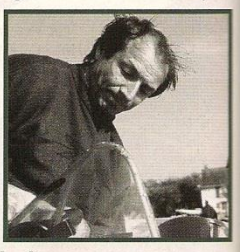
PAR **MICHEL BARRY**
Pilote professionnel,
ingénieur aéronautique



SÉCURITÉ

LA CORROSION
Sa détection concerne autant les pilotes que les mécaniciens

On relève périodiquement des accidents ou des incidents dus à la corrosion. Et si les ateliers agréés ont pour mission d'assurer la maintenance des appareils, il incombe aux pilotes, notamment lors de la visite prévol, de déceler les anomalies ou les endommagements causés par l'altération des matériaux.

Fig. 1 Exemple de corrosion de surface sur la semelle d'un longeron en dural
A ce stade d'avancement l'endommagement est bien visible et relativement important. La pièce peut s'avérer irréparable. Cependant on peut imaginer qu'à son tout début un œil averti aurait pu détecter une petite anomalie au stade où la pièce était plus facilement réparable. D'où l'intérêt d'une inspection attentive lors de la visite prévol.

La détection et le contrôle de la corrosion profonde (structure de la cellule, GMP, circuits) appartiennent davantage aux services de maintenance qu'au pilote. En revanche, ce dernier peut et doit participer activement à la prévention et à la détection d'endommagements plutôt périphériques dus à la corrosion des métaux. Il doit savoir également contrôler l'ensemble des matériaux constitutifs de l'appareil, et notamment les matériaux composites, lorsqu'ils sont collés à des éléments métalliques. Car ils peuvent, eux aussi, présenter des défauts visibles liés à la corrosion *(voir encadré page suivante : « Extrait de l'abstract d'une thèse soutenue à l'Université sciences et technologies – Bordeaux I)*.

Pour ces raisons, nous vous engageons :

• à vous informer de la plupart des risques connus en vous aidant de tous les moyens de communication possibles ;

• puis, une fois près de l'avion, à prendre le temps d'examiner tout ce qui est accessible au cours de la visite prévol.

En effet, malgré la périodicité des contrôles de maintenance, les avions volant peu sont facilement susceptibles de s'endommager entre deux visites très espacées. Et la corrosion, surtout sous certaines conditions climatiques comme l'air marin, peut parfois être rapide dès lors qu'une protection (peinture, couche anticorrosion, anodisation…) a été attaquée *(cf. figure 1)*.

Bien entendu les appareils anciens sont concernés. Cependant il n'est pas rare de constater, lorsque les conditions sont réunies, des processus de progression très rapides pour des avions d'un an ou deux, même réputés hors d'atteinte de la corrosion comme les appareils tout composite *(voir encadré page suivante)*.

A Comment la corrosion endommage l'avion et quelles parties la subissent ? L'éviter et la détecter si possible

Toutes les pièces de l'appareil sont concernées. On peut tout au plus exclure les bois et les toiles mais ils peuvent aussi subir des agressions tout aussi graves que la corrosion. On ne les présente pas aujourd'hui.
Les lignes suivantes se concentrent sur l'ensemble des éléments métalliques, visibles ou accessibles lors de la visite prévol, et qui doivent être ou non protégés quand l'appareil est au repos et dont le pilote peut facilement diagnostiquer l'état. Son intérêt portera particulièrement sur les points suivants :

• Pour un avion garé à l'extérieur. Il subit des agressions qui peuvent déclencher des processus corrosifs. L'humidité, l'air salin, la proximité d'industries polluantes comme les cimenteries, par exemple, déposent sur toutes les surfaces des agents chimiques qui peuvent :
- directement oxyder les parties normalement exposées ;
- attaquer à travers des endommagements mécaniques déjà en place comme les éclats de peinture là où le métal est à nu ;
- pénétrer par des orifices normalement obturés pour le parking (prises d'air, prises de pression, mise à l'air libre…) ;
- s'accumuler dans des cavités (autour des bouchons de réservoirs par exemple) et gagner progressivement en surface et en profondeur.
Attention aux bâches de protection ! Elles concentrent l'humidité et, si elles ne sont pas bien arrimées, le vent les agite et peut provoquer des érosions locales qui seront vite la proie de la corrosion.

• Pour un avion garé dans le hangar, en principe mieux protégé des agents de la corrosion, le pilote recherchera plutôt :
- les mini-endommagements dus à la promiscuité qui règne sous les hangars trop pleins et qui sont autant de voies d'accès pour la corrosion ;
- des parties de l'avion humides en permanence, notamment l'hiver et près de la mer (conséquence du manque d'aération), qui favorisent la corrosion.
(On pourra procéder utilement à la ventilation des hangars en ouvrant les portes par temps plutôt sec et chaud).

En principe, l'avion sera garé avec les réservoirs pleins afin d'éviter de contenir de l'air humide et corrosif.
Dans tous les cas, on se renseignera sur la nature corrosive des petites fuites diverses (liquides de freins, lubrifiants,

batteries, liquides d'asservissements, liquides de refroidissement moteur ou cellule…).

Pour les appareils qui sortent peu, le « vol du semestre » sera l'objet d'une inspection aussi rigoureuse que pour un avion garé à l'extérieur. D'ailleurs, parfois, le constructeur n'aura pas d'autre parade aux risques de corrosion que celle qui consiste à recommander de « *faire voler l'avion plus souvent…* » comme il le préconise *(cf. le rapport du BEA, pages suivantes)*.

B Le rôle du pilote

1. Suivi de maintenance, information entre pilotes, communication avec l'atelier

Pour leur maintenance, les avions – notamment dans les associations –, sont pris en charge par un atelier agréé. En parfait état de navigabilité, ils sont ensuite confiés aux pilotes. Cependant, entre deux vols, l'avion ne revient pas toujours à l'atelier et des défauts liés à l'utilisation normale peuvent apparaître. Parmi eux des endommagements qui, en quelques jours, peuvent laisser démarrer un processus de corrosion grave si aucune action réparatrice n'est entreprise immédiatement. La visite post-vol n'étant pas une habitude (et c'est bien dommage !), il incombe au pilote suivant de rechercher les éventuels défauts lors de sa propre prévol.

Pour toutes ces raisons, on conseille aux associations de mettre en place, quand ce n'est pas déjà fait, des outils de communication entre les pilotes successifs. Elles doivent conduire à des décisions immédiates en matière de petites réparations destinées à éviter notamment à la corrosion de s'installer. L'événement REC info que nous publions page suivante *(notre REX du mois)* montre qu'un intérêt collectif plus profond de la part des pilotes, pour une crique ancienne probablement due à la corrosion (métaux de natures différentes en contact), aurait permis d'en déterminer la vitesse de propagation. On aurait ainsi empêché un appareil de décoller avec un guignol de dérive qui présentait un risque de rupture certain au cours du prochain vol.

2. Examen visuel lors de la visite prévol

Sur un appareil de plusieurs dizaines d'années, le pilote découvre obligatoirement des traces de corrosion : éclats de peinture, petites traces de rouille (oxyde de fer), traces d'alumine (oxyde d'aluminium) sur les surfaces qui devraient être entièrement peintes ou brillantes (alu poli)… Pour autant l'appareil n'est pas inapte au vol !

On demande donc une fois de plus au pilote de faire preuve de discernement, lors de la visite prévol, en séparant la corrosion « admissible » de la corrosion dangereuse.

Le pilote débutant n'y parvient pas. Le rôle de l'instructeur consiste à expliquer les raisons du « filtrage » sans toutefois faire preuve de laxisme.

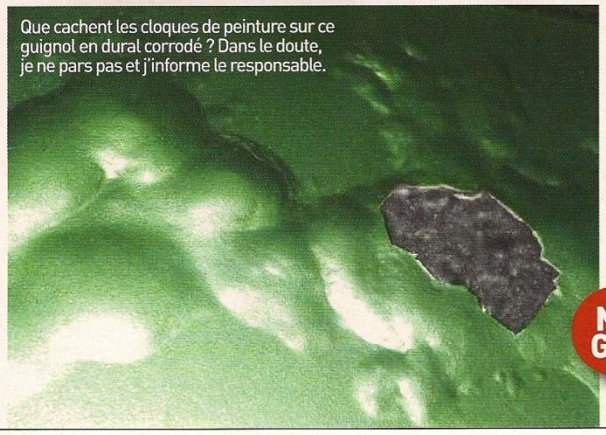
En général, l'expérience permet de simplifier le tri :

- parfaitement admissible, on attendra la prochaine visite *(Go ! Exemples ci-dessus)* ;
- l'endommagement me paraît sérieux. Je ne pars pas et j'informe le responsable *(No go ! Exemples ci-dessous)*.

Le tendeur est un peu oxydé. Je surveille mais je peux voler. A protéger (protection antirouille ou graisse) à la prochaine occasion.

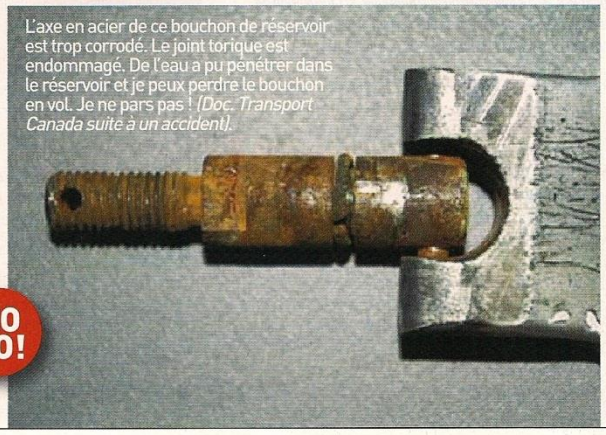
GO !

La goulotte présente des traces de corrosion. A surveiller, notamment la qualité du carburant prélevé par les purges et la bonne étanchéité du bouchon. Si oui, je pars mais je signale.



Que cachent les cloques de peinture sur ce guignol en dural corrodé ? Dans le doute, je ne pars pas et j'informe le responsable.

NO GO !



L'axe en acier de ce bouchon de réservoir est trop corrodé. Le joint torique est endommagé. De l'eau a pu pénétrer dans le réservoir et je peux perdre le bouchon en vol. Je ne pars pas ! *(Doc. Transport Canada suite à un accident)*.

C Conclusion

Les dégâts dus à la corrosion peuvent affecter plus ou moins gravement le bon déroulement du vol. Ceux qui doivent être recherchés et détectés par le pilote lors de la visite prévol, car concernant des parties accessibles de l'avion, peuvent éviter :

• des ruptures diverses, notamment des commandes de vol ;

• des pollutions comme celles liées à la présence d'eau ou d'oxydes dans le carburant.

D'où l'intérêt de bien connaître les points faibles du type d'appareil sur lequel on vole et plus particulièrement ceux liés à l'histoire de l'avion qui nous est confié ou qui nous appartient. Seule la surveillance fréquente d'un point de corrosion, associée à l'avis d'un expert, peut permettre de déterminer si le jour du vol l'avion est oui ou non en état.

Quant aux actions préventives de la part du pilote, elles se résumeront la plupart du temps à :

• une fois le vol effectué, mettre en place toutes les protections répertoriées dans la check-list (caches divers, obturateurs, verrouillage des commandes…) ;

• d'une manière générale, assurer la propreté des surfaces, ce qui est la meilleure technique pour éviter le contact avec les agents corrosifs qui auraient pu se déposer (poussière, terre, herbe, feuilles humides, fluides divers, fientes d'oiseaux…). ●

Quelques informations sur le phénomène de corrosion

Les métaux utilisés en aéronautique, comme la plupart des métaux d'ailleurs (sauf les métaux précieux), ont une fâcheuse tendance à retrouver la forme minerai sous laquelle ils sont dans le sol. Le fer et l'aluminium, qui sont les principaux métaux des alliages présents dans notre petite aviation, ont été extraits en général sous forme d'oxydes, qui sont des états chimiquement stables. Les alliages comme l'acier ou le duralumin obtenus après réduction du minerai redeviendraient facilement oxydes en présence des agents oxydants contenus dans l'air sec ou humide qui environne nos avions (corrosion atmosphérique) s'ils n'étaient pas soigneusement protégés. L'ennui est que les matériaux oxydés perdent leurs qualités mécaniques (dureté, résistance à la traction, résistance à la compression) en proportion avec la pénétration et surtout selon un processus que rien ou presque ne peut stopper. La construction aéronautique surdimensionnant très peu les pièces, ne peut tolérer le moindre affaiblissement, en particulier celui qui serait dû à la corrosion. L'aspect physique des matériaux corrodés, notamment leur état de surface, se modifie. Les aciers rouillent et rougissent. Les alliages d'aluminium comme le duralumin ternissent et présentent une surface irrégulière, voire des excroissances blanchâtres ou grisâtres peu engageantes. Tous deviennent friables au toucher *(voir figure 2, ci-dessous)*. L'aspect de surface est en général le premier élément de détection de la corrosion.

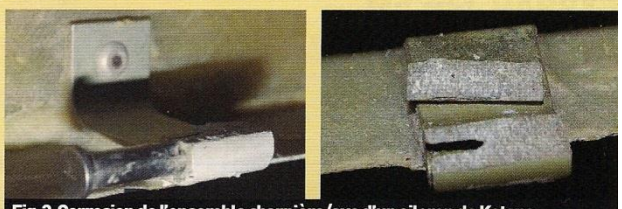
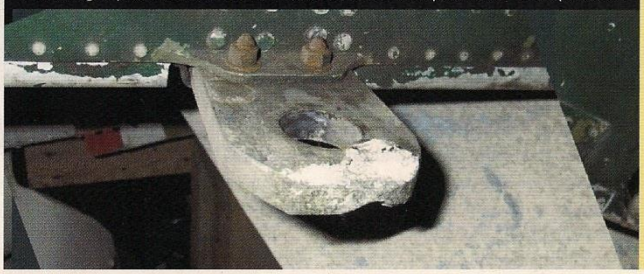


Fig. 3 Corrosion de l'ensemble charnière/axe d'un aileron de Katana
En présence d'air marin, les deux métaux (charnière en dural/axe en inox) subissent une corrosion très rapide qui détruit complètement la pièce en dural. L'axe en inox (à gauche) ne coulisse plus et la charnière est ouverte (à droite). Un «Alert Service Bulletin » est émis par le constructeur qui engage les utilisateurs à une surveillance accrue et à un remplacement à la moindre apparition de signes de corrosion.

L'oxydation peut être accélérée par un environnement physico-chimique (humidité, température, potentiel électrique…) favorable et aucune forme des alliages ne sera épargnée si le métal n'est pas protégé. Même des matériaux faussement supposés non corrodables, comme l'acier inox, peuvent être attaqués par la corrosion si les conditions électrochimiques sont réunies *(figure 3)*. Par exemple, une particule d'un autre métal au contact de l'inox provoque une corrosion très rapide, bien plus rapide que sur un acier traditionnel. Ceux qui se croyaient à l'abri sous le label « inox » sont toujours très surpris…
La seule protection durable consiste à isoler le métal de toute agression oxydante par une couche de protection neutre et la plus étanche possible (peinture, traitement de surface, agents protecteurs comme le dichromate de zinc, graisses au cuivre…). Pour les surfaces travaillantes, et de potentiel électrique différent (phénomène de pile), qui doivent être au contact l'une de l'autre sans protection possible, il faut envisager une surveillance fréquente et parfois remplacer l'ensemble au moindre signe de corrosion *(figure 3)*.

Fig. 2 Corrosion très avancée sur la ferrure d'aile d'un Norécrin
On remarque les deux couleurs caractéristiques de la corrosion des alliages d'aluminium : gris pour la couche d'alumine en surface. Blanc pour la corrosion profonde.



Extrait de l'abstract de la thèse de Sandrine Payan soutenue à l'Université Sciences et Technologies Bordeaux 1

« …La dégradation par la corrosion dans les matériaux composites est accentuée par la présence d'un couple galvanique entre le renfort de carbone et l'alliage d'aluminium. L'amorçage et la propagation de la corrosion ont fait l'objet d'études expérimentales locales in situ à l'interface fibre/matrice ainsi que d'une modélisation semi-analytique. Il est mis en évidence que la corrosion s'amorce perpendiculairement à l'axe de la fibre puis se propage parallèlement à son axe le long de l'interface et par dissolution des carbures d'aluminium. Ces mécanismes locaux ont été comparés aux mécanismes globaux qui prennent en compte l'architecture fibreuse du composite… »

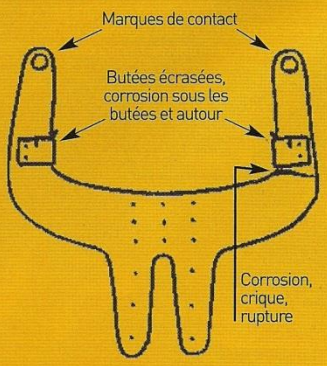
LE REX DU MOIS Vrille infernale (Evénement paru dans le REC info n°4/2002)

La rupture d'une pièce majeure dans la commande de direction peut avoir une origine humaine si le programme d'inspection périodique s'avère inadapté ou non appliqué, si l'utilisation de l'élément n'est pas appropriée, etc. L'événement relaté ci-dessous illustre cet enchaînement de défaillances.

Dans le cadre de la formation d'un pilote, l'instructeur réalise une séance d'instruction comportant des vrilles. L'aéronef est un biplace de construction métallique autorisé pour la voltige. La masse et le centrage conviennent aux limitations.
Au cours de la séance, à une hauteur d'environ 3 500 pieds, l'instructeur provoque une mise en vrille à gauche et, au bout d'un demi-tour, il montre la manœuvre de sortie au stagiaire qui maintient les pieds et les mains sur les commandes.
L'avion remonte à 3 500 pieds de hauteur. Sous le contrôle de l'instructeur, le stagiaire effectue la mise en vrille à gauche et agit sur les commandes pour récupérer le contrôle de l'appareil. Ce dernier ne sort pas de vrille. L'instructeur reprend les commandes et se rend compte que la gouverne de direction est inefficace. Les occupants sont alors persuadés que l'accident est inévitable. Au bout d'une dizaine de tours, à quelques centaines de pieds de hauteur, l'avion sort tout seul de la vrille. La gouverne de direction est inopérante à droite. L'instructeur garde les commandes. L'atterrissage est effectué avec les volets braqués à 10°. A l'arrondi, l'avion a tendance à partir en lacet à gauche. Lorsque le train principal touche le sol, l'avion se remet dans l'axe et le roulement se poursuit normalement.
Au parking, la partie droite de la pièce de liaison entre la gouverne de direction et les câbles de commande est trouvée rompue.

PIECE VUE DE DESSUS *(ci-contre à droite)* :
L'examen de cette pièce en alliage d'aluminium montre que :
- les deux butées de débattement en acier sont fortement écrasées,
- des marques témoignent du contact répété de la pièce avec la structure de l'avion,
- la pièce est déformée, comme si les deux cornes s'étaient ouvertes,
- de la corrosion prend naissance près de la butée droite,
- à partir de ce point, une crique s'est propagée affaiblissant la pièce jusqu'à la rupture.

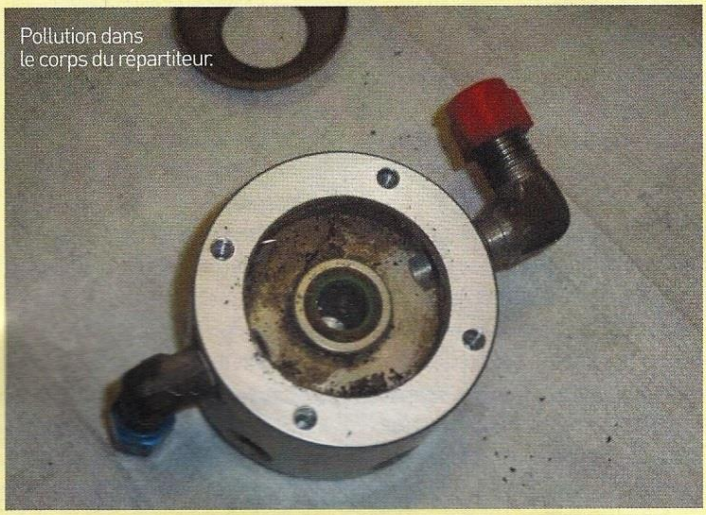
La déformation de la pièce, l'endommagement de la protection et la présence de métaux de nature différente ont probablement contribué à l'apparition de corrosion.



Si, vous aussi, vous avez vécu un vol délicat, partagez votre expérience dans le REX, sur le site de la FFA (www.ff-aero.fr). Vous pouvez aussi consulter les fiches REX déjà déposées.

Extraits du **rapport du BEA**

• **Evénement :** perte de puissance du moteur, atterrissage forcé en campagne.
• **Aéronef :** avion Cirrus Design SR20 équipé d'un parachute de secours et d'un moteur Continental IO-360-ES6.
• **Conséquence :** aucune.
• **Circonstances :** le pilote et son passager effectuent un vol local au-dessus des Pyrénées, au départ et à destination de l'aérodrome de Muret (31).
Le pilote indique qu'après environ cinquante minutes de vol, des vibrations apparaissent pendant la descente entre Saint-Girons (09) et Cazères (31), et que le débit de carburant diminue. Il actionne la pompe électrique et sélectionne l'autre réservoir de carburant. Ses actions sur la manette des gaz n'ont pas d'effet. La puissance est insuffisante pour maintenir le vol en palier et les vibrations perdurent. Le pilote atterrit dans un champ.
L'examen du circuit de carburant du moteur montre que trois des six injecteurs sont partiellement obstrués par une pollution également mise en évidence dans le répartiteur de carburant.
La pollution retrouvée comprend :
- des particules métalliques provenant de la corrosion de plusieurs éléments du circuit de carburant du moteur (le répartiteur, le ressort du bloc doseur, deux autres raccords et la pompe mécanique),
- et des particules minérales très fines, d'origine extérieure au circuit de carburant de l'avion.
Le filtre décanteur situé en aval de la pompe électrique à carburant est propre. Les prélè-


Pollution dans le corps du répartiteur.

Pollution sur la crépine du répartiteur.

vements de carburant effectués en différents points du circuit de carburant du moteur présentent une pollution sédimentaire dont la nature pourrait correspondre à celles des particules minérales précédemment mentionnées.
Cette pollution minérale, bien qu'indésirable, n'est pas suffisante pour provoquer à elle seule la corrosion.
Cette dernière est la conséquence d'une pollution du circuit par l'eau. Les particules métalliques libérées par la corrosion se sont accumulées dans le répartiteur avec les particules minérales jusqu'à obstruer partiellement les injecteurs. Les examens n'ont pas permis de dater le début de la corrosion.
La lettre de service SIL 99-1 de Teledyne Continental contient la recommandation générale suivante :
« *Une attaque de corrosion peut survenir dans les moteurs qui sont utilisés occasionnellement, quelle que soit la localisation géographique. Dans les régions côtières ou très humides, une attaque de corrosion peut survenir en deux jours seulement. La meilleure méthode pour réduire la probabilité d'une attaque de corrosion est de faire voler l'avion chaque semaine au moins une heure.* »
Ce document ainsi que le manuel de maintenance de Cirrus prévoient les actions à entreprendre en cas d'immobilisation temporaire (définie comme allant de 30 à 90 jours). On y trouve en particulier les informations suivantes :
- les réservoirs de carburants doivent être complètement remplis et l'absence d'eau vérifiée chaque semaine ;
- toutes les ouvertures du moteur vers l'air extérieur doivent être obturées par des bouchons ou des caches.

Ainsi, il est possible qu'une longue période d'immobilisation du moteur ait favorisé la présence d'eau dans le circuit, par condensation ou en conséquence d'un défaut d'étanchéité lors du stockage. Le moteur a été installé neuf sur l'avion en septembre 2005. Celui-ci a été exploité de manière régulière par un aéroclub de la région parisienne. En août 2008, le moteur a été renvoyé en atelier à la suite de la détection d'une crique sur le carter. Cette immobilisation a duré onze semaines. Il a ensuite été remonté sur l'avion et régulièrement utilisé.
Fin octobre 2010, l'atelier d'entretien a effectué un nettoyage des injecteurs à la suite d'une remarque d'un pilote sur le fonctionnement anormal du moteur. Le mécanicien explique qu'un des injecteurs était bouché par ce qui lui est apparu être un brin de paille. Le filtre décanteur était propre. L'avion a été remis en service. De novembre 2010 à mars 2011, date de l'achat par le club de Muret, l'avion a peu volé : on note deux périodes d'immobilisation de trois semaines et une d'un mois.
Le chef pilote du club indique que les purges des réservoirs sont faites régulièrement par les pilotes.

• **Conclusion :** la perte de puissance résulte d'une obstruction des injecteurs par une pollution d'origine minérale et métallique, cette dernière étant elle-même la conséquence d'une corrosion de certains éléments du circuit de carburant. L'enquête n'a pas permis de déterminer le mécanisme par lequel de l'eau a pu contaminer le circuit et entraîner cette corrosion, ni l'origine de la pollution minérale observée.