l'acier
- De ne pas renouveler l'eau d'un circuit de chauffage pour garder la saturation en ions ferreux.

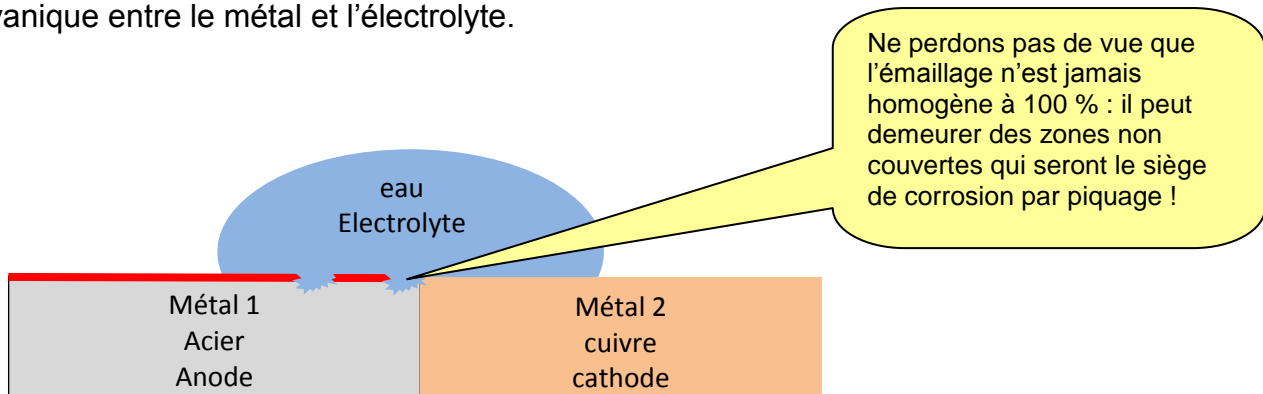
La corrosion dépend aussi de la qualité de l'eau :

- Une eau peut-être potable mais corrosive : $\text{pH} < 7$. C'est le cas, entre autre, de l'eau issue roches granitiques.
- Une eau douce est souvent une eau corrosive, son degré de dureté devra être supérieur à 8°f.
- Une eau adoucie est plus corrosive qu'une eau moyennement calcaire. Un adoucisseur trop efficace peut provoquer une corrosion accélérée des ballons en acier et des soudures en étain.
- Une eau trop chargée en ions chlorures est corrosive [2] (250 mg/l maxi)
- Une eau devient corrosive si sa conductivité est élevée : 450 $\mu\text{S}/\text{cm}$ maxi (eau salée, sulfatée, chlorée).
- Une eau devient corrosive si sa conductivité est trop faible : 225 $\mu\text{S}/\text{cm}$ mini, eau trop adoucie, de pluie, déminéralisée. Une eau trop pure a tendance à se charger en ions.

Comment éviter la corrosion galvanique ?

Isolement par protection de la surface :

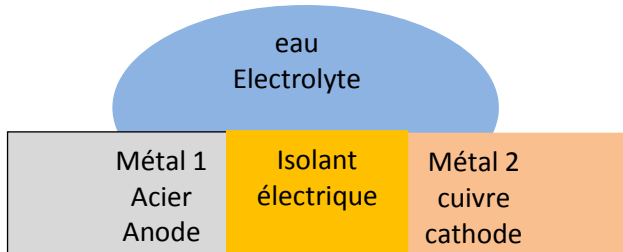
Une première protection contre la corrosion est l'émaillage de la cuve. L'émaillage est une vitrification de la surface qui isole l'acier de la cuve. On protège de l'eau par isolement galvanique entre le métal et l'électrolyte.



Les cuves des ballons d'ECS sont en acier émaillé pour réduire la corrosion et garantir un contact hygiénique avec l'eau. Au niveau des raccords de la cuve, l'acier est à nu de par le filetage.

Isolement par protection galvanique :

Le contact électrique entre les deux métaux est rompu par un isolant électrique (plastique, céramique, téflon, tube en PE,...). C'est le rôle du manchon galvanique qui empêche la circulation d'un courant électrique entre les deux métaux. Il réduit la corrosion cavernueuse dans la zone fer/cuivre de la jonction [3].



La photo ci-contre montre un manchon galvanique installé sur la sortie d'un ballon d'ECS avec un mitigeur thermostatique.

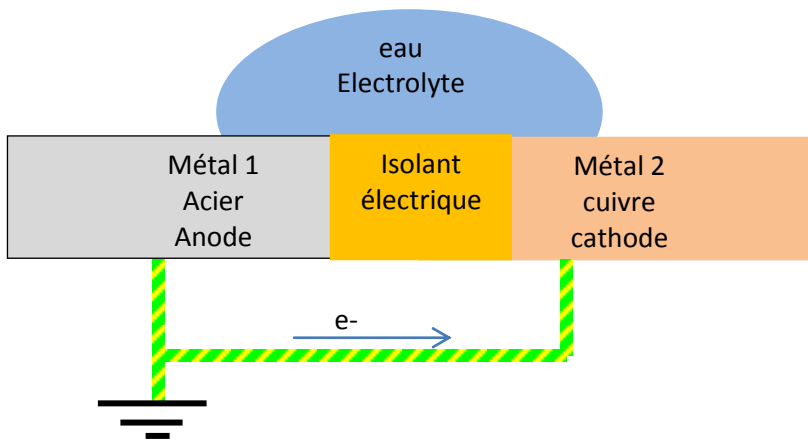


Les manchons autres qu'en taille 20x27 (3/4') ou 15x21 (1/2') ne se trouvent que chez des fournisseurs professionnels. Ceci vient du fait que les sorties de ballon ECS courants sont en 20x27.

Pour les autres dimensions, il reste la solution de mettre des mamelons réducteurs de même nature de métal, puis de mettre à la suite le manchon d'isolation galvanique courant en taille 20x27.

Cas du chauffe-eau électrique :

Pour des raisons de sécurité, le corps de la résistance de chauffe d'un ballon d'ECS doit être reliée à la terre par le conducteur de protection (fil jaune / vert). Il est par conséquent impossible d'avoir une isolation galvanique totale car le corps de la résistance de chauffe se trouve souvent relié directement à la cuve en acier. Néanmoins, il existe des compromis comme d'éloigner les deux métaux par un joint isolant. Ceci réduit la densité ionique et ralentit le phénomène de corrosion.



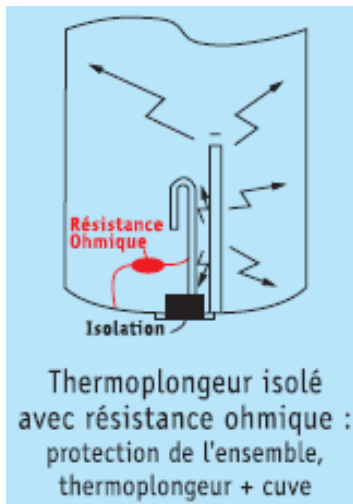
L'exemple ci-dessus illustre la perte du bénéfice de l'isolation galvanique si les deux métaux (cuve en acier et conduites en cuivre) sont reliés par un conducteur externe de protection (fil de terre). Le courant galvanique circule par le fil de terre.

Dans le cas d'un chauffe-eau électrique, la cuve est reliée électriquement à la terre. Les canalisations en cuivre sont mises à la terre dans la salle de bain pour la sécurité électrique (norme NFC-1500) ! Il en résulte que la cuve en acier n'est pas isolée galvaniquement des canalisations en cuivre ! Une simple vérification avec un testeur de continuité permet de constater cela. Pour des raisons de sécurité, on ne peut ni couper la terre du chauffe-eau électrique, ni supprimer l'équipotentielle de liaison de la salle de bain. Rien qu'un robinet mitigeur fait le pont électrique entre les circuits d'eau chaude et d'eau froide !

ATLANTIC prévoit un manchon galvanique dans le colis de certains ballons. **Il recommande de le monter sur la sortie eau chaude.** Cette précaution n'est pas absolue contre la corrosion, mais elle réduit la corrosion par éloignement des métaux. La corrosion agit en priorité là où le trajet est le plus court pour les ions (densité de courant ionique élevée). Sur la sortie d'eau chaude, l'eau est plus corrosive car elle est moins chargée en ions Calcium.

Une note d'installation d'ATLANTIC, très bien faite [2], suggère de **mettre, à défaut de manchons isolant galvanique, de simples manchons en acier sur les cuves en acier** : Ceci déporte la corrosion sur le filetage des manchons et réduit la corrosion sur le filetage des ports de la cuve !

Pour protéger la corrosion de la résistance chauffante, un compromis est prévu dans certains appareils. Cela consiste à isoler le corps de la résistance chauffante de la cuve. Puis, une résistance « ohmique », dite de protection, relie le corps de la résistance chauffante à la cuve.



La cuve est reliée à la terre de protection électrique. Cette résistance « ohmique » est disposée à l'extérieur de la cuve. Elle a pour effet de réduire le courant d'électrolyse du blindage de la résistance. Sa valeur de 560 Ohms détermine une tension de défaut inférieure à 24 V pour un courant de 30 mA (seuil du disjoncteur différentiel).

On pourrait appliquer cela à la résistance électrique d'un ballon solaire. **Attention, ceci est bien entendu en contradiction avec la norme NFC-1500 !**

- Relier la terre de la résistance ou de la cuve via une résistance de 560 Ohms (1/2 W) à condition que l'installation soit munie d'un disjoncteur différentiel 30 mA.

- Mettre des manchons galvaniques sur tous les ports de la cuve.

- Boucher les ports non utilisés avec des bouchons d'acier.

- Vérifier périodiquement le disjoncteur différentiel par le bouton de « Test ».

Ci-contre, on voit bien cette résistance de protection après la dépose du thermostat. Celle-ci relie le blindage de la résistance (ensemble résistance et doigt de gant) à la plaque en acier qui elle est mise à la terre (ainsi que la cuve). Cette résistance sert à la protection électrique au cas où la résistance présenterait un défaut d'isolement. En revanche, la résistance de protection ne permet pas une isolation galvanique parfaite mais elle limite le courant d'électrolyse.



Cas du ballon ECS solaire :

Dans le cas de l'installation d'un ballon solaire à quatre ports sans résistance électrique d'appoint :

- deux pour l'échangeur solaire

- deux pour l'arrivée et le départ de l'ECS

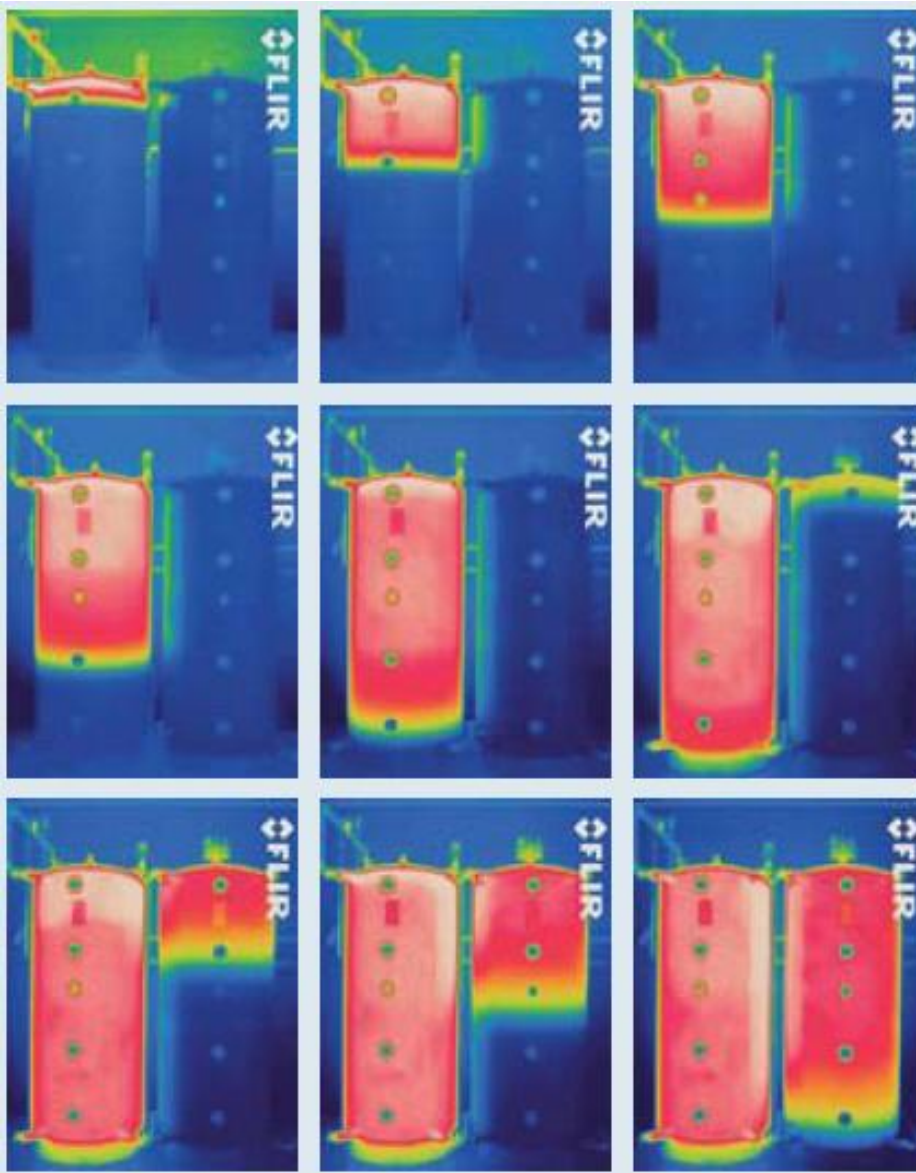
Pour une isolation galvanique absolue, il conviendra de mettre quatre manchons galvaniques pour isoler complètement la cuve en acier du cuivre.

Les orifices non utilisés seront bouchés par des bouchons en acier et non pas en laiton !

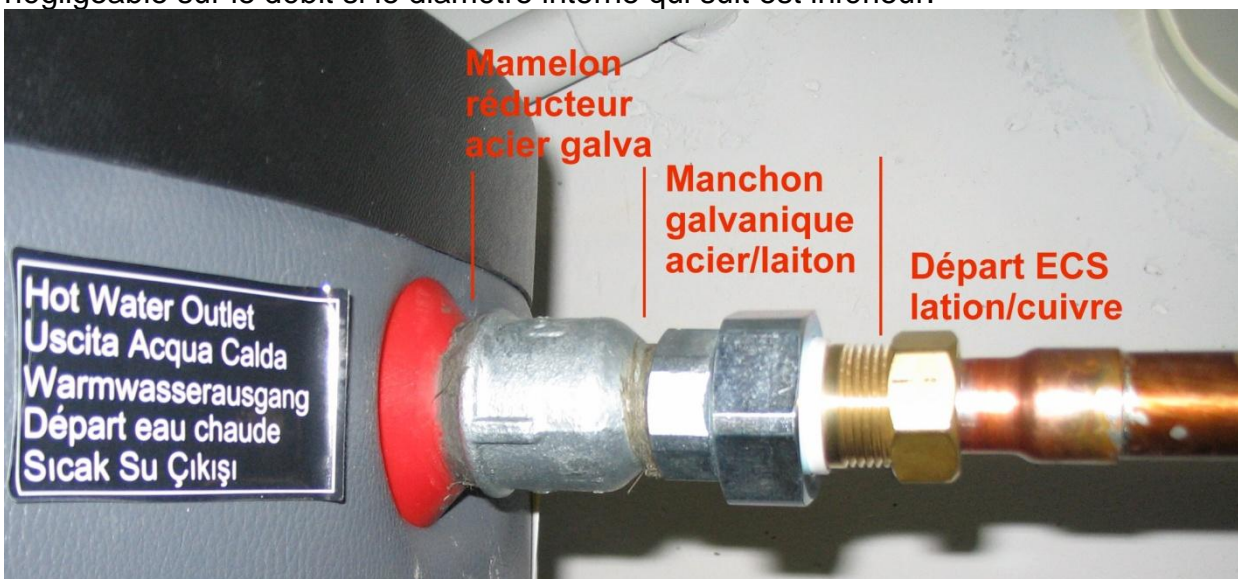
Les doigts de gants en cuivre /laiton devraient être isolés de la cuve en acier. Une autre solution, employée par des fabricants Allemands, consiste à apposer la sonde contre la cuve sous l'isolant. La conductivité thermique de l'acier permet la transmission de la température de l'eau à la sonde.

Une mesure thermique par caméra infrarouge sur une cuve sans isolant montre la stratification interne de l'eau.

La photo suivante a été prise en infrarouge. Elle montre la stratification de l'eau chaude à travers deux cuves en série sans isolation thermique. Source : fabricant Allemand Solar Bayer [4]



Exemple de préconisation à la sortie d'un ballon d'ECS solaire : Mamelon réducteur 1' vers $\frac{3}{4}$ en fonte galvanisée suivi d'un manchon isolant galvanique en $\frac{3}{4}$. La réduction de diamètre est négligeable sur le débit si le diamètre interne qui suit est inférieur.



Dans cet exemple le ballon est complètement isolé galvaniquement sur le quatre ports. Entre les parties acier et laiton du manchon d'isolation galvanique on mesure environ 0,6 V ! Ceci montre bien la présence d'un couple d'oxydoréduction entre lequel il ne circule pas de courant.

Fermeture de l'entrée de recirculation par un bouchon en fonte galvanisé :



Pour les réductions, il y a souvent confusion entre acier et fonte. La fonte qui est par nature graphitée, résiste beaucoup mieux à la corrosion. Les volutes des circulateurs en sont la démonstration. (Merci à Bertrand !)

Cas du circuit solaire des capteurs au serpentín du ballon :

Pour les installations et kits en eau au glycol une conduite en inox annelé est couramment employée pour des raisons pratiques : la liaison se fait d'un bout à l'autre sans raccords ou soudures intermédiaires. L'inox annelé est compatible avec les raccords en laiton et en cuivre fournis.

La jonction avec le ballon du raccord en laiton venant du tube inox devrait se faire par un manchon d'isolation galvanique, sur l'acier du ballon. Mais ce n'est pas absolument indispensable sur le circuit solaire en glycol qui est fermé. Il arrive que certains manchons d'isolation galvanique ne tiennent pas la température au-delà de 110 °C !

Cas des stocks solaires en eau morte ou eau primaire :

On se retrouve très vite avec des couples galvaniques pour les stocks réalisés avec de la récupération : cuve en acier et serpentín en cuivre. En théorie, le serpentín en cuivre d'un stock d'eau en acier ne devrait pas entrer en contact avec la cuve en acier.

De plus, que le contenu soit en eau morte, ou fasse partie du circuit primaire de chauffage, cette eau va se saturer en ions ferreux et ferrique. **Une eau saturée est beaucoup moins corrosive qu'une eau renouvelée. Il convient de vidanger le moins possible une**

installation fermée. Cette eau s'appauvrit aussi en oxygène et en dioxyde de carbone, et de plus la quantité des minéraux reste la même (pas d'accumulation de dépôt calcaire).

Dans les installations de chauffage, on peut tolérer la mise en contact entre l'acier et le cuivre surtout si la surface d'acier est importante (paroi des cuves, radiateurs en acier). On prendra la précaution de renouveler l'eau du circuit le moins possible.

Sur le retour avant la chaudière on peut installer un pot de décantation (pot à boues) qui récupèrera les particules d'oxydes de fer.

En résumé :

Ce qu'il faut faire par ordre d'importance :

- 1- Limitez les transitions Fer/Cuivre ou Fer/laiton.**
- 2- Ne jamais installer de l'aluminium avec du cuivre : corrosion de l'aluminium.**
- 3- Mettez des manchons d'isolation galvanique sur vos ballons d'ECS ! Surtout à la sortie pour limiter la corrosion caverneuse au niveau du filetage.**
- 4- Utilisez des réducteurs en acier puis des manchons d'isolation galvanique sur vos ballons.**
- 5- A défaut de manchons d'isolation galvanique, utiliser un manchon en acier pour déporter la corrosion sur ce dernier.**
- 6- A défaut de manchons d'isolation galvanique, utiliser des joints en polyéthylène, néoprène ou caoutchouc, mais jamais en fibre.**
- 7- Quand cela ne met pas en cause la sécurité électrique, ne pas relier la cuve en acier du ballon et l'isoler par des manchons d'isolation galvanique.**

Il ne faut pas compter sur une épaisse couche de filasse ou de téflon pour faire office d'isolation galvanique !

Pour l'entretien, vérifiez l'anode de magnésium une fois par an [5]. Pensez à mesurer le courant d'anode quelques jours après la mise en service. On peut se fixer un seuil de remplacement de l'anode quand le courant se trouve entre 50 à 30 % du courant de départ. Il n'y a pas de règle pour le courant d'anode à moins que cela soit détaillé dans la notice du constructeur.

Les tubes de PER sont une bonne solution pour limiter les effets de la corrosion galvanique, mais n'empêchent pas la mise en place d'un manchon d'isolation galvanique sur la sortie. Ceci car les raccords pour le PER sont en laiton.

Le "multicouche", tout comme le PER, n'est pas conducteur. Les feuilles internes au multicouches sont isolées et servent à former une barrière chimique et mécanique face au polymère. Néanmoins, les raccords sont en laiton et ne dispensent pas de mettre un manchon d'isolation galvanique rien que pour éviter la corrosion caverneuse entre le fer et le laiton. Mixer du fer/cuivre est tolérable dans le circuit de chauffage, mais déconseillé en eau sanitaire chaude ou froide.

Jean-Matthieu STRICKER
Ingénieur INSA Génie Electrique

Pour ce sujet de discussion, voici le lien vers le forum de l'APPER Solaire :
<http://forum.appper-solaire.org/viewtopic.php?p=83536#83536>

Merci aux Appériens pour leurs remarques constructives qui m'ont permis de remettre à jour ce document ! ☺

3^e édition du 10 novembre 2012

Publié sur le site de l'APPER Solaire

Diffusion ou reproduction interdite sans accord de l'auteur : F5RCT.JM)à(gmail.com

Liens utiles :

[1] L'inox en contact avec d'autres matériaux métalliques : Sté EURO INOX

http://www.euro-inox.org/pdf/map/Contact_with_Other_FR.pdf

[2] DOSSIER TECHNIQUE & SAV CHAUFFE-EAU – JUILLET 2008: Sté ATLANTIC

http://www.chauffe-eau.fr/ftp/produits/l12VIZ150/ATLANTIC_VIZENGO_SAV.pdf

<http://www.atlantic-electrique.fr/documents/Plaquette-infos-sinistres2011.pdf>

[3] Le livre multimédia de la corrosion : INSA Lyon

http://www.cdcorrosion.com/mode_corrosion/corrosion_galvanique.htm

[4] Solar Bayer , télécharger le document « Prospekt Speichertechnik » (prospectus technique de stockage): <http://www.solarbayer.de/Schichtleitspeicher-SPS.html>

[5] Corrosion Ballon Anode Calcaire par SBRT83

<http://www.apper->

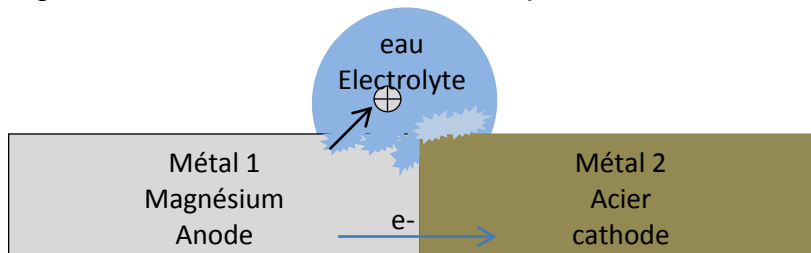
[solaire.org/Pages/Fiches/Ballons/Corrosion%20Ballon%20Anode%20Calcaire%20par%20SBRT83/index.pdf](http://www.apper-solaire.org/Pages/Fiches/Ballons/Corrosion%20Ballon%20Anode%20Calcaire%20par%20SBRT83/index.pdf)

Annexe 1

La protection par anode sacrificielle et par anode en titane à courant imposé :

En ayant compris le principe de la corrosion galvanique, la protection par anode sacrificielle est bien un cas de corrosion galvanique volontaire. Ce type de protection est appliqué dans les ballons d'eau chaude, mais aussi pour protéger les coques des navires, les pipelines, les structures et bâtiments en acier enterrés.

On applique dans le milieu (eau, eau salé, sol) un métal moins noble que celui à protéger : zinc ou magnésium. Ce métal est relié électriquement à la structure à protéger.

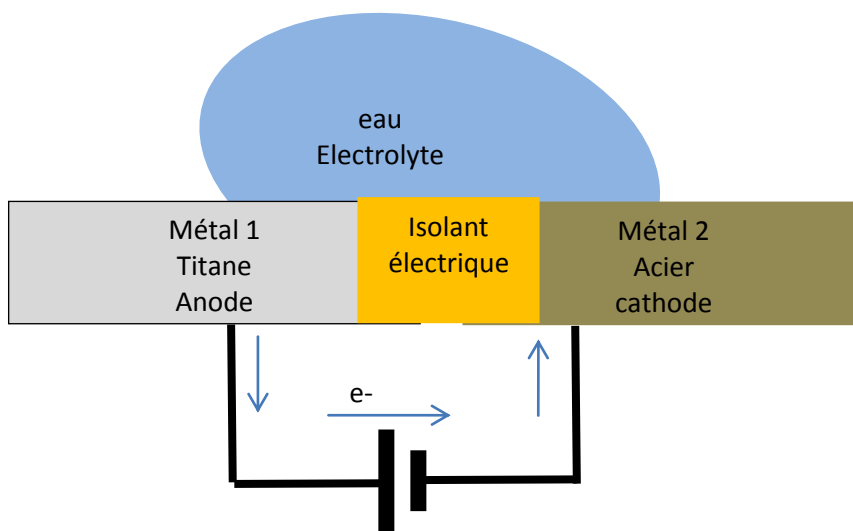


L'anode de magnésium protège la corrosion du fer car elle libère des ions magnésium Mg^{2+} dans l'eau et donne ses électrons au fer. Le fer ne peut se corroder car il reçoit les ions Mg^{2+} et se prend les électrons libérés par le magnésium.

Si c'était le fer qui se corroderait, nous aurions le fer qui se décomposerait comme la formule suivante, c'est-à-dire libérant des ions Fe^{2+} dans l'eau et donnant ses électrons à un autre métal. $2Fe \Rightarrow 2Fe^{2+} + 4e^-$. **Or il ne peut le faire car on lui impose des électrons par son métal voisin (courant galvanique)**

Nota : les anodes ne sont pas faites magnésium pur mais en alliage Mg 91% -Alu 6% - Zinc-3%. [5]. En se déposant, le magnésium fait des traces blanches sur le cuivre et l'acier que l'on confond souvent avec du calcaire.

Maintenant, pour la protection par anode de titane à courant imposé, on connecte un générateur externe à l'anode en titane. Le flux d'électrons est dans le même sens qu'avec l'anode magnésium. Ceci revient à IMPOSER des électrons au métal à protéger comme dans le cas précédent de l'anode en magnésium. On appelle ce procédé « protection cathodique à courant imposé ». Ci-dessous, photo d'une anode de titane à côté du corps de la résistance.



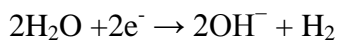
Cette fois-ci, l'anode en titane ne se corrode pas ou très peu, explications :

Le titane est un métal extrêmement oxydable. Dans la série des potentiels électrochimiques standards, il se place au voisinage de l'aluminium, entre le magnésium et le zinc. Il n'est donc pas un métal noble, son domaine de stabilité thermodynamique ne présente, en effet, aucune partie commune avec le domaine de stabilité thermodynamique de l'eau et est situé fortement au-dessous de ce dernier. L'une des causes de la résistance à la corrosion du titane est le développement d'une couche protectrice passivante de quelques fractions de micromètre, constituée majoritairement d'oxyde TiO_2 , mais il est reconnu qu'elle peut contenir d'autres variétés. Cette couche est intègre et très adhérente. En cas de rayure de la surface, l'oxyde se reforme spontanément en présence d'air ou d'eau. Il y a donc inaltérabilité du titane dans l'air, l'eau et l'eau de mer. De plus, cette couche est stable sur une large gamme de pH, de potentiel et de température.

Comme le titane ne dégage pas d'ions métalliques, c'est au tour des ions contenus dans l'eau de réagir comme le chlore au niveau du fer. Les ions chlore se combinent avec les électrons et dégage du gaz de chlore.



Egalement, dans les deux cas de protection avec anode sacrificielle en magnésium et avec l'anode en titane à courant imposé, la circulation du courant au niveau du fer (cathode) provoque une électrolyse de l'eau qui se décompose en ions hydroxyde (OH^-) et hydrogène H_2



Ces ions hydroxyde favorisent la précipitation des dépôts « calcaires » (voir annexe 2).

Certaines anodes « hybrides » constituées de titane enrobées de magnésium vont appliquer une double protection. Le magnésium se libère en premier et se dépose sur le fer (il bouche les surfaces apparentes pour éviter la corrosion par piquage). Puis le courant imposé de l'anode de titane restante maintient ce magnésium protégeant ainsi le fer.

La carte électronique peut se résumer à une alimentation à courant continu de 2 à 4 Volts sous un courant limité à moins de 10 mA. Une petite batterie intégrée à l'alimentation maintient la polarisation de l'électrode de titane pendant que le chauffe-eau est coupé en dehors des plages de courant de nuit. Ce type d'alimentation est protégé contre les courts-circuits par limitation de courant. La page suivante montre un exemple d'alimentation démontée sur un appareil ATLANTIC.

Le transformateur est protégé contre les courts-circuits par des résistances en série avec le primaire. Au secondaire, une PTC limite aussi le courant en cas de surcharge. La tension du transformateur est redressée et filtrée par C1. Cette tension redressée alimente deux sources de courant :

- La source de courant pour l'électrode par transistor T3. Cette source alimente aussi un clignoteur (transistors T5, T6, T7) qui fait flasher la LED verte L3.
- La source de courant pour la charge de la batterie Ni-MH par transistor T1

Les transistors T2 et T4 commutent la batterie sur l'électrode et le clignoteur en absence de tension. Les diodes LED rouges L1 et L2 protègent la batterie en fin de charge.

En cas de court-circuit de l'électrode ou de la batterie, ou si celle-ci est déchargée, la LED verte de clignote plus. **Ce type de protection est limité par la durée de vie de la batterie NI-MH.**

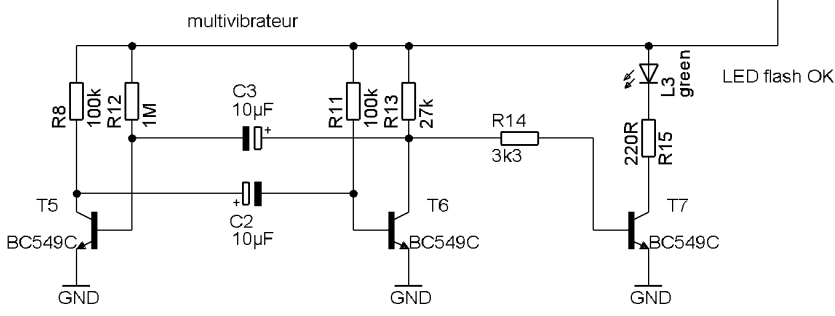
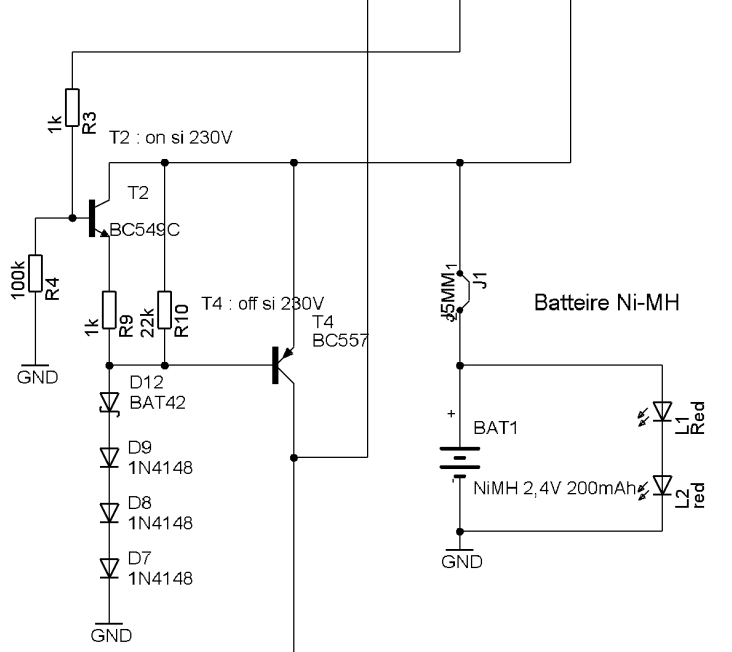
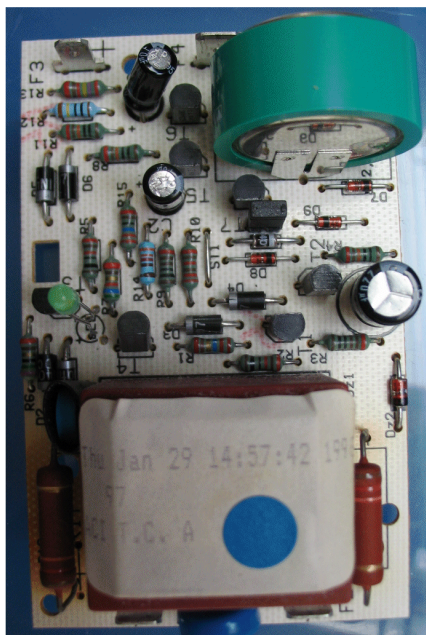
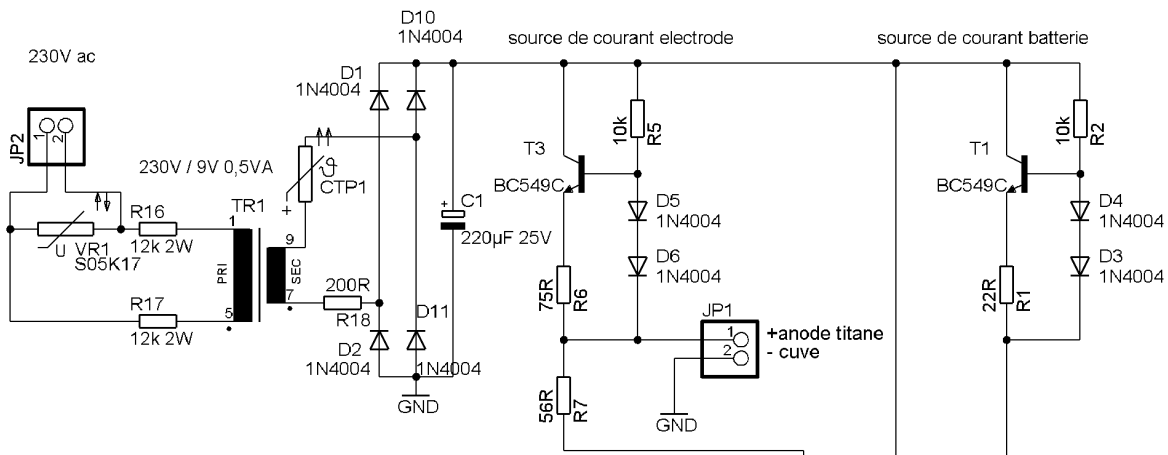
Ces informations proviennent des sites suivants : Recherche : protection cathodique à courant imposé

http://fr.wikipedia.org/wiki/Protection_cathodique

<http://www.protectioncathodique.net/la-corrosion-aqueuse-systemes-de-protection-cathodique.php>

<http://www.cathodicprotection101.com/protection-cathodique.htm>

http://www.solaire-bois.fr/upload/pdf/Anode_Titane_ACES.pdf ...merci Ramses !



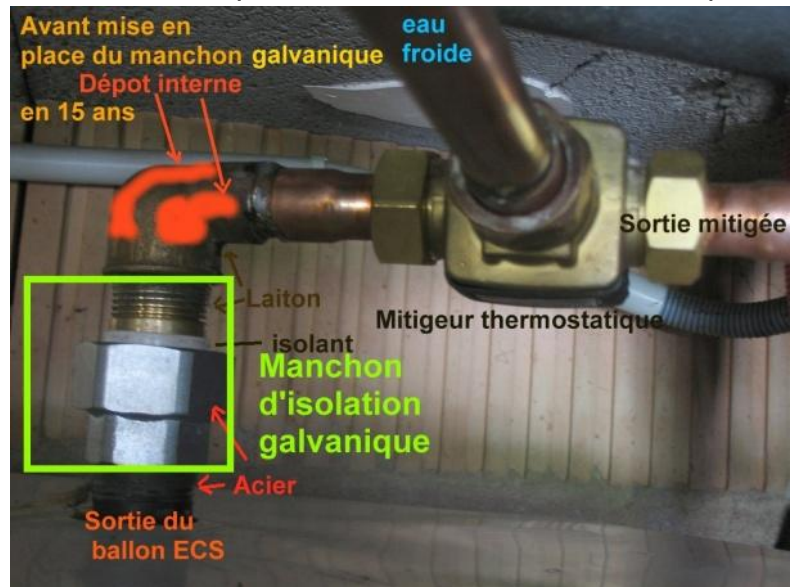
SCHEMA Alimentation Anode Titane ATLANTIC relevé par JM STRICKER	
TITLE: Titane	
Document Number:	REV: A
Date: 09/11/2012 12:08:06	Sheet: 1/1

Annexe 2

Etude d'un cas de corrosion et origine des dépôts à la sortie d'un ballon d'ECS.

Symptôme : baisse significative du débit d'ECS au bout de 15 ans. L'eau avait un goût ferrugineux.

En voulant insérer le mitigeur j'ai trouvé la cause. Un dépôt brun foncé dur comme de la pierre dans le coude en laiton à la sortie du ballon d'ECS (voir photo ci-contre). Le seul moyen pour supprimer ce dépôt fut de l'attaquer à l'acide chlorhydrique ! La coloration jaune et la dureté font penser à un amalgame à base d'oxyde de fer. Mais je n'ai pas trouvé d'explication scientifique à ce phénomène en cet endroit précis. Ce peut être du carbonate de magnésium (que seul l'acide chlorhydrique peut attaquer rapidement) ? Dans l'eau chaude il y a présence ions Mg^{2+} provenant de l'anode du ballon. Le calcaire se précipite-il par le dégagement gazeux concentré à cet endroit ?



J'ai constaté que la partie filetée en acier à la sortie du ballon est nettement plus fine que celle de l'entrée de l'eau froide.

Après la mise en place des manchons d'isolation galvanique, le goût ferrugineux de l'eau a disparu et le débit est devenu normal !

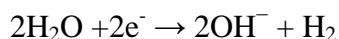
Analyse :

Les réactions chimiques dans la zone de corrosion sont nombreuses et complexes ! Il nous a été difficile de trouver de la documentation sur le sujet.

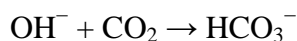
Dans la zone de corrosion le fer se décompose en ions ferrique et libère deux électrons qui vont vers le laiton [3].



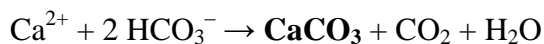
La circulation d'un courant au niveau du laiton (cathode) provoque une électrolyse de l'eau qui se décompose en ions hydroxyde (OH^{-}) et hydrogène H_2



La présence de gaz carbonique dans l'eau se combine avec les ions d'hydroxyde pour former de l'hydrogénocarbonate HCO_3^-



Cet hydrogénocarbonate va faire précipiter les ions calcium en carbonate de calcium qui est le dépôt calcaire.



Il en est de même pour le magnésium présent en concentration élevée à la sortie du chauffe-eau par la présence de l'anode de magnésium. Les ions Mg^{2+} vont donner du carbonate de magnésium. Ce dernier est dur comme de la pierre et ne s'attaque rapidement qu'avec de l'acide chlorhydrique.



Enfin, les ions issus du fer peuvent aussi se combiner de la même manière et donner du carbonate de fer (sidérite). Cette matière ne peut se dissoudre rapidement que dans l'acide chlorhydrique (<http://fr.wikipedia.org/wiki/Sid%C3%A9rite>)



Nous avons démontré que la corrosion engendre un dépôt au niveau du coude en laiton raccordé à la sortie en fer du chauffe-eau. Il y a aussi d'autres réactions qui peuvent avoir lieu, cela dépend de la teneur des autres éléments dissout dans l'eau tel que : le chlorure, le sodium, les sulfates...