



HAL
open science

Utilisation d'une pile à combustible au méthanol en complément de l'énergie solaire pour les systèmes d'acquisition en milieu naturel

Lionel Darras, Julien Turpin, Liliane Jenatton, Armand Mariscal

► To cite this version:

Lionel Darras, Julien Turpin, Liliane Jenatton, Armand Mariscal. Utilisation d'une pile à combustible au méthanol en complément de l'énergie solaire pour les systèmes d'acquisition en milieu naturel. 2018. hal-01928269

HAL Id: hal-01928269

<https://hal.science/hal-01928269>

Preprint submitted on 20 Nov 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

UTILISATION D'UNE PILE A COMBUSTIBLE AU METHANOL EN COMPLEMENT DE L'ENERGIE SOLAIRE POUR LES SYSTEMES D'ACQUISITION EN MILIEU NATUREL

Lionel Darras¹, Julien Turpin^{2*}, Liliane Jenatton², Armand Mariscal³

(1) : Université Lyon2 – CNRS, Archéorient,
Maison de l'Orient et de la Méditerranée, 7, rue Raulin, 69335 LYON Cedex 7.
Contact : lionel.darras@mom.fr

(2) : Université Grenoble Alpes – CNRS – IRD - IRSTEA, ISTerre,
OSUG-C, Maison des Géosciences, 1381, rue de la Piscine, 38400 Saint Martin d'Hères

(3) : Université Grenoble Alpes – CNRS – IRD - INP, IGE,
OSUG-B, 460, rue de la Piscine, 38400 Saint Martin d'Hères

Résumé

En milieu isolé, des stations d'acquisition autonomes sont régulièrement utilisées à des fins scientifiques. Elles sont généralement alimentées par des batteries au plomb couplées à des panneaux solaires.

La localisation de ces stations est souvent imposée par le type de mesures souhaitées.

Il arrive que l'énergie récupérée par les panneaux solaires soit insuffisante. Cette alimentation solaire pourrait être complétée par une autre énergie naturelle comme l'éolien mais ce n'est pas toujours possible. Il est intéressant d'étudier une autre solution.

Une pile à combustible au méthanol est souvent utilisée sur les bateaux et les camping-cars en complément de panneaux solaires mais une telle solution est-elle concevable et suffisamment fiable en sites isolés avec un fonctionnement autonome ?

Pendant 3 années (de 2011 à 2014), sur 3 sites de suivi de glissement de terrain, une pile à combustible au méthanol a été utilisée en complément de l'énergie solaire. Les données énergétiques issues de la pile ainsi que les températures ont été acquises en continu.

A partir du traitement de ces données, cet article présente le retour de ces expériences avec les événements observés, les difficultés rencontrées ainsi que les solutions trouvées.

Mots clés : pile à combustible, méthanol, acquisition, autonomie, milieu naturel.

I. Introduction

En sciences de la Terre, il est commun d'instrumenter un site d'étude en milieu naturel avec un système d'acquisition automatique afin de réaliser des mesures continues. L'emplacement des sites est choisi en fonction des mesures que l'on souhaite acquérir (par exemple, en sismologie, on recherchera un endroit à l'écart de toute vibration parasite telles que celles produites par les routes, les torrents ou les arbres).

C'est à l'instrumentaliste de trouver les sources d'alimentation les mieux adaptées au site d'étude pour que la station d'acquisition fonctionne en totale autonomie.

La source d'alimentation généralement utilisée en milieu isolé est l'énergie solaire.

Sur certains sites comme les environnements boisés ou les expositions au Nord de falaises rocheuses, l'énergie solaire peut être insuffisante. Si l'énergie éolienne est inutilisable, une autre solution pour remplacer ou compléter l'énergie solaire doit être cherchée.

Sur les camping-cars et bateaux utilisant l'énergie solaire pour alimenter quelques équipements, des systèmes d'alimentation par pile à combustible au méthanol ont été développés par certains constructeurs pour recharger des batteries au plomb en cas de tension faible.

Au laboratoire ISTerre, le réseau de surveillance sismique des Alpes (Sismalp) a installé une pile à combustible EFOY Pro 600 dès 2008 sur un site d'observation sismique de la région grenobloise où l'acquisition était difficilement alimentée par l'énergie solaire (manque d'ensoleillement, enneigement et surtout vandalisme).

Ce système a permis d'acquérir des données scientifiques essentielles pendant plusieurs années. Dans ce cas précis, la pile à combustible était installée dans la galerie d'accès à la grotte où se trouvait le capteur, et donc dans un environnement sec et protégé mais cette pile à combustible au méthanol est-elle assez fiable pour fonctionner en milieu naturel isolé avec des contraintes environnementales (humidité et température) et sans présence humaine pour intervenir rapidement.

II. Sites d'expérimentation

Le constructeur stipule qu'il est possible d'utiliser la pile en milieu extrême (F. Heid et al, 2013). Il propose une caisse adaptée pour y placer la pile à combustible et la batterie associée. En milieu naturel, ce conditionnement n'est pas forcément adapté car une telle pile à combustible produisant de la chaleur, il est dommage d'isoler cette source d'alimentation dans une caisse et de ne pas utiliser cette chaleur pour en faire profiter le système d'acquisition et prolonger son espérance de vie.

Une pile à combustible au méthanol EFOY PRO 600 a été utilisée sur 3 sites de suivi de glissement de terrain entre 2011 et 2014 en complément de l'énergie solaire en rassemblant dans une caisse la pile à combustible et le matériel d'acquisition scientifique. Voici le contexte de chaque site :

- Le site A se trouve en milieu isolé à une altitude de 550 m. L'utilisation de panneaux solaires était limitée par un environnement boisé. Le matériel scientifique et de télécommunication consomme au total 8W (0,7A@12V). La pile à combustible a été installée dans une armoire électrique.
- Le site B se trouve en milieu isolé en montagne à une altitude de 1100 m. L'utilisation de panneaux solaires était limitée par sa localisation en face nord d'une paroi rocheuse. Le matériel scientifique et de télécommunication consomme au total 13W (1,1A@12V). La pile à combustible a été installée dans une malle posée à l'extérieur.
- Le site C se trouve en milieu urbain dans la région grenobloise. L'utilisation de panneaux solaires était limitée pour des raisons de visibilité importante et de vols de matériel

successifs. Le matériel scientifique et de télécommunication consomme au total 8W (0,7A@12V). Pour éviter le vandalisme, un seul panneau solaire a été discrètement installé, complété par une pile à combustible installée dans une maison abandonnée.

Grâce à une connexion de la pile à un datalogger (Campbell CR1000 ou Controlord Gigalog S) et des mesures énergétiques et environnementales associées (L.Darras et al., 2017), un suivi journalier à distance (S. Harrache et al., 2013) et un monitoring complet de son fonctionnement a été réalisé afin de maîtriser son utilisation et de comprendre d'éventuelles limites dans de telles applications en milieu naturel difficile.

III. La pile à combustible au méthanol en théorie

A. Principe

La pile à combustible au méthanol utilisée sur ces sites est une pile EFOY PRO 600 régulièrement utilisée sur les bateaux et camping-cars.

La connexion de cette pile dans un système d'acquisition scientifique autonome se réalise directement aux bornes d'une batterie au plomb (Figure 1).

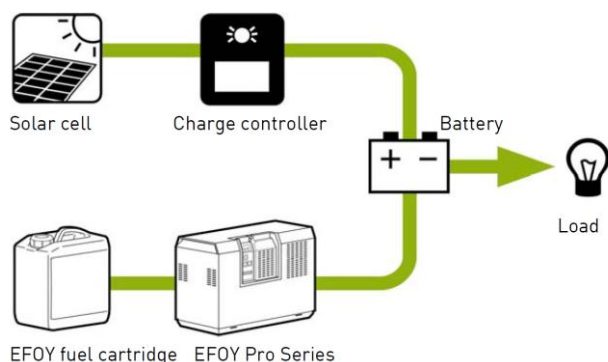


Figure 1 – Schéma de raccordement d'une pile à combustible et d'une alimentation solaire

Son principe consiste à se mettre en marche si elle détecte la tension de batterie $V_{bat} < V_{SwitchOn}$, et à s'arrêter lorsque $V_{bat} \geq V_{SwitchOff}$.

$V_{SwitchOn}$ et $V_{SwitchOff}$ sont en général des tensions de seuil avec des valeurs par défaut mais modifiables par l'utilisateur.

Le principe est simple, mais la pile à combustible dispose d'autres spécificités qu'il faut connaître et qui peuvent compliquer son utilisation.

B. Spécificités et limites

1. Installation:

Le constructeur précise dans sa documentation qu'il faut prévoir une aération pour pouvoir faire un appel d'air et expulser l'air chaud généré.

L'installation d'une telle pile à combustible dans un milieu naturel isolé va imposer de trouver un compromis entre l'aération et l'isolation.

2. Alimentation

Pour fonctionner, la pile à combustible est alimentée par la batterie qu'elle doit charger. Une batterie en décharge profonde ne pourra donc pas être directement chargée par une pile à combustible.

3. Tensions de seuil « switch-on » et « switch-off » :

A la livraison de la pile à combustible, les paramètres par défaut sont :

Seuil de tension de « switch On » : $V_{SwitchOn} = 12,5 \text{ V}$

Seuil de tension de « switch Off » : $V_{SwitchOff} = 14,5 \text{ V}$

Les valeurs de ces 2 seuils entraînent une utilisation assez fréquente de la pile alors qu'une tension détectée inférieure à 12,5 V n'est pas forcément signe de tension faible d'une batterie 12 V.

L'utilisateur peut changer ces paramètres mais les plages de tension sélectionnables par la suite sont elles aussi limitées:

$11,0 \text{ V} < V_{SwitchOn} < 13,0 \text{ V}$ et $13,5 \text{ V} < V_{SwitchOff} < 14,7 \text{ V}$

Si la plage comprise pour $V_{SwitchOn}$ correspond bien généralement aux plages de déclenchement habituellement utilisées, stopper le chargement de la batterie par la pile pour une tension supérieure à $V_{SwitchOff} = 13,5 \text{ V}$ n'est peut-être pas nécessaire et engendre une consommation de méthanol qui peut être évitée.

La pile à combustible a sa propre mesure de tension de batterie pour piloter ce mode de fonctionnement. Dans les graphiques, ce sont les mesures de tension de batterie directement acquises par le datalogger qui sont affichées. Il se peut qu'elles ne correspondent pas exactement aux valeurs de tensions mesurées par la pile.

4. Protection hors-gel:

Lorsque la température T mesurée par la pile devient inférieure à T_{min} , la pile à combustible démarre (même si la tension V_{bat} est suffisante). Son fonctionnement chauffe son environnement puis s'arrête lorsque la température T redevient supérieure à la température T_{min} . Cette température est déterminée par le constructeur ($T_{min} = 3 \text{ °C}$), et non modifiable par l'utilisateur.

5. Gel de l'eau dans le tube d'évacuation:

Dans le tube d'évacuation de l'eau, il existe une petite partie horizontale immédiatement à la sortie de la pile à combustible. Il peut y rester de l'eau stagnante. Lors d'une température à 0 °C , cette eau peut geler, obstruer le tube et mettre la pile en mode erreur (Helmstetter et al., 2017).

6. Protection températures extrêmes:

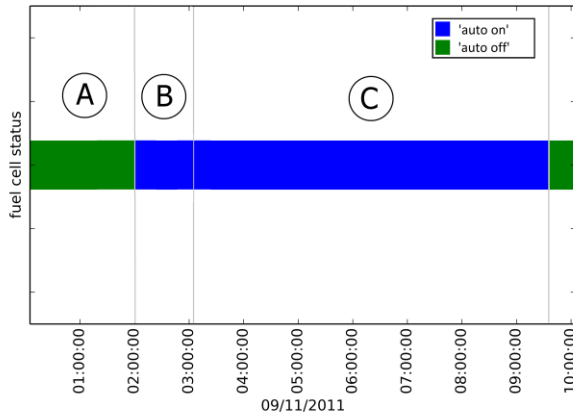
La pile dispose d'une protection hors-gel. Elle est conçue pour fonctionner au maximum à 40 °C et l'eau circulant dans la pile peut geler lors de températures basses en dessous de 0 °C .

Lorsque la température T franchit ces limites, la pile se met en mode erreur. Si la température $T > 40 \text{ °C}$, la pile se met en mode erreur. Ensuite, la température redescend souvent et la pile sort automatiquement de ce mode d'erreur. Si la température $T < 0 \text{ °C}$, la pile se met en mode erreur mais même si la température remonte, le tuyau d'évacuation a pu geler et empêcher son fonctionnement.

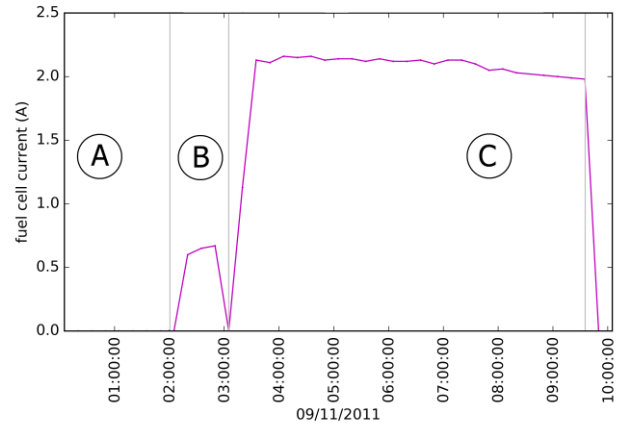
IV. La pile à combustible au méthanol en application

Utilisée sur des sites naturels, plusieurs types d'évènements ont pu être observés et les différents fonctionnements de la pile à combustible au méthanol vont être décrits.

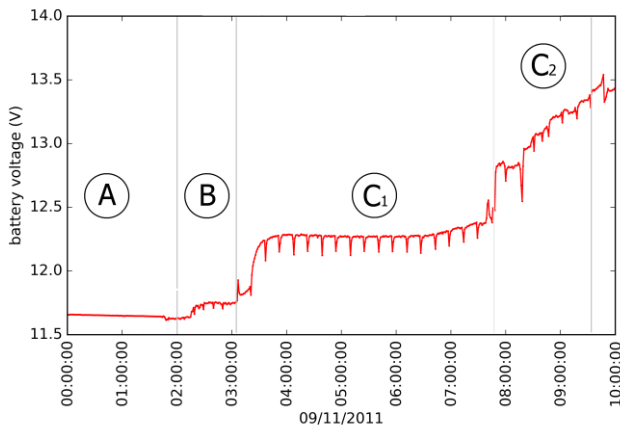
A. Fonctionnement normal



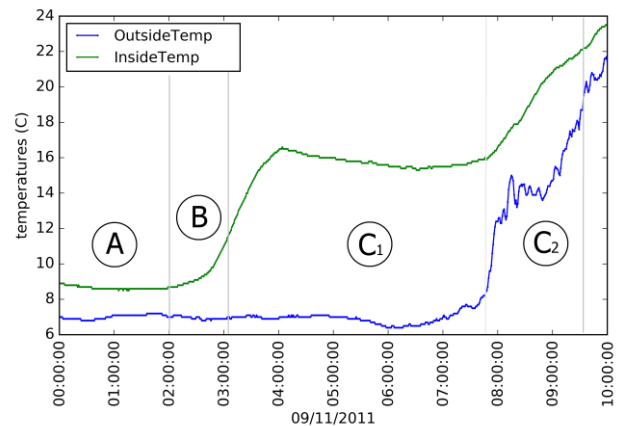
2a – Modes de fonctionnement de la pile



2b – Courant de charge de la pile



2c – Tension de la batterie



2d – Températures (intérieure et extérieure)

Figure 2 – Fonctionnement normal de la pile à combustible, Site A

Sur ces graphiques (figures 2a à 2d), la phase A représente la situation où la pile à combustible est opérationnelle (Figure 2a, zone verte) mais pas en fonctionnement car la tension de batterie est supérieure à $V_{SwitchOn}$ (11,5 V) (Figure 2c).

Dès que cette tension seuil est atteinte, la pile se met en fonction par une période de chauffe durant laquelle elle délivre un courant de charge de 500 mA (Figure 2b, phase B) puis délivre le courant de charge maximal configuré à 2 A (Figure 2b, phase C).

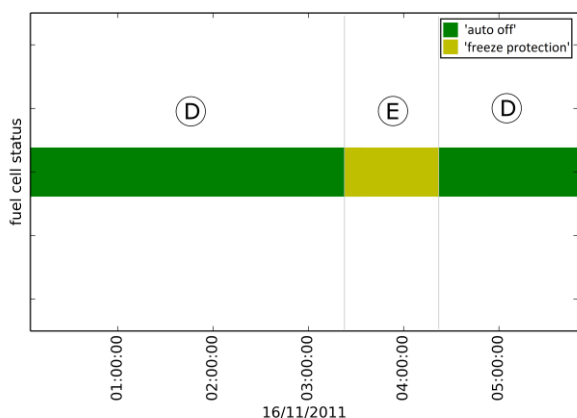
Pendant cette deuxième phase, grâce aux graphiques de tension (Figure 2c), courant de charge (Figure 2b) et de température (Figure 2d), deux phases C1 et C2 peuvent être dissociées.

Durant la phase C1, c'est-à-dire avant 08 h du matin, la charge de la batterie est uniquement due à la pile à combustible (période matinale sans ensoleillement). La température externe (Figure 2d, courbe bleue) ne change pas et la température interne (Figure 2d, courbe verte) augmente uniquement grâce à la chaleur générée par le fonctionnement de la pile à combustible.

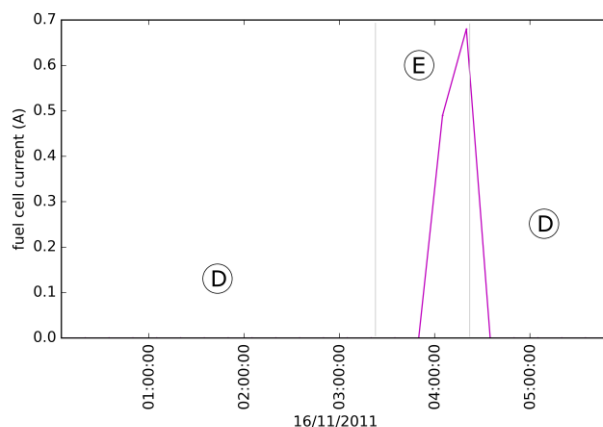
Pendant la phase C2, une augmentation de la tension de la batterie est due à un apport énergétique issu de l'énergie solaire qui atteint 13,5 V correspondant à VSwitchOff. La pile met fin à son activité après une énergie utilisée de 177,7 Wh en 8 h, soit 0,18 l de Méthanol consommé pendant une telle opération.

L'énergie solaire a nouveau disponible en milieu de matinée a permis d'atteindre la tension VSwitchOff (13,5 °C) et le fonctionnement de la pile s'est automatiquement arrêté.

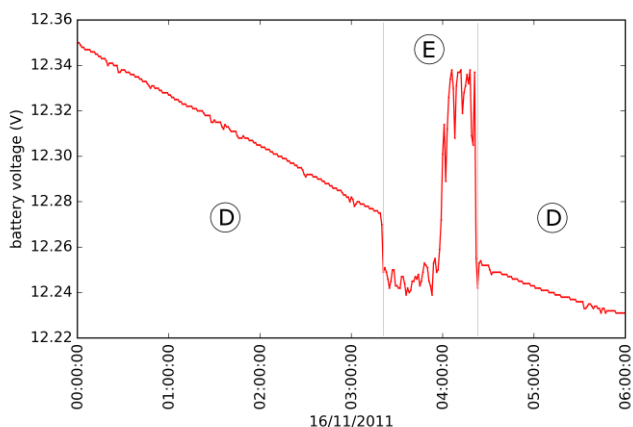
B. Protection Hors-gel



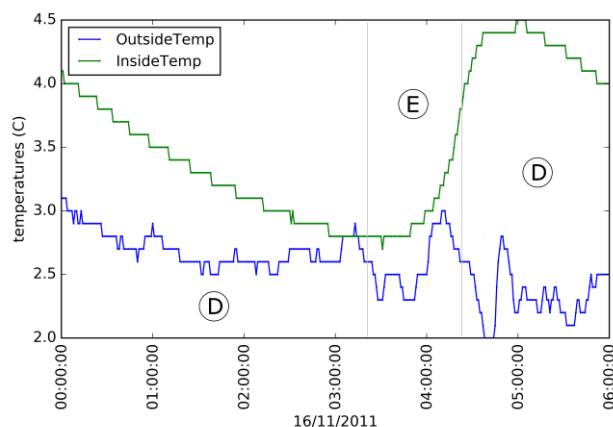
3a – Modes de fonctionnement de la pile



3b – Courant de charge de la pile



3c – Tension de la batterie



3d – Températures (intérieure et extérieure)

Figure 3 – Protection hors-gel de la pile à combustible, Site A

Le mode « protection hors-gel » est une procédure qui se met en place pendant une durée de 1 h lorsque la température < 3°C quelque soit la valeur de la tension de batterie. La pile à combustible est tout d'abord opérationnelle mais inactive (Figure 3a, phase D) car la tension de batterie est supérieure à VSwitchOn = 11.5V (Figure 3c, phase D). Durant cette phase, la température extérieure (Figure 3d, courbe bleue) est inférieure à 3°C et diminue. La température

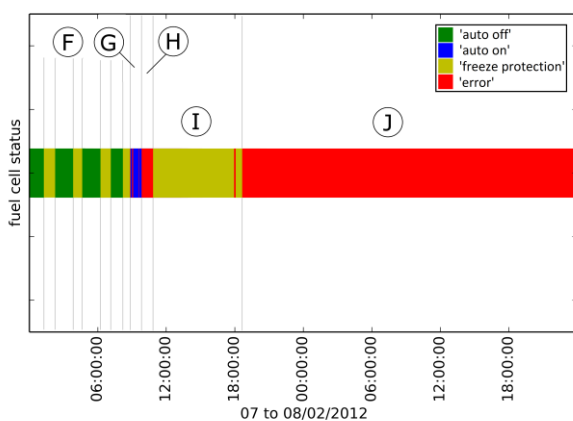
intérieure (Figure 3d, courbe verte) est légèrement supérieure, mais descend petit à petit jusqu'à atteindre la température de 3°C qui va faire démarrer le mode de fonctionnement de protection hors-gel (Figure 3a, phase E). Dans la première partie de cette phase, la pile démarre et entraîne une baisse de la tension de la batterie (Figure 3c, début phase E) car la pile ne fournit encore aucun courant de charge (Figure 3b, début phase E). Après une demi-heure, elle délivre un courant de charge proche de 700 mA qui entraîne un gain de chaleur de l'habitacle de l'ordre de 2°C (Figure 3d, courbe verte, fin phase E) et l'augmentation temporaire de la tension de la batterie (Figure 3c, fin phase E).

La consommation en méthanol pendant un tel évènement est inférieure à 0,004 l.

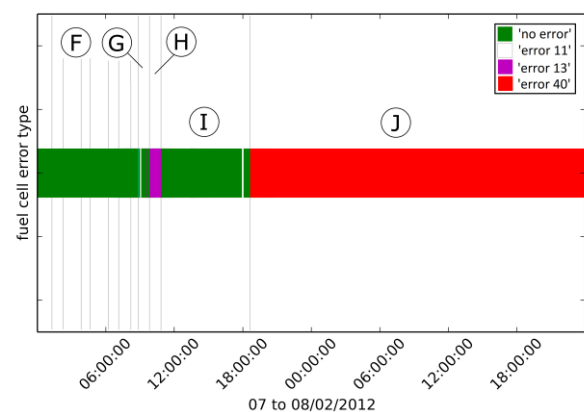
C. Dysfonctionnement pour températures hors limite

La protection « hors Gel », se met en route pour remonter la température ambiante, ce qui ne représente en général que de 2 °C. Si la température extérieure est excessivement faible, cette protection ne suffit pas à empêcher la chute de la température à 0°C, ce qui provoque le gel de l'eau dans le tube d'évacuation ainsi que la mise en erreur de la pile. Les mesures correspondant à l'hiver 2011/2012 très froid sur le site A illustrent un tel évènement (figures 4a à 4d).

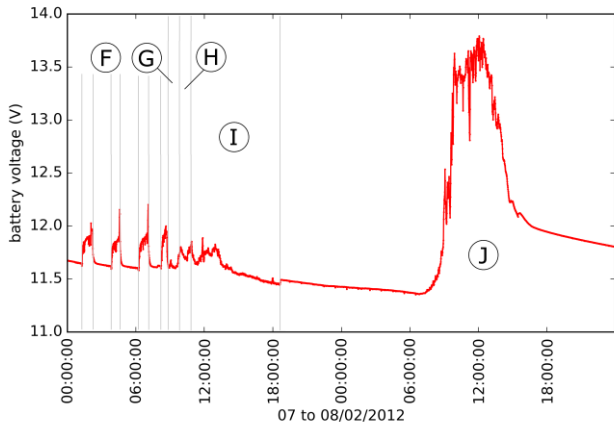
Avec une température extérieure extrêmement faible de l'ordre de -15 °C, la température de la caisse abritant la pile descend malgré son fonctionnement. Lorsque cette température se retrouve en dessous de 0°C, une succession de phases de mode de protection « hors gel » se met en place pour faire remonter la température de la pile (Figure 4a, phase F). Malgré cela, l'eau dans le tube d'évacuation gèle et bouche le tuyau d'évacuation entraînant l'évènement G incluant les erreurs « Exhaust hose blocked » (erreurs n° 11 et 18), puis l'évènement H avec l'erreur « Defect Component » (erreur n°13). Après une phase prolongée de fonctionnement en mode « protection hors-gel » avec une hausse de la température très faible de 2° C, la pile se met en mode erreur « Stack temperature below 3°C (possibly frozen) » (erreur n°40) pour ne jamais en sortir même lorsque la température passe au dessus de 0°C en milieu d'après-midi. La tension de batterie a régulièrement baissé devant le manque d'énergie solaire et l'impossibilité d'être rechargée par la pile à combustible en mode erreur. La pile est restée complètement gelée et un retour au laboratoire pour la dégeler lentement a été inévitable.



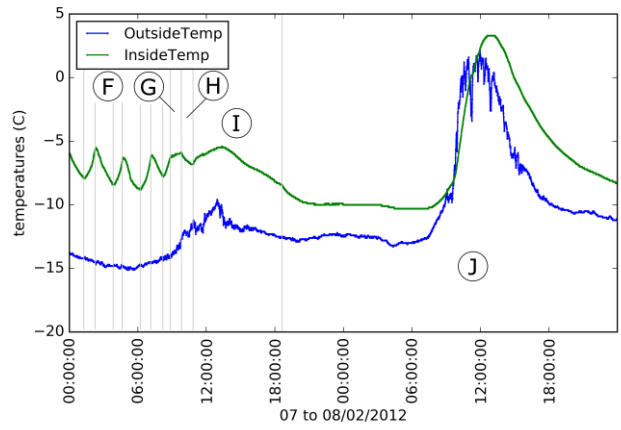
4a – Modes de fonctionnement de la pile



4b – Modes d'erreur de la pile



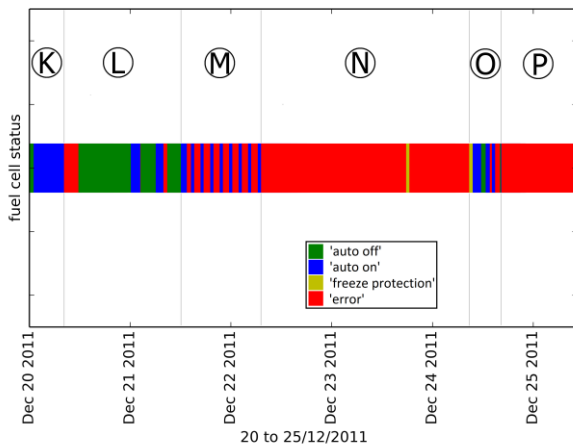
4c – Tension de la batterie



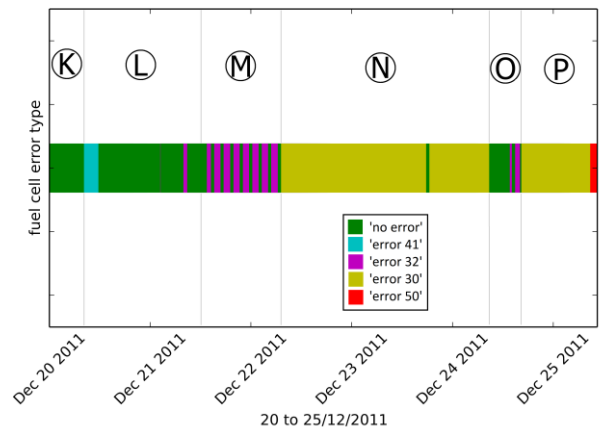
4d – Températures (intérieure et extérieure)

Figure 4 – Dysfonctionnement de la pile à basse température, Site A

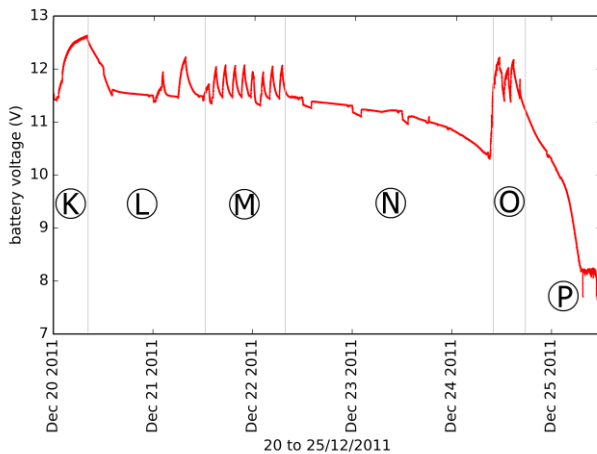
Afin d'éviter une telle situation, un essai d'isolation sans ventilation a été réalisé sur le site B (figures 5a à 5d):



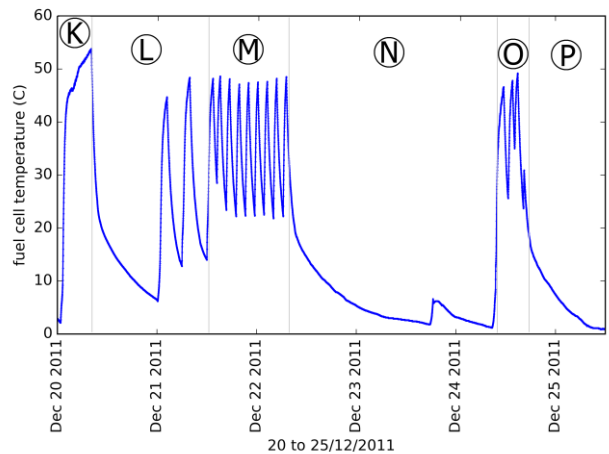
5a – Modes de fonctionnement de la pile



5b – Modes d'erreur de la pile



5c – Tension de la batterie



5d – Température intérieure

Figure 5 – Dysfonctionnement à une température haute, Site B

Sur ces graphiques, la mise en fonctionnement de la pile pour recharger la batterie à partir de $V_{SwitchOn} = 11,5 \text{ V}$ (Figure 5c, phase K) entraîne une hausse de la température interne si élevée (Figure 5d, phase K) que la pile se met en mode erreur « Ambient temperature over 45 °C » (erreur n°41) (Figure 5b, phase K). Lorsque la température ambiante redevient raisonnable, la pile est de nouveau opérationnelle (Figure 5a, phase L). Un fonctionnement normal apparaît avec quelques phases de mises en route de la pile (Figure 5a, phase M) qui entraînent de nouveau une hausse importante de la température ambiante et provoquent la mise en mode erreur « System temperature is too high » (erreur n°32) de la pile. La pile se met ensuite en mode erreur « Caused by operation at too high ambient temperatures ; lack of cooling air » (erreur n°30) (Figure 5a, phase N), ce qui ne permet plus de recharger la tension de la batterie qui baisse régulièrement (Figure 5c, phase N). La température ambiante repassant par une plage de fonctionnement du système, la pile à combustible sort de son mode « erreur » et re-démarre pour relever la tension de batterie (Figure 5c, phase O). La hausse de la température ambiante associée provoque une fois de plus la mise en erreur n°30 de la pile, ce qui entraîne à nouveau la baisse de la tension de la batterie non chargée par l'énergie solaire insuffisante et la pile à combustible en erreur jusqu'à ce que la batterie tombe en décharge profonde et que la pile à combustible affiche le mode erreur « Battery voltage under 9V » (erreur n°50).

D. Premier bilan

Suite à tous ces événements, la pile à combustible s'est toujours mise en erreur et une intervention humaine a été indispensable pour obtenir une reprise de fonctionnement normal. Selon la rapidité de l'intervention humaine, il y a eu une perte de données plus ou moins longue.

Il était donc nécessaire de trouver des solutions pratiques pour faire fonctionner la pile en milieu isolé tels que ceux présentés. C'est ce que nous présentons dans la suite de cet article.

V. Piste d'amélioration du fonctionnement de la pile

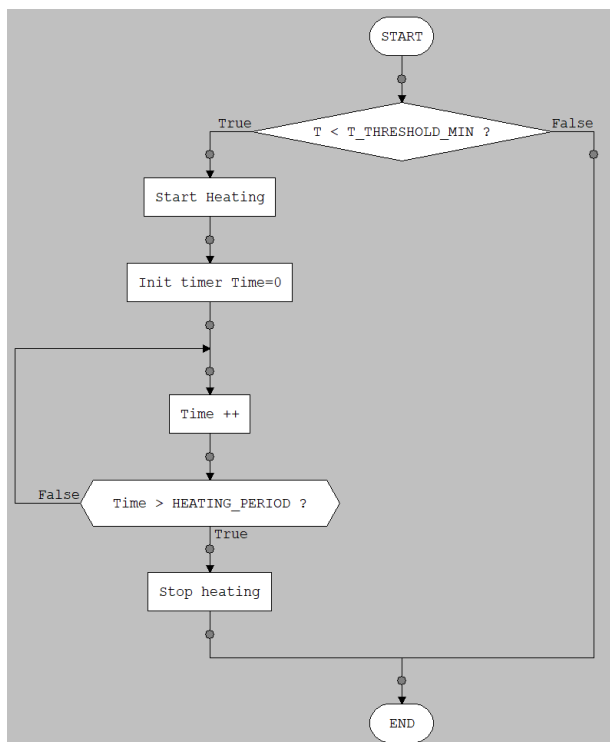
Pour fonctionner correctement en milieu isolé avec des risques de forts écarts de températures, il est préférable que :

- La pile à combustible ne soit jamais soumise à des températures assez basses pour tomber en mode erreur irréversible.
- Le tuyau d'évacuation de l'eau ne gèle pas.
- Le système puisse se relancer tout seul sans intervention humaine afin de préserver la prise des mesures scientifiques.

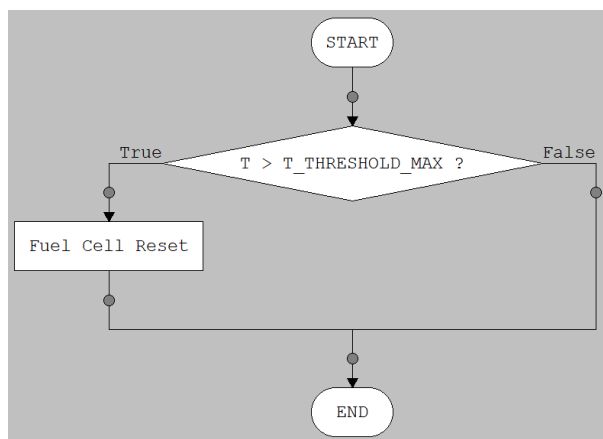
L'isolation de la pile a donc été améliorée par l'utilisation d'un isolant mince à l'intérieur de l'armoire ou de la caisse (sans l'isoler complètement, par une bouche d'aération), puis de rajouter un isolant autour du tuyau d'évacuation de l'eau avec entre le tuyau et l'isolant deux petits tapis chauffants de 1.25W sur la partie haute du tuyau (à la sortie de la pile à combustible) et sur la partie basse du tuyau (à la limite avec l'extérieur de la caisse) afin que ce tuyau ne gèle pas. Son fonctionnement est piloté par le même datalogger que celui utilisé pour enregistrer le fonctionnement de la pile. Pour vérifier les temps de fonctionnement du tapis chauffant, un capteur de température (UpPipeTemp) a été ajouté avec le tapis.

A. Séquences automatiques

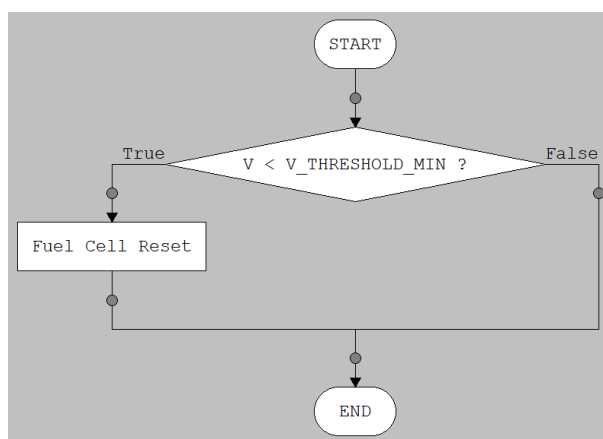
Pour assurer le redémarrage automatique de la pile lors d'une mise en erreur et le rétablissement d'une température de fonctionnement, des séquences spécifiques ont été créées dans le datalogger de pilotage (Figures 6a à 6c).



6a - Séquence 1



6b - Séquence 2



6c - Séquence 3

Figure 6 – Séquences programmées pour piloter la pile à combustible de manière autonome

La séquence 1 déclenche l'alimentation des tapis chauffants lorsque la température de la pile est au dessous de la température de seuil $T_THRESHOLD_MIN$ pendant un temps programmé $HEATING_PERIOD$ pour éviter que le tube d'évacuation gèle.

La séquence 2 déclenche un reboot de la pile lorsque la température de la pile est au dessus de la température de seuil $T_THRESHOLD_MAX$ pour éviter que la pile se mette en mode erreur pour une température trop élevée.

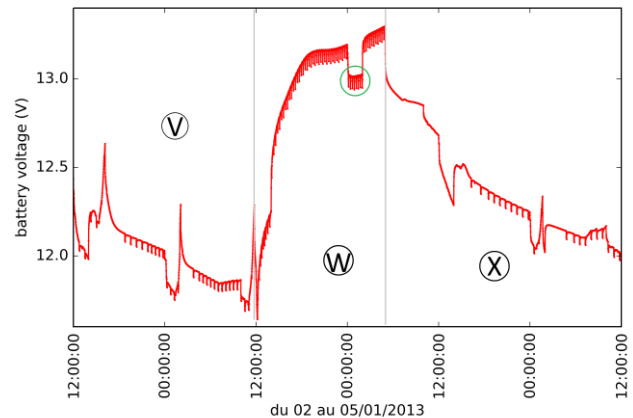
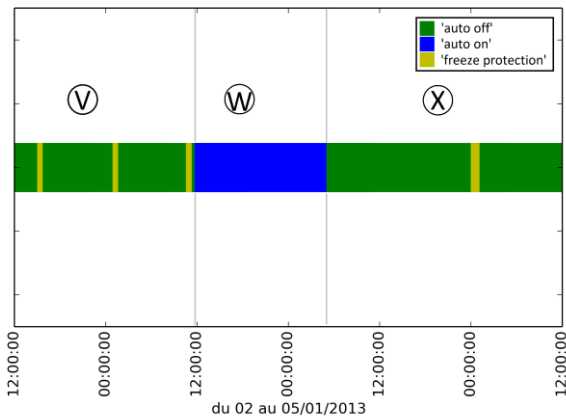
La séquence 3 déclenche un reboot de la pile lorsque la tension de la batterie est en dessous de la tension de seuil $V_THRESHOLD_MIN$, inférieure à la tension de déclenchement de la pile en mode normal, pour sortir la pile du mode erreur.

Sur les sites d'expérimentations, les configurations de ces tâches ont été choisies avec les paramètres suivants : $SEQ1_PERIOD=SEQ2_PERIOD=15$ minutes et la séquence 3 est programmée toutes les $SEQ3_PERIOD=1$ heure, $T_THRESHOLD_MIN=5^{\circ}C$, $HEATING_PERIOD=2$ minutes, $T_THRESHOLD_MAX=40^{\circ}C$, $V_THRESHOLD_MIN=11V$.

B. Fonctionnement autonome

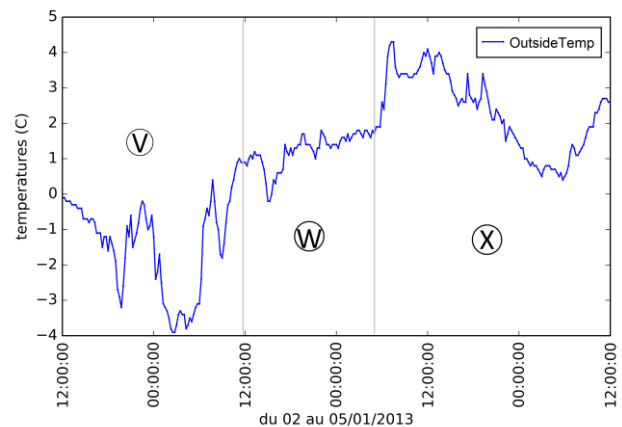
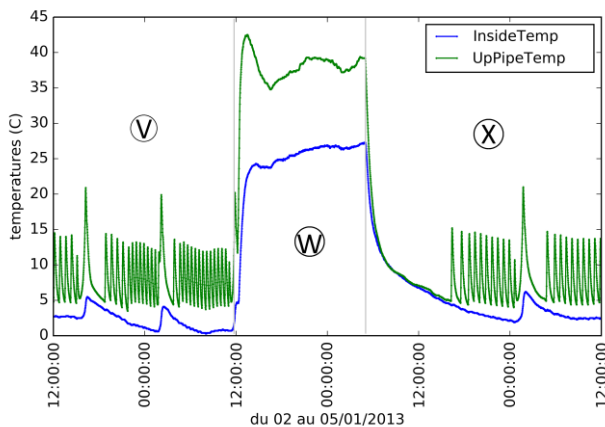
Ces séquences de sureté ont été utilisées à partir de Novembre 2012 sur les sites B et C. Sur le site C, les conditions environnementales étaient moins extrêmes que sur le site B. C'est donc sur le site B que les évènements les plus significatifs sont apparus et sont représentés dans les graphiques suivants.

Grace à ces séquences, le système d'acquisition a fonctionné en totale autonomie tout l'hiver 2012-2013 en anticipant ou gérant de manière automatique les difficultés de fonctionnement qui sont apparues (figures 7a à 7d).



7a – Modes de fonctionnement de la pile

7b – Tension de la batterie



7c – Températures (intérieure et sur le tuyau d'évacuation)

7d – Température extérieure

Figure 7 – Fonctionnement autonome de pilotage de la pile à combustible, Site B

Sur ces graphiques, l'alimentation des tapis chauffants apparaît à plusieurs reprises pour une température inférieure à la température de seuil de 5 °C programmée dans les séquences (Figure 7c, courbe bleue, phase V). Une succession de phases de fonctionnement de la pile à combustible en mode protection hors-gel apparaît également (Figure 7a, phases V et X).

Lorsque la mesure de tension de la batterie devient inférieure à 11,5 V (Figure 7b, phase V), la pile à combustible se met bien en route en fonctionnement normal pour recharger la batterie (Figure 7a, phase W).

La baisse de la tension observable pendant 2 heures (Figure 7b, cercle vert) pendant la période de recharge par la pile est due à l'alimentation programmée du module de télécommunication. La température ambiante est remontée bien au-delà de la température de seuil et le fonctionnement de chauffage toutes les 15 minutes a été coupé.

La tension de 13,5V atteinte, la pile à combustible arrête de recharger la batterie (phase X). On retrouve le fonctionnement normal de surveillance de la température ambiante trop basse.

La courbe de la température extérieure (figure 7d) permet de confirmer l'environnement difficile dans lequel se trouvait la station d'acquisition. Le système d'alimentation a bien fonctionné tout l'hiver malgré des températures extérieures basses. Les séquences de sureté ont donc parfaitement rempli leur rôle.

VI. L'intérêt du monitoring en temps réel ?

Un tel système d'alimentation placé en milieu isolé peut être relié à un système de télécommunication. Celui-ci peut permettre de piloter en temps réel le système d'alimentation, et même si les séquences de sureté lui permettent une autonomie, il est utile de pouvoir vérifier son fonctionnement ou agir directement à distance.

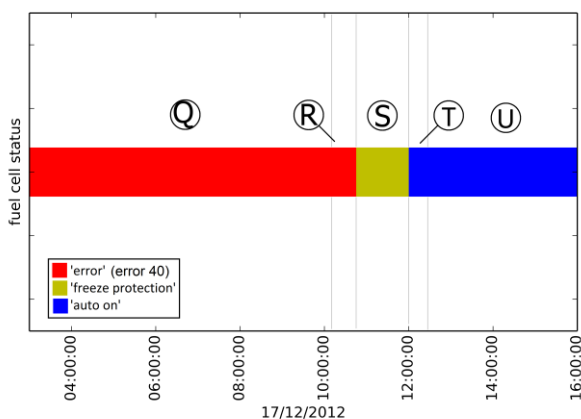
A. Résolution de problèmes à distance

En décembre 2012, après une intervention sur le site B et de retour au laboratoire, le système étant téléométré, sa connexion à distance a pu être réalisée.

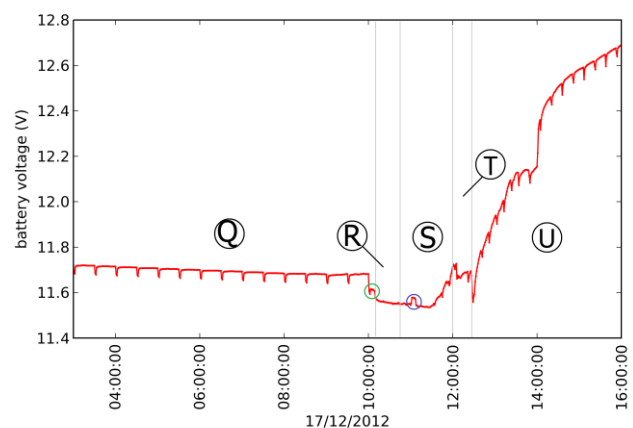
La pile s'était rapidement mise en mode erreur car la température intérieure était déjà en dessous de 0 °C suite à une durée trop importante de l'ouverture de la caisse lors de l'intervention dans des conditions avec une température externe négative.

La protection « hors-gel » de la pile n'a pas suffi. Elle s'est rapidement mise en erreur « Error caused by ambient temperature below 3 °C (possibly frozen) » (erreur n°40).

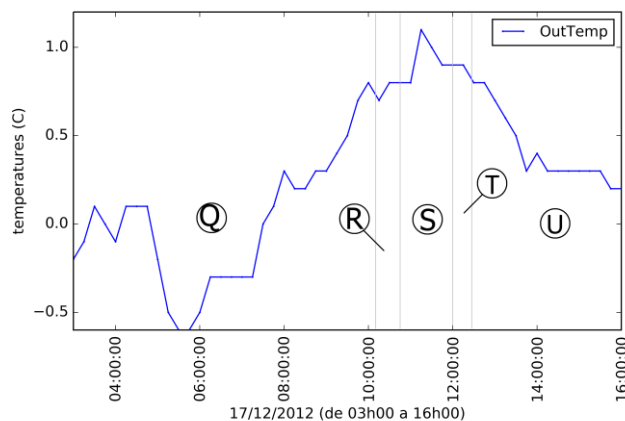
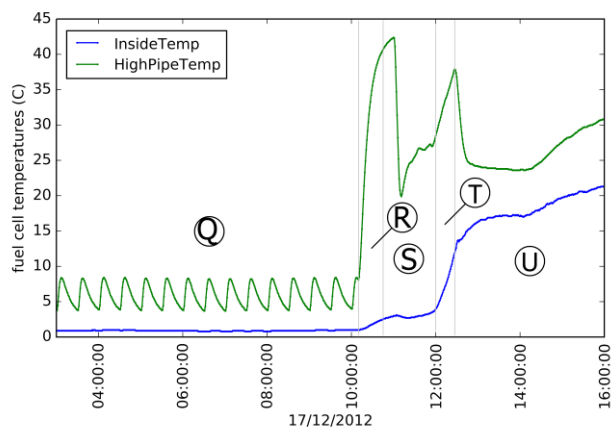
Connecté à distance, le comportement de cette solution automatique face à un tel problème a pu être observé ainsi que ses limites :



8a – Modes de fonctionnement de la pile



8b – Tension de la batterie



8c – Températures (intérieure et sur le tuyau d'évacuation)

8d – Température extérieure

Figure 8 – Résolution à distance d'une erreur de la pile à combustible, Site B

Le système automatique de chauffage de la partie haute du tuyau d'évacuation semble fonctionner, entraînant des hausses temporaires de la température (Figure 8c, courbe verte, phase Q) mais la pile reste dans son mode d'erreur. Cet échec de la sortie du mode d'erreur de la pile est peut-être dû à un temps de chauffage HEATING_PERIOD configuré trop faible pour les températures atteintes sur ce site.

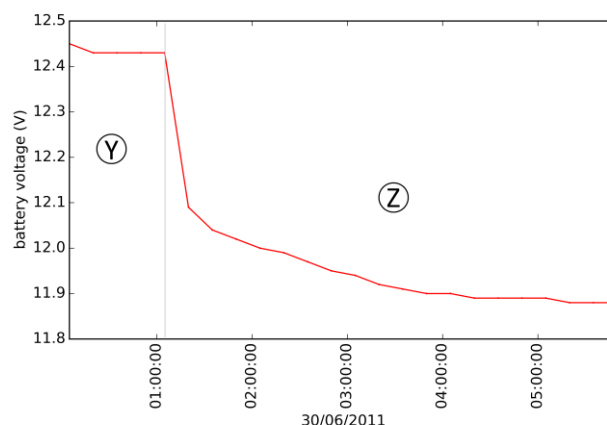
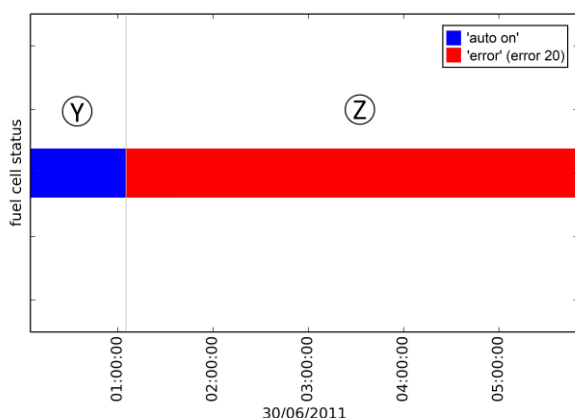
A partir de 10h T.U., l'alimentation programmée du module de télécommunication s'est activée comme le montre la chute de la tension de la batterie (Figure 8b, cercle vert). Il a été décidé d'activer à distance l'alimentation du tapis chauffant. La température de la partie haute du tuyau d'évacuation de l'eau de la pile à combustible a augmenté (Figure 8c, courbe verte, phase R) sans pour autant dégeler complètement la pile. Au bout de 45 minutes, la pile à combustible est sortie de son mode d'erreur. Elle s'est mise en mode « protection hors-gel » car la température de la malle était encore en dessous de 3°C (Figure 8c, courbe bleue, phase S). Le tapis chauffant étant toujours alimenté (et donc à chauffer), la température au niveau du tapis a augmenté jusqu'à 40°C où selon la séquence 2, un reboot de la pile a été provoqué. A son redémarrage, la pile à combustible s'est remise dans un fonctionnement normal car la tension était encore légèrement en dessous de la tension de seuil VSwitchOn = 11,5 V et la recharge de la batterie par la pile a démarré. L'augmentation de la température de la partie haute du tuyau d'évacuation (Figure 8c, courbe verte, phase T) est essentiellement due au fonctionnement du tapis chauffant encore alimenté par sécurité. La courbe de la température extérieure (Figure 8d) permet de confirmer les conditions difficiles dans lesquelles le système d'acquisition se trouvait.

Le système a ensuite parfaitement fonctionné et a permis l'acquisition des données pendant toute la période d'hiver.

B. Suivi du consommable

Une pile à combustible fonctionne automatiquement grâce à un bidon de méthanol. Il existe plusieurs quantités de méthanol utilisables selon les besoins et la place dans la malle abritant la pile. S'il n'y a plus de consommable, le système ne peut plus fonctionner.

Il est important de pouvoir avoir des informations sur la quantité de méthanol consommée et celle encore disponible à distance pour anticiper le niveau à vide du méthanol. Lorsque la pile détecte qu'il n'y a plus de méthanol, elle passe en erreur « Please change fuel cartridge » (error 20) (figures 9a à 9b) :



9a – Modes de fonctionnement de la pile

9b – Tension de la batterie

Figure 9 – Mise en erreur de la pile à combustible par manque de combustible, Site A

La pile à combustible donne l'information de l'énergie cumulée utilisée. Si l'énergie cumulée est notée lors de l'installation du bidon et lors des interventions, le suivi permet d'établir un rapport entre l'énergie utilisée et la quantité de méthanol consommée peut être établi.

Dans le cas du système mis en place sur les 3 sites, un bidon complet de 10l correspond à une énergie de 10000Wh. En récupérant régulièrement ces données à distance, le manque de consommable dans le bidon pourra être estimé et une intervention programmée.

Les enregistrements issus de la pile à combustible permettent de faire le lien entre la quantité de méthanol utilisée et l'énergie (Wh) fournie par la pile.

Ainsi, l'expérience sur les 3 sites a montré qu'un fonctionnement pour tension basse de 1 h a dépensé 0,025 l de méthanol, et un fonctionnement en protection hors-gel 0,004 l.

Compter le nombre de ces événements permet d'en déduire quotidiennement la quantité de méthanol consommée ainsi que celle restante.

VII. Conclusion

L'utilité d'une pile à combustible au méthanol pour l'acquisition de données scientifiques sur un site d'observation non suffisamment alimenté par toute autre énergie est indéniable et nous a permis à plusieurs reprises d'acquérir des données indispensables pendant plusieurs hivers difficiles.

Par contre, durant 3 années (de 2011 à 2014) d'utilisation d'une telle pile n'a pas été facile. Ces années d'expérimentation ont bien démontré qu'une telle installation dépendait de chaque site et devait être bien préparée en amont.

Du côté de l'installation de la pile, il est difficile mais fondamental de trouver un bon compromis entre l'isolation et l'aération du système.

Il est très utile de connecter la pile à combustible à un datalogger (Campbell CR1000, Controlord Gigalog S, cartes Arduino/Raspberry, ...) pour pouvoir anticiper et résoudre quelques situations entraînant rapidement un dysfonctionnement de la pile.

Enfin, certaines erreurs de fonctionnement de la pile à combustible ne peuvent pas être résolues automatiquement. Il est important de disposer d'une communication au moins quotidienne pour agir à distance, avoir connaissance de dysfonctionnement et de prévoir si nécessaire une intervention humaine afin d'éviter toute coupure d'acquisition de données scientifiques.

Remerciements

Les auteurs souhaitent remercier les chercheurs qui ont leur ont donné l'occasion d'utiliser ce type d'alimentation sur leurs sites d'études : Laurent Baillet, Pierre Bottelin, Denis Jongmans, Agnès Helmstetter et François Thouvenot.

Les auteurs remercient Jacques Roule (Météo France, Grenoble) et le service d'Observation d'ISTerre pour le prêt de leur pile à combustible ayant permis l'expérimentation simultanée sur plusieurs sites de suivi de glissement de terrain.

Bibliographie

L. Darras, A. Mariscal. Le monitoring énergétique pour les systèmes d'acquisition en milieu naturel difficile, Collection Edytem – Monitoring en milieux naturels : retours d'expériences en terrains difficiles, n°19, pp 19-24, 2017.

<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01676518>

A. Helmstetter, G. Janex. Ecoute sismique et acoustique du mouvement de terrain de Séchillienne (Massif de Belledonne), Collection Edytem – Monitoring en milieux naturels : retours d'expériences en terrains difficiles, n°19, pp 271-278, 2017.

ftp://ist-ftp.ujf-grenoble.fr/users/helmstea/PAP/Helmstetter_Janex_edytem2017.pdf

F. Heid, EFOY Pro Fuel Cell Solutions for Cold Climates, Seismic Instrumentation Technology Symposium, IRIS, Albuquerque, New Mexico, USA, 2013

<http://www.iris.edu/hq/files/workshops/2013/06/mon/Heid.pdf>

S. Harrache, **L. Darras**, P. Ulrich, M. Vidal, L. Favereau, G. Bièvre, 2013. Récupération de données des stations Campbell de type CR1000 & Davis Vantage Pro 2 par drivers en langage Python, Poster, *Journées Aléas Gravitaires*, Sept 2013, Grenoble, France.

<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01467191>