



# GUIDE DE MAINTENANCE DES STATIONS SOLAIRES ET MÉTÉOROLOGIQUES DU RÉSEAU IOS-NET

IOS-net (Indian Ocean Solar Network) : Projet de coopération régionale, co-financé par l'Union Européenne, la Région Réunion et la COI, pour une meilleure gestion des ressources renouvelables dans les pays du Sud-Ouest de l'Océan Indien : Les Comores, Madagascar, Maurice et Les Seychelles.



Date : 19 septembre 2022

Morgane GOULAIN  
Patrick JEANTY

---

## Acronymes

IOS-net	Indian Ocean Solar Network
ENERGY-Lab	Laboratoire d'Énergétique, d'Électronique et Procédés
COI	Commission de l'Océan Indien
ANACM	Agence Nationale de l'Aviation Civile et de la Météorologie des Comores
DGM	Direction Générale de la Météorologie de Madagascar
MMS	The Mauritius Meteo Services
SMA	The Seychelles Meteorological Authority
GHI	Global Horizontal Irradiance (Rayonnement solaire global)
DHI	Diffuse Horizontal Irradiance (Rayonnement solaire diffus)
MCF	Maître de conférence
HDR	Habilitation à Diriger les Recherches

## Contacts ENERGY-Lab

Équipe IOS-net [ios-net@univ-reunion.fr](mailto:ios-net@univ-reunion.fr)

Patrick JEANTY Ingénieur métrologie solaire, en charge des dispositifs expérimentaux  
[patrick.jeanty@univ-reunion.fr](mailto:patrick.jeanty@univ-reunion.fr)

Christian BROUAT Technicien métrologie solaire  
[christian.brouat@univ-reunion.fr](mailto:christian.brouat@univ-reunion.fr)

Béatrice MOREL MCF/HDR responsable de l'axe de recherche "Gisement Solaire"  
[beatrice.morel@univ-reunion.fr](mailto:beatrice.morel@univ-reunion.fr)

Mathieu DELSAUT Ingénieur calculs scientifiques  
[mathieu.delsaut@univ-reunion.fr](mailto:mathieu.delsaut@univ-reunion.fr)

Morgane GOULAIN Coordinatrice technique et scientifique IOS-net  
[morgane.goulain@univ-reunion.fr](mailto:morgane.goulain@univ-reunion.fr)

Site du projet <https://galilee.univ-reunion.fr/>



# Sommaire

<b>1 Équipements de la station</b>	<b>3</b>
1.1 Instruments de mesure . . . . .	3
1.2 Système d'acquisition . . . . .	4
1.3 Alimentation électrique . . . . .	5
1.4 Support physique . . . . .	7
<b>2 Consignes de sécurité</b>	<b>8</b>
2.1 Instruments de mesure . . . . .	8
2.2 Système d'acquisition . . . . .	8
2.3 Alimentation électrique . . . . .	8
2.4 Support physique . . . . .	8
<b>3 Maintenance préventive</b>	<b>9</b>
3.1 Instruments de mesure . . . . .	9
3.2 Système d'acquisition . . . . .	10
3.3 Alimentation électrique . . . . .	11
3.4 Support physique . . . . .	11
<b>4 Dépannage</b>	<b>12</b>
<b>A Annexes</b>	<b>14</b>
A.1 Procédure d'arrêt de l'éolienne . . . . .	14
A.2 Procédure de redémarrage de la CR1000X . . . . .	14

# 1 Équipements de la station

Les stations sont le fruit d'une dizaine d'années d'expérience acquise par le ENERGY-Lab en matière de métrologie solaire. Une station type peut être décomposée en quatre parties distinctes : les instruments de mesure (1.1), le système d'acquisition (1.2), l'alimentation électrique (1.3) et le châssis ou le support physique (1.4).

## 1.1 Instruments de mesure

Les stations d'IOS-net sont équipées de trois capteurs de mesures au sol des grandeurs solaires et météorologiques (cf figure 1 et 2) :

- Un **transmetteur météorologique** 6-en-1, le WXT530, qui mesure la température, la pression atmosphérique, l'humidité relative, la pluviométrie, la vitesse et la direction du vent
- Un **pyranomètre** 2-en-1, le SPN1, qui mesure simultanément les irradiances solaires horizontales globale (GHI) et diffuse (DHI).
- Un **radiomètre UV**, le SUV5, qui mesure le niveau d'énergie solaire sur la bande UV A+B.

Les capteurs sont éloignés les uns des autres pour éviter les problèmes d'ombrage et de réflexions lumineuses ou spectrales (cf figure 2).



FIGURE 1 – Capteurs de mesure (de gauche à droite) : SPN1, WXT530 et SUV5.

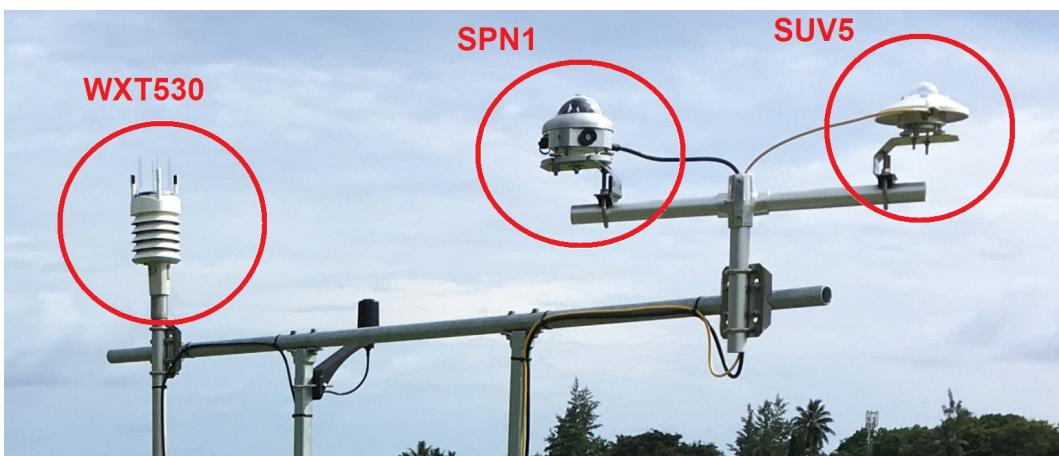


FIGURE 2 – Capteurs installés sur les stations.

Capteurs	Modèle et fournisseur	Grandeur mesurée	Unité
Pyranomètre	SPN1 de <i>Delta-T Devices</i>	Rayonnement global (GHI) Rayonnement diffus (DHI)	W/m <sup>2</sup> W/m <sup>2</sup>
Radiomètre UV	SUV5 de <i>Kipp &amp; Zonen</i>	Rayonnement UV (A+B)	W/m <sup>2</sup>
		Température	°C
		Pression	hPa
Transmetteur météorologique	WXT530 de <i>Vaisala</i>	Humidité relative Vitesse du vent Direction du vent	% m/s °
		Pluviométrie	mm (eau)

FIGURE 3 – Capteurs météorologiques et grandeurs mesurées

## 1.2 Système d'acquisition

Le **coffret Legrand**, gris et étanche, contient le système d'acquisition et s'ouvre avec la clef en plastique (cf figure 4). Il est équipé d'ouïes d'aération afin de ventiler le coffret et éviter la condensation à l'intérieur (cf figure 5). Il est également équipé de presse-étoupes qui assurent l'étanchéité au niveau des entrées des câbles (cf figure 5).



FIGURE 4 – Système d'acquisition (de gauche à droite) : coffret étanche et sa clef, centrale d'acquisition CR1000X et module de transmission des données COM111.

Le coffret contient les équipements suivants (cf. figure 4) :

- Une **centrale d'acquisition CR1000X** de *Campbell Scientific*, basse consommation et robuste. Elle peut être configurée grâce au logiciel **Device Configuration Utility**. Actuellement, un programme écrit par ENERGY-Lab a été importé sur la centrale d'acquisition pour la paramétriser. Ainsi, elle réalise une acquisition toutes les 10 secondes et calcule une valeur moyennée à la minute de chaque paramètre (cf table 1).
- Un **module de transmission 2G-3G**, le **COM111** de *Campbell Scientific*, équipé d'une carte SIM. Il communique en temps réel les données à l'Université de La Réunion où se trouvent les serveurs de stockage des données. Afin de capter le réseau mobile, le module est relié à une antenne de transmission installée sur le mât de la station (cf figure 5).
- Une **carte mémoire microSD** de 2Gb, qui permet de stocker une douzaine de mois de données. Il s'agit d'une solution de secours si la station n'arrive plus à transmettre les données via le réseau mobile (défaillance du module de transmission par exemple).
- L'**afficheur du régulateur solaire** (cf section 1.3) de *Victron Energy* qui permet de contrôler l'état du système : puissance produite par le PV, tension de la batterie, courant de charge..
- Un thermocouple permettant de mesurer la température interne du coffret (câble vert et blanc branché sur la CR1000X, cf figure 5).

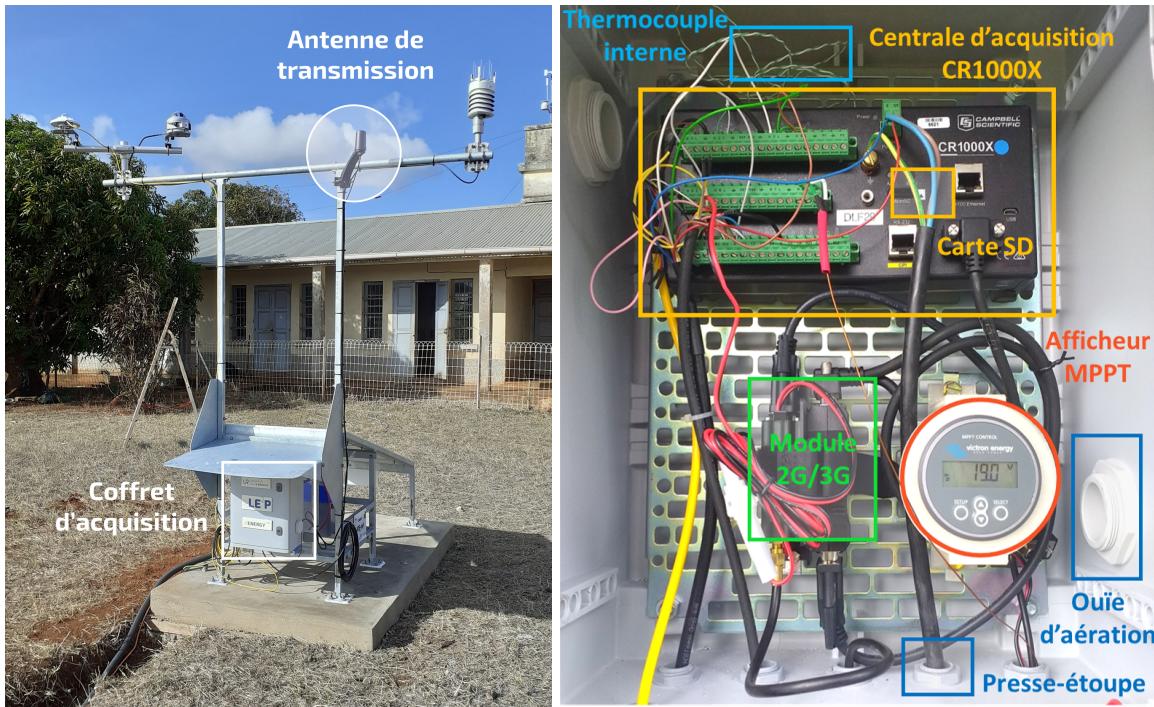


FIGURE 5 – A gauche : Coffret d'acquisition et antenne de transmission. A droite : intérieur du coffret d'acquisition.

Acquisition	1 acquisition toutes les 10s
Agrégation	1 valeur moyenne par minute
Communication	Données transmises par le réseau mobile 2G à chaque acquisition (10s)
Quantité de données	1440 mesures pour un paramètre chaque jour

TABLE 1 – Paramètres d'acquisition et de transmission des données.

### 1.3 Alimentation électrique

La station est entièrement autonome en énergie grâce à un panneau solaire photovoltaïque (et une éolienne pour certaines stations). La partie alimentation de la station comprend (cf figure 6) :

- Un **panneau solaire photovoltaïque** polycristallin 160W, 12V de *Futurasun*.
- Une **batterie solaire** 20A, 12V de *EFFEKTA*.
- Un **coffret d'alimentation** avec un couvercle bleu, sanglé (cf figure 7).
- Un **régulateur solaire MPPT 75|15 de Victron Energy**. Il permet une gestion intelligente de la batterie. L'afficheur du régulateur se trouve dans le coffret d'acquisition gris (section 1.2).
- Un **thermocouple de type K**, situé sous le panneau solaire permet de contrôler sa température. (cf figure 7).
- Pour certaines stations, une éolienne girouette domestique 80W, 12V. L'expérience a cependant montré que le panneau solaire suffisait à alimenter la station.



FIGURE 6 – Alimentation électrique (de gauche à droite et de haut en bas) : coffret batterie, PV, éolienne, batterie, régulateur et afficheur.



FIGURE 7 – A gauche : coffret d'alimentation contenant la batterie et le régulateur solaire. A droite : thermocouple sous le panneau solaire.

## 1.4 Support physique

Le support physique de la station comprend les éléments suivants (cf figure 8) :

- Un **châssis en métal**, qui assure le lien entre les trois parties décrites précédemment : les instruments de mesure, le système d'acquisition et l'alimentation électrique. Les lieux d'installation étant proches de la mer dans des régions de climat tropical, le châssis est en acier galvanisé à chaud afin de limiter la corrosion.
- Une **dalle en béton** permet d'ancrer la station pour qu'elle résiste à des conditions météorologiques extrêmes (rafales de vent, fortes pluies, cyclones, ...)
- Un **système de mise à la terre** sur un flanc de la dalle de béton permet de relier les instruments et les appareils électriques à la terre en cas de foudre.



FIGURE 8 – A gauche : châssis en acier galvanisé à chaud. A droite : dalle en béton et système de mise à la terre.

---

## **2 Consignes de sécurité**

Les consignes de sécurité sont énumérées dans cette partie. Ces indications doivent être respectées pour assurer la sécurité des personnes autour des stations, ainsi que la longévité des équipements.

### **2.1 Instruments de mesure**

- Ne pas couvrir ou ombrager les instruments de mesure
- Ne pas déplacer les instruments de mesure sur la barre latérale, leur position a été déterminée pour éviter les problèmes d'ombrage et de réflexions.
- Ne pas toucher les dômes en verre avec autre chose qu'un chiffon doux et propre.
- N'utiliser que de l'eau pour nettoyer les instruments. Pas de produits d'entretien contenant des substances chimiques.
- Ne pas déconnecter les câbles. Le câble du thermocouple sous le panneau PV est fragile.
- Ne pas toucher les trois têtes de capteurs de vent à ultrasons du WXT, elles sont fragiles.

### **2.2 Système d'acquisition**

- Pour ouvrir le coffret d'acquisition, n'utilisez que la clé fournie lors de l'installation (cf figure 4).
- Les ouïes d'aération du coffret sont fragiles : manipulez-les avec précaution.

### **2.3 Alimentation électrique**

- Le coffret batterie doit toujours être correctement sanglé au châssis.
- Ne pas toucher la surface du panneau PV avec autre chose qu'un chiffon doux.
- Ne pas déconnecter le PV ou la batterie, sauf pour remplacer un des équipements.
- Ne pas éteindre l'interrupteur de l'éolienne avant son ralentissement (voir procédure d'arrêt de l'éolienne en annexe A.1)

### **2.4 Support physique**

- Ne pas monter sur le châssis, le mât ou la casquette du coffret d'acquisition.
- Ne pas percer le châssis, le mât et les platines.
- Ne pas retirer les vis, boulons et rondelles entre les parties.



### 3 Maintenance préventive

Les éléments de maintenance préventive sont listés dans cette partie. Ces instructions permettent d'assurer le suivi et la fiabilité des équipements, ainsi que la qualité des données transmises. La maintenance est à effectuer tous les 2 à 3 mois, de préférence en dehors des heures de fort ensoleillement pour ne pas trop perturber les mesures, idéalement tôt le matin ou tard le soir.

L'ensemble des opérations de maintenance EST illustrée dans la vidéo "[Maintenance préventive](#)" disponible sur la chaîne YouTube du ENERGY-Lab ou sur la clef USB IOS-net. Un petit livret plastifié a également été mis à disposition des techniciens pour rappeler les principales opérations de maintenance.

#### 3.1 Instruments de mesure

Concernant les instruments de mesures, l'objectif est de vérifier leur état général (dégradations diverses, rayures, craquelures), de nettoyer les capteurs, de vérifier le serrage mécanique des différentes pièces ainsi que la bonne connexion des câbles. La liste des vérifications à effectuer est donnée dans le tableau 2 ci-dessous.

Élément	Action
Pyranomètre SPN1	Vérifier qu'il n'y ait pas de rayures ou craquelures sur le dôme. Contacter le laboratoire en cas de dégradations.
	Nettoyer le dôme en verre avec un chiffon doux.
	Vérifier l'intégrité du bouchon du port numérique.
	Vérifier le serrage du câble d'alimentation.
	Vérifier l'horizontalité grâce au niveau à bulle. Si besoin, refaire le niveau grâce aux vis moletées (voir vidéo youtube " <a href="#">Réglages SPN1</a> ").
Radiomètre SUV5	Vérifier l'état de la cartouche de dessiccant. Si l'indicateur 50% est décoloré elle doit être changée (voir vidéo youtube " <a href="#">Réglages SPN1</a> ").
	Vérifier qu'il n'y ait pas de rayures ou craquelures sur le dôme. Contacter le laboratoire en cas de dégradations.
	Nettoyer le dôme en verre avec un chiffon doux.
Transmetteur météorologique WXT	Nettoyer le dôme en métal avec un chiffon doux.
	Vérifier qu'il n'y ait pas d'insectes entre les coupelles du WXT (attention lors du nettoyage à ne pas endommager l'appareil avec un ustensile pointu).
	Vérifier l'azimut : la flèche sous l'appareil doit pointer vers le Nord géographique ou Nord Vrai (voir table 3).
Thermocouple sous le PV	Vérifier l'adhérence de la sonde au panneau.
	Vérifier l'état et la bonne connexion du câble.

TABLE 2 – Consignes de maintenance préventive concernant les instruments de mesure.

La **cartouche de dessiccant** du pyranomètre **SPN1** doit être changée lorsque l'indicateur 50% est décoloré, soit tous les 2 ans environ. Pour plus de détails sur comment changer la cartouche, voir la vidéo "[Réglages SPN1](#)" disponible sur la chaîne YouTube du ENERGY-Lab ou sur la clef USB IOS-net.

Il est important que la flèche sous le transmetteur météorologique **WXT** pointe vers le **Nord géographique** ou **Nord vrai** pour la mesure de la direction du vent. Le Nord géographique s'obtient à partir du Nord magnétique, donné par une boussole, corrigé de la déviation magnétique. Cette correction est fonction du lieu et varie dans le temps. Elle est donnée dans la table 3 pour 2019, années où les stations ont été installées. Elle peut s'obtenir grâce à des calculateurs en ligne comme : <https://ngdc.noaa.gov/geomag/calculators/magcalc.shtml#declination>.

Dans la zone du Sud-Ouest de l'Océan Indien, le Nord géographique est à droite du Nord magnétique lorsque l'on regarde vers le Nord. Attention à bien éloigner la boussole de toute structure métallique comme le châssis qui pourrait perturber la mesure.

Évitez les applications sur smartphone pour déterminer le Nord géographique, le réglage est moins précis et le capteur est beaucoup plus perturbé par son environnement qu'une boussole classique. Si toutefois vous n'avez pas d'autres solutions, préférez l'utilisation de l'application "Smart compass".

Station	Déviation magnétique Ouest
Hahaya	6.5 °
Ouani	7.3 °
Antananarivo	15.4 °
Antsiranana	8.9 °
Anse Boileau	5.0 °
Amitie	4.8 °
Vacoas	18.2 °

TABLE 3 – Déviation magnétique lors de l'installation des stations en 2019. Attention ces valeurs sont susceptibles de varier dans le temps.

### 3.2 Système d'acquisition

Concernant le système d'acquisition, l'enjeu principal est de s'assurer que le coffret est bien étanche et que les appareils qu'il contient sont bien protégés de l'humidité. La liste des vérifications à effectuer est donnée dans la table 4 ci-dessous.

Élément	Action
Coffret d'acquisition	Vérifier l'étanchéité du coffret (présence d'eau ou d'insectes). Contacter le laboratoire en cas de problème.
	Vérifier l'état du joint de porte.
	Vérifier le serrage des presse-étoupes.
	Vérifier le serrage des ouïes d'aération.
	Vérifier la bonne connexion des câbles à la CR1000X.
	Vérifier que la tension de la batterie est bien supérieure à 12V. Si non, c'est qu'elle doit être changée.
	Vérifier qu'il n'y ait pas de dépôts chimiques au niveau des bornes de la batterie et que les vis aux bornes sont bien serrées.
	Vérifier la bonne fixation de l'antenne GPRS au châssis.

TABLE 4 – Consignes de maintenance préventive concernant le système d'acquisition

### 3.3 Alimentation électrique

Concernant le système d'alimentation, il faut s'assurer que la surface du PV reste en bon état et veiller à l'étanchéité du coffret d'alimentation. La liste des vérifications à effectuer est donnée dans le tableau 5 ci-dessous.

Élément	Action
Panneau Photovoltaïque	Vérifier qu'il n'y ait pas de rayures ou dégradations sur la surface du PV.
Coffret d'alimentation	Nettoyer le PV avec de l'eau et un chiffon doux.
Coffret d'alimentation	Vérifier l'étanchéité du coffret alimentation (eau, insecte).
d'alimentation	Ajouter du mastic si nécessaire pour assurer l'étanchéité.

TABLE 5 – Consignes de maintenance préventive concernant la partie alimentation électrique

### 3.4 Support physique

Concernant le support physique (châssis), l'objectif est de s'assurer de sa durabilité : serrage des vis et boulons, présence de corrosion, état des câbles ... La liste des vérifications à effectuer est donnée dans le tableau 6 ci-dessous.

Élément	Action
Châssis	Vérifier le serrage des vis et des boulons.
	Chercher des points de corrosion.
	Vérifier l'état des câbles et leur fixation.

TABLE 6 – Consignes de maintenance préventive concernant le châssis.



FIGURE 9 – Opérations de maintenance préventive

## 4 Dépannage

Pour rappel, vous pouvez consulter en temps réel les données des stations sur l'application SolarIO accessible depuis le site Internet du projet : <https://galilee.univ-reunion.fr/>. Cela permet de vérifier qu'aucune donnée n'est manquante ou aberrante. Si la station n'apparaît pas sur SolarIO, plusieurs causes sont possibles : défaut d'alimentation de la station, non acquisition des données, communication coupée, ... Les indications ci-dessous vous donneront quelques pistes pour identifier les pannes les plus fréquemment rencontrés. En cas de difficulté ou pour toute question, vous pouvez contacter le laboratoire (*ios-net@univ-reunion.fr*).

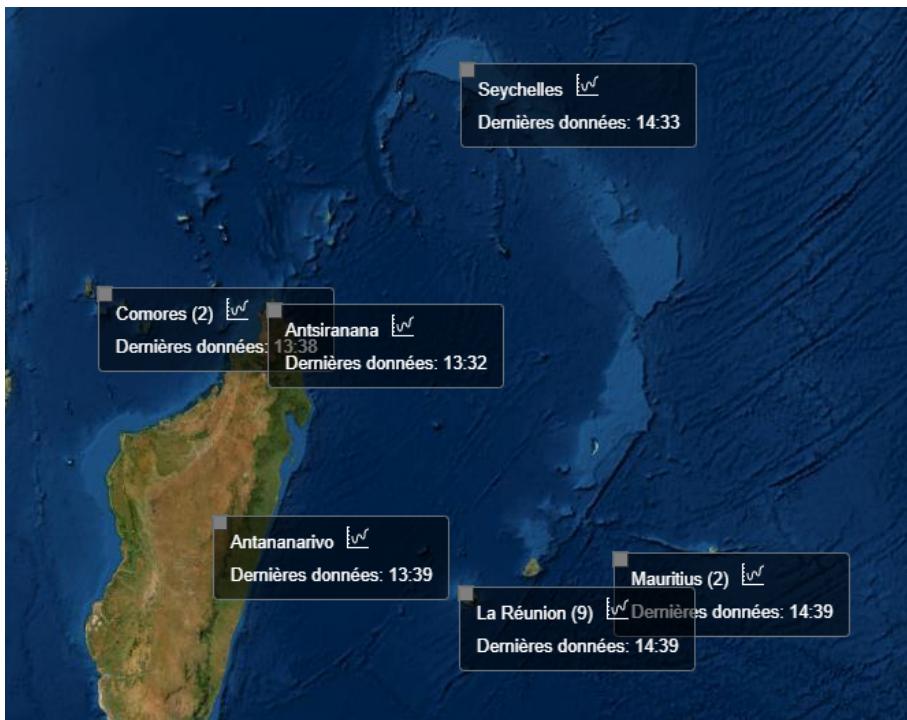


FIGURE 10 – Application SolarIO : affichage en temps réel des données des stations

### Étape 1 : La station est-elle alimentée en énergie ?

Les équipements de la station ont besoin d'être alimentés en énergie pour fonctionner (SPN1, CR1000X, module de transmission). Un panneau solaire, un régulateur de charge et une batterie permettent d'assurer une alimentation électrique y compris la nuit (cf section 1.3). Pour vérifier si la station est alimentée, ouvrir le coffret d'acquisition gris avec la clef en plastique (cf section 1.2) pour vérifier que des voyants sont bien allumés. Si c'est le cas, passez à l'étape 2.

Si aucun voyant n'est allumé, la station n'est pas alimentée. Ouvrir le coffret d'alimentation (couvercle bleu) contenant la batterie et vérifier les points suivants :

- Y a-t-il de l'eau dans le coffret ?
- La batterie ou le régulateur semblent-ils endommagés ? Si oui, il faudra les changer.
- Mesurer la tension de la batterie avec un voltmètre. Est-elle supérieur à 12V ? Si non, elle est déchargée, il faut la remplacer.
- Vérifier que tous les câbles sont bien fixés au niveau du régulateur-contrôleur en tirant légèrement dessus.

---

Si aucun des points ci-dessus ne permet de régler le problème, contacter le laboratoire pour leur expliquer la situation ([ios-net@univ-reunion.fr](mailto:ios-net@univ-reunion.fr)).

## Étape 2 : L'acquisition des données fonctionne-t-elle ?

Lorsque l'acquisition fonctionne, le voyant *power* de la CR1000X clignote en rouge à chaque acquisition, soit toutes les 10s (cf figure 11).

Si l'acquisition ne fonctionne pas, vérifier les points suivants :

- Y a-t-il de l'eau dans le coffret d'acquisition ?
- Les appareils semblent-ils endommagés ?
- Vérifier que les câbles sont bien fixés au niveau de la CR1000X en tirant légèrement dessus.
- Débrancher et rebrancher l'alimentation de la CR1000X (cf figure 11 + procédure en Annexe A.2) puis attendre quelques secondes.

Dans la plupart des cas, le redémarrage de la CR1000X devrait résoudre le problème. Si ce n'est pas le cas, contacter le laboratoire pour leur expliquer la situation ([ios-net@univ-reunion.fr](mailto:ios-net@univ-reunion.fr)).

## Étape 3 : La station transfère-t-elle les données ?

Les stations sont équipées d'une carte SIM au niveau du module de transmission "COM111" (cf section 1.2). Lorsque la communication fonctionne, le voyant du module **clignote** en vert toutes les secondes (cf figure 11). Si c'est bien le cas et que la station n'apparaît pas sur SolarIO, contacter le laboratoire, le problème est probablement en aval ([ios-net@univ-reunion.fr](mailto:ios-net@univ-reunion.fr)).

Si le voyant du module de transmission est vert fixe (il ne clignote pas) alors la transmission des données ne se fait pas. Redémarrez la CR1000X en débranchant et rebranchant son alimentation (cf figure 11 + procédure en Annexe A.2) puis attendre quelques secondes. Si cela ne permet pas de régler le problème, contacter le laboratoire pour leur expliquer la situation.



FIGURE 11 – A gauche : CR1000X avec son câble d'alimentation et son bouton "power" qui clignote en rouge à chaque acquisition (toutes les 10 secondes). A droite : module de transmission des données. Le voyant clignote en vert toutes les secondes lorsque la transmission a lieu.

## A Annexes

### A.1 Procédure d'arrêt de l'éolienne

L'éolienne peut être arrêtée à tout moment selon une procédure à suivre pour ne pas endommager le régulateur de l'éolienne. Il est important d'arrêter l'éolienne avant de la manipuler pour éviter tout risque de blessure à cause des pâles en rotation. Il est préférable de la retirer en cas de vents violents.

La procédure d'arrêt de l'éolienne consiste à effectuer **dans l'ordre** les deux étapes suivantes :

1. Avec une gaffe, attraper précautionneusement le safran de l'éolienne pour la faire pivoter de 180 degrés sur son axe vertical. Elle se retrouve alors déventée et ne tourne presque plus, ou à faible vitesse.
2. Actionner l'interrupteur de l'éolienne (placé sur le flanc du coffret d'alimentation) et le mettre sur OFF, ce qui aura pour effet de stopper complètement l'éolienne.

### A.2 Procédure de redémarrage de la CR1000X

- 1) Ouvrir le coffret d'acquisition gris grâce à la clef en plastique
- 2) Débrancher l'alimentation de la CR1000X en tirant dessus (cf bornier vert sur la figure 12).
- 3) Attendre quelques secondes puis rebrancher le connecteur.

La centrale d'acquisition sera ainsi réinitialisée, les données déjà enregistrées ne seront pas effacées. Cette manipulation aura pour but de remettre à zéro les erreurs internes de la centrale et de redémarrer toutes les fonctions (y compris la communication avec notre serveur via le réseau GPRS 2G).

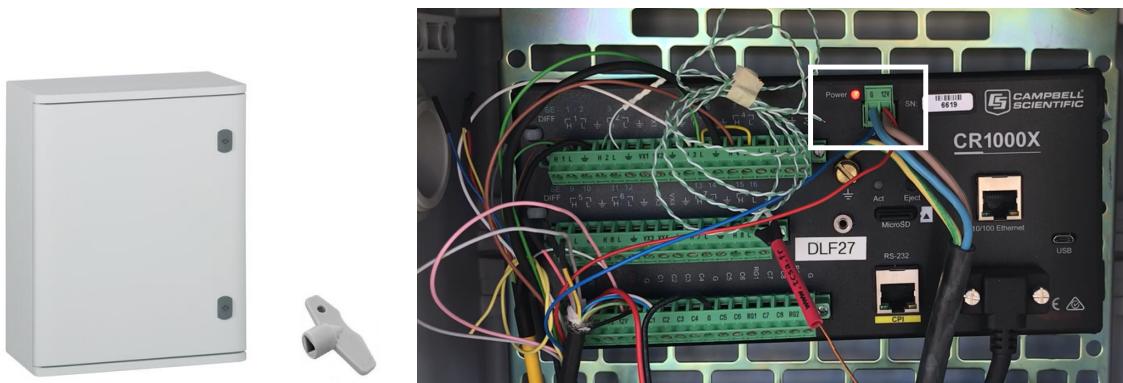


FIGURE 12 – A droite : Coffret d'acquisition gris et sa clef contenant la centrale d'acquisition CR1000X à redémarrer. A droite : CR1000X avec son bornier vert à débrancher quelques secondes pour la redémarrer.