

---

# Protocoles d'acquisition et de traitement des mesures

---



Sébastien Gogo

16 janvier 2018

# Historique

Version	Date	Auteur(s)	Modifications
1.0	22.01.04	JPW, KW	created
1.1	23.01.04	DP, JPW	correction
1.2	03.02.04	DP, JPW	revised after review



# Table des matières

<b>1</b>	<b>Typologie des variables</b>	<b>11</b>
1.1	Éléments de contexte et objectifs . . . . .	11
1.2	Catégorie et modes d'acquisition . . . . .	12
1.3	Les variables cibles obligatoires . . . . .	14
1.3.1	Définition et degré d'élaboration . . . . .	14
1.3.2	Liste des variables cibles . . . . .	14
1.4	Organisation des équipements d'acquisition automatique . . .	15
1.4.1	Stations météo-sol . . . . .	15
1.4.2	Station Eddy Covariance (EC) . . . . .	17
1.4.3	Fluorimètre de terrain à l'exutoire . . . . .	17
1.4.4	Sondes piézométrique hors profil "météo-sol" . . . . .	17
1.4.5	Stations d'acquisitions supplémentaires . . . . .	18
1.5	Organisation des campagnes d'acquisition manuelle . . . . .	19
1.5.1	Mesure de flux par chambre d'accumulation . . . . .	19
1.5.2	Chimie et physique de l'eau . . . . .	20
1.5.3	Débit à l'exutoire . . . . .	20
1.5.4	Niveau d'eau . . . . .	21
1.5.5	Equipements supplémentaires . . . . .	21
1.6	Format des noms de fichiers . . . . .	22
1.7	La variable "temps" . . . . .	25
1.8	Nom des variables "météo-sol" - stations #001, #002 et #003	26
1.8.1	En-têtes . . . . .	26

1.8.2	Fréquence d'acquisition . . . . .	28
1.8.3	Répartition des variables météo-sol . . . . .	28
1.9	Nom des variables "eddy-covariance" - station #004) . . . . .	29
1.9.1	En-têtes . . . . .	29
1.9.2	Fréquence d'acquisition . . . . .	30
1.9.3	Répartition des variables eddy covariance . . . . .	30
1.10	Nom des variables "biogéochimie de l'eau" - station #005) . . . . .	31
1.10.1	En-têtes . . . . .	31
1.10.2	Fréquence d'acquisition . . . . .	32
1.11	Nom des variables "hydro" - stations #006 à #020 . . . . .	33
1.11.1	En-têtes . . . . .	33
1.11.2	Fréquence d'acquisition . . . . .	34
1.12	Nom des variables "GHG" - équipements #101 à #105 . . . . .	35
1.12.1	En-têtes . . . . .	35
1.12.2	Fréquence d'acquisition . . . . .	36
1.13	Nom des variables "GHG", "Biogéo" et "Hydro" acquises manuellement - équipements #106 à #113 . . . . .	37
1.13.1	En-têtes . . . . .	37
1.13.2	Fréquence d'acquisition . . . . .	38
<b>2</b>	<b>Le système d'information en environnement - SIE</b>	<b>39</b>
2.1	Cadre et objectif du SIE . . . . .	39
2.2	Rôle des différents éléments du SIE SNO Tourbières . . . . .	41
2.2.1	Le serveur "SRV-SO" . . . . .	41
2.2.2	L'intégrateur de données Talend . . . . .	41
2.2.3	La base de données . . . . .	41
2.3	Les flux de données . . . . .	42
2.3.1	Des capteurs vers le serveur SRV-SO . . . . .	42
2.3.2	L'arborescence du serveur SRV-SO . . . . .	45
2.3.3	De SRV-SO à la base de données par Talend . . . . .	47
2.3.4	De la base de données au public . . . . .	48

2.3.5	Intervention de l'expert sur les données . . . . .	48
2.4	Flux des métadonnées . . . . .	50
2.4.1	Sur les capteurs . . . . .	50
2.4.2	Sur les variables générées par les capteurs ou les équipements . . . . .	50
2.4.3	Sur les variables caculées . . . . .	51
2.5	Gestion de l'accès au serveur SRV-SO . . . . .	52
2.6	Gestion des téléchargement des données . . . . .	53
<b>3</b>	<b>Variables météorologique et physique du sol</b>	<b>54</b>
3.1	Cadre et objectif des mesures . . . . .	54
3.2	Organisation des équipements . . . . .	56
3.2.1	Nombre de station d'acquisition . . . . .	56
3.2.2	Installation des stations . . . . .	56
3.3	Les variables : mesures, nomenclature, et capteurs . . . . .	57
3.3.1	Les capteurs . . . . .	57
3.4	Pression atmosphérique - Pa - PTU300 . . . . .	59
3.4.1	Principe de mesure et unité . . . . .	59
3.4.2	Positionnement du capteur . . . . .	59
3.4.3	Maintenance du capteur . . . . .	59
3.4.4	Elaboration de la variable cible . . . . .	59
3.5	Pluviométrie - P_rain - ARG100 . . . . .	60
3.5.1	Principe de mesure et unité . . . . .	60
3.5.2	Positionnement du capteur . . . . .	60
3.5.3	Maintenance du capteur . . . . .	60
3.5.4	Calibration et dérive du capteur . . . . .	61
3.6	Les mesures de rayonnement - SWin, SWout, LWin, LWout - CNR4 . . . . .	63
3.6.1	Principe de mesure et unité . . . . .	63
3.6.2	Positionnement du capteur . . . . .	64
3.6.3	Maintenance du capteur . . . . .	64

3.6.4	Calibration et dérive du capteur . . . . .	64
3.6.5	Informations complémentaires . . . . .	64
3.7	Densité du flux de photons photosynthétiques - PPFD - SKP215	65
3.7.1	Principe de mesure et unité . . . . .	65
3.7.2	Positionnement du capteur . . . . .	65
3.7.3	Maintenance du capteur . . . . .	65
3.7.4	Calibration et dérive du capteur . . . . .	65
3.8	Vitesse du vent - WS - WindSonic . . . . .	66
3.8.1	Principe de mesure et unité . . . . .	66
3.8.2	Positionnement du capteur . . . . .	67
3.8.3	Maintenance du capteur . . . . .	68
3.8.4	Calibration et dérive du capteur . . . . .	68
3.9	Direction du vent - WD - Windsonic . . . . .	69
3.9.1	Principe de mesure et unité . . . . .	69
3.9.2	Positionnement du capteur . . . . .	69
3.9.3	Maintenance du capteur . . . . .	69
3.9.4	Calibration et dérive du capteur . . . . .	70
3.9.5	Informations complémentaires . . . . .	70
3.10	Humidité relative de l'air - RH - HUMICAP(r) (HMP155A)	71
3.10.1	Principe de mesure et unité . . . . .	71
3.10.2	Positionnement du capteur . . . . .	71
3.10.3	Maintenance du capteur . . . . .	71
3.10.4	Calibration et dérive du capteur . . . . .	71
3.11	Température de l'air - Ta - Pt100 (HMP155A)	73
3.11.1	Principe de mesure et unité . . . . .	73
3.11.2	Positionnement du capteur . . . . .	74
3.11.3	Maintenance de la sonde . . . . .	74
3.11.4	Calibration et dérive du capteur . . . . .	74
3.11.5	Informations diverses . . . . .	75
3.12	Température du sol - Ts - 107 . . . . .	76

3.12.1	Principe de mesure et unité . . . . .	76
3.12.2	Positionnement du capteur . . . . .	77
3.12.3	Maintenance du capteur . . . . .	77
3.12.4	Calibration et dérive du capteur . . . . .	77
3.13	Teneur en eau du sol - SWC - CS650 . . . . .	78
3.13.1	Principe de mesure et unité . . . . .	78
3.13.2	Variable de sortie . . . . .	78
3.13.3	Positionnement du capteur . . . . .	79
3.13.4	Maintenance du capteur . . . . .	79
3.13.5	Calibration . . . . .	79
3.13.6	Informations diverses . . . . .	80
3.14	Flux de chaleur dans le sol - G - Hukseflux . . . . .	81
3.14.1	Principe de mesure et unité . . . . .	81
3.14.2	Positionnement du capteur . . . . .	81
3.14.3	Maintenance du capteur . . . . .	81
3.14.4	Calibration et dérive du capteur . . . . .	81
3.15	Niveau de la nappe d'eau - GWL - CS451 . . . . .	82
3.15.1	Principe de mesure et unité . . . . .	82
3.15.2	Positionnement du capteur . . . . .	82
3.15.3	Maintenance du capteur . . . . .	82
3.15.4	Calibration et dérive du capteur . . . . .	82
3.16	Positionnement des capteurs . . . . .	83
3.16.1	Mesures dans le sol . . . . .	83
3.16.2	Mesures dans l'atmosphère . . . . .	84
3.17	Bibliographie . . . . .	85
<b>4</b>	<b>Hydrologie</b>	<b>86</b>
4.1	Cadre et objectif des mesures . . . . .	86
4.2	Organisation des équipements . . . . .	87
4.2.1	Nombre de stations d'acquisition . . . . .	87
4.3	Les variables . . . . .	87



4.3.1	Liste et abréviations des variables cibles . . . . .	87
4.3.2	Définition . . . . .	87
4.4	Le capteur de pression . . . . .	89
4.4.1	Modèles de capteurs . . . . .	89
4.4.2	Principe de mesure et unité . . . . .	90
4.4.3	Positionnement du capteur . . . . .	90
4.4.4	Maintenance du capteur . . . . .	91
4.5	Elaboration des variables cibles . . . . .	91
4.5.1	Ground Water Level - GWL . . . . .	91
4.5.2	Ground Water Depth - GWD . . . . .	92
4.5.3	Débit à l'exutoire - Q . . . . .	92
<b>5</b>	<b>Mesures de flux de carbone par eddy-covariance</b>	<b>95</b>
5.1	Cadre et objectif des mesures . . . . .	95
5.2	Organisation des équipements . . . . .	96
5.2.1	Nombre de station d'acquisition . . . . .	96
5.2.2	installation des stations . . . . .	96
5.3	Les variables : mesures, nomenclature, et capteurs . . . . .	97
5.3.1	Nombre et fréquence . . . . .	97
5.3.2	Nomenclature et codes . . . . .	97
5.4	Mesures de la vitesse et direction du vent en 3D . . . . .	98
5.4.1	Principe de mesure et unité . . . . .	98
5.4.2	Positionnement du capteur . . . . .	98
5.4.3	Calibration et dérive du capteur . . . . .	98
5.5	Mesure des flux de CO <sub>2</sub> . . . . .	99
5.5.1	Principe de mesure et unité . . . . .	99
5.5.2	Positionnement du capteur . . . . .	99
5.5.3	Calibration et dérive du capteur . . . . .	99
5.6	Mesure des flux de CH <sub>4</sub> . . . . .	100
5.6.1	Principe de mesure et unité . . . . .	100
5.6.2	Positionnement du capteur . . . . .	100

5.6.3	Calibration et dérive du capteur . . . . .	100
5.7	Mesure des flux d'H <sub>2</sub> O . . . . .	101
5.7.1	Principe de mesure et unité . . . . .	101
5.7.2	Positionnement du capteur . . . . .	101
5.7.3	Calibration et dérive du capteur . . . . .	101
5.8	Maintenance de la station . . . . .	102
5.8.1	LI-7200RS (CO <sub>2</sub> et H <sub>2</sub> O) . . . . .	102
5.8.2	LI-7700 (CH <sub>4</sub> ) . . . . .	106
5.8.3	LI-7200-101 (module de flux pour le LI7200) . . . . .	107

# Liste des tableaux

1.1	Liste des variables cibles obligatoires . . . . .	16
3.1	Liste des capteurs correspondant au variables cibles obligatoires et leur nombres dans une configuration minimale. . . . .	58

# Table des figures

2.1	Schéma global des flux de données et de métadonnées. . . . .	42
2.2	Flux de données des <b>capteurs</b> vers <b>SRV-SO</b> des variables acquises à <b>haute fréquence</b> , régulièrement et <b>télé-transmises</b> . . . . .	43
2.3	Flux de données des <b>capteurs</b> vers <b>SRV-SO</b> des variables acquises à <b>haute fréquence</b> , régulièrement et <b>transmises par un opérateur</b> . . . . .	44
2.4	Flux de données <b>capteur - SRV-SO</b> des variables acquises à <b>basse fréquence</b> , irrégulièrement (mesures manuelles sur le terrain ou au laboratoire) et <b>transmises par un opérateur</b> . . . . .	45
2.5	Arborescence du SRV-SO. Les types de données et les stations/équipement concernés sont précisés . . . . .	46
2.6	Flux de données liés à l'intégrateur de données Talend (réalisé à partir du schéma proposé par A. Hertout). . . . .	47
3.1	Partie intérieure de l'ARG100. . . . .	61
3.2	Positions des transducteurs sur le WindSonic. . . . .	66
3.3	Calcul de la vitesse du vent avec l'anémomètre à ultrasons. . . . .	67
3.4	Correspondance entre les valeurs mesurées, la direction du vent et la polarité UV. . . . .	69
3.5	Les capteurs de la sonde HMP155A : 1 = filtre, 2 = joint torique, 3 = capteur d'humidité HUMICAP(r), 4 = capteur de température Pt100. . . . .	73
3.6	Les boutons d'ajustements pour la calibration des capteurs de la sonde HMP155A : 1 = capuchon de protection (déviscée), 2 = bouton pour diminuer, 3 = bouton ADJ, 4 = bouton pour augmenter, 5 = couvert de protection des bouton relevé. . . . .	76

3.7	Distribution horizontale des sondes du sol (protocole ICOS, 2015). . . . .	83
3.8	Distribution verticale des sondes du sol dans le profil complet (a) et additionnel(b ; protocole ICOS, 2015). . . . .	84
4.1	Schéma des mesures permettant d'obtenir des niveaux de la nappe d'eau. . . . .	88
4.2	Schéma des mesures permettant d'obtenir des niveaux de la nappe d'eau. . . . .	89
4.3	Schéma des mesures du débit au sel. . . . .	93
4.4	Calcul des chroniques de débit à partir des hauteur de la colonne d'eau à haute fréquence et de la courbe de tarage. . . . .	94
5.1	Faire glisser la tête du capteur (partie à droite de la photo) pour permettre de sortir le banc optique. . . . .	104
5.2	Faire glisser la tête du capteur (partie à droite de la photo) pour permettre de sortir le banc optique. . . . .	105
5.3	Faire glisser la tête du capteur (partie à droite de la photo) pour permettre de sortir le banc optique. . . . .	106

# Chapitre 1

## Typologie des variables

S.Gogo, M.-L. Toussaint, ...

### 1.1 Éléments de contexte et objectifs

Le Service National d’Observation des Tourbières (SNO Tourbières) a acquis, acquière et va acquérir un grand nombre de données de différents types, parfois de différents formats (organisation des données et format de fichier), dans des sites différents, par des équipes de recherches différentes. Pour pouvoir générer des données de qualité à même de permettre un suivi sur le long terme cohérent et une inter-comparaison entre site qui ait du sens, il est nécessaire de ce mettre d’accord sur une liste de variable et sur la façon dont on les acquière et traite. Ceci passe par une harmonisation des noms et des formats de fichiers.

Les fichiers contenant les données sont intégrés dans un système d’information en environnement (SIE) pour les stocker, les traiter et permettre leur visualisation et leur téléchargement via une interface web présente sur le site du SNO Tourbières<sup>1</sup>.

L’objectif de ce document est 1) de décrire les types de variables et l’organisation des équipements et des acquisitions manuelles pour ensuite 2) générer de manière cohérente des noms de fichiers, de colonnes et de ligne commune à tous les types de données pour rendre possible leur intégration dans le SIE. Pour beaucoup de variables, nous suivront les recommandations provenant des protocoles de l’Integrated Carbon Observation System (ICOS<sup>2</sup>).

---

1. <http://www.sno-tourbieres.cnrs.fr/>

2. <http://www.europe-fluxdata.eu/icos/variables>

## 1.2 Catégorie et modes d'acquisition

A ce jour un total autour de 42 variables cibles (Tableaux 1.1) sont ou seront suivies ? dans le cadre du SNO Tourbière. Elles ont été regroupées en 5 catégories :

- **a - Météorologie, physique du sol** : Météo-sol
- **b - Hydrologie hors profil "météo-sol"** : Hydro/Carto
- **c - Flux de gaz à effet de serre** : GHG
- **d - Biogéo- physique et chimie** : Biogéo
- **e - Biodiversité et végétation** : Bioveg

Pour les ateliers, les variables météo-sol et GHG sont regroupées car elles constituent un groupement cohérent qui *in fine* aboutiront aux calculs des flux et des bilans de carbone. Les données météo-sol serviront à comprendre les flux et à réaliser le gap-filling des chroniques de flux. C'est dans les catégories météo-sol, GHG et Bioveg où se trouvent les variables nécessaires à suivre pour être cohérent avec ICOS. De ce fait, les catégories Hydro/Carto et Biogéo ont moins de contraintes que les 3 autres catégories.

Les données correspondant aux variables des différentes catégories sont acquises de manière différentes (haute ou basse fréquence d'acquisition, de manière régulière ou irrégulière), sont injectées sur le serveur du SNO Tourbières de manière différentes (par télécommunication ou manuellement) et ont un plus ou moins grand intérêt relativement aux objectifs du SNO Tourbières. Le tableau ?? énumère par ordre de priorités d'intégration dans le SIE ces types de données et leur mode d'envoi sur le serveur.

Certaines variables sont acquises par des capteurs placés sur le terrain et enregistrées dans des stations d'acquisition. Ces stations d'acquisitions génèrent des fichiers qui contiennent les données temporelles de plusieurs variables. Un maximum théorique de 100 stations est prévue, mais concrètement, le nombre de stations d'acquisition par site devrait se situer entre 10 et 20 par site. L'organisation des équipements et des fichiers générés par ces équipements est développée dans la section 1.4 et les variables acquises manuellement

dans la section 1.5. Les codes serviront ensuite à la nomenclature des fichiers générés par chaque type de mesure.



## 1.3 Les variables cibles obligatoires

### 1.3.1 Définition et degré d'élaboration

Les variables cibles sont les supports de l'interprétation du fonctionnement des systèmes étudiés. A un degré plus ou moins grand, toutes ces variables sont élaborées (ayant subi au moins un calcul). Certaines de ces variables correspondent au signal de sortie d'un capteur comme par exemple la température du sol (juste un calcul machine). D'autres variables cibles vont être le fruit de nombreux calculs réalisés par la sonde et par l'expert. C'est le cas de la teneur en eau du sol. Un signal électrique est traduit en conductivité électrique (calcul machine 1) qui sert à calculer la permittivité électrique (calcul machine 2). Cette dernière est utilisée dans une calibration "expert" avec des mesures manuelles pour obtenir la variable cible "teneur en eau". D'autres variables peuvent être calculées à partir de deux (ou plus) variables cibles. Le chemin réalisé pour obtenir la variable cible à partir des données obtenues sur le terrain est décrit dans le chapitre 3.

Le degré d'élaboration d'une variable peut être codé de la manière suivante :

- Signal électrique brut du capteur : **b\_0**
- Calcul machine à partir du signal b\_0 : **b\_1**
- Calcul machine à partir du signal b\_1 : **b\_2**
- Calcul machine à partir du signal b\_n : **b\_{n+1}**
- Calcul expert à partir d'un signal b\_i et une calibration manuel : **c\_0**
- Calcul expert à partir d'au moins 2 signaux b\_i (i>0) : **c\_1**

### 1.3.2 Liste des variables cibles

Les variables cibles suivies dans le cadre du SNO Tourbières de manière obligatoire sont à ce jour au nombre de 42 (tableau 1.1). Pour chaque variable cible, le code variable, la catégorie et le code de station/équipement sont précisés. Ces derniers servent dans la désignation des fichiers de données. Les codes variables servent dans les entêtes de colonnes. Les détails sur les types de capteurs, les fréquences d'acquisition, la maintenance et les calculs sont données au chapitre 3.

Certaines variables sont facultatives. Le caractère facultatif provient de la nécessité de mesurer une variable spécifique en fonction des caractéristiques propre à un site. Pour l'instant, deux variables sont facultatives : la précipitation sous forme de neige et l'azote totale dissous dans l'eau. Il est recommandé

de prévoir la hauteur de neige dans les sites les plus en altitude (Bernadouze et Frasne).

## 1.4 Organisation des équipements d'acquisition automatique

Les données acquises régulièrement et à haute fréquence par des capteurs *in situ* sont enregistrées dans 4 types de station d'acquisition : i) météo-sol (stations Campbell), ii) Eddy Covariance (station LICOR), iii) fluorescence de la matière organique dissoute (Fluorescence of Dissolved Organic Matter, FDOM - station Schnegg ou Xylem), iv) sondes piézométriques hors profil "météo-sol" (OTT, Diver, Campbell).

### 1.4.1 Stations météo-sol

Sur chaque site du réseau, il y aura 2 (minimum) voire 3 stations d'acquisition pour les variables météo-sol :

- station #001 = station météo "classique" + physique du sol,
- station #002 = station physique du sol.
- station #003 = station physique du sol.

Nous adoptons le nombre et la nomenclature des variables recommandées par ICOS pour les sites de niveau 2. De manière minimale, deux profils complets seront installés.

La station météo "classique" enregistre les variables permettant de caractériser le site et de calculer l'évapo-transpiration potentielle : température de l'air, pression atmosphérique, précipitation, vitesse et direction du vent, humidité relative de l'air et rayonnement.

Dans les variables météo-sol, il y a le niveau de la nappe d'eau dans l'empreinte de la tour à flux. Les sondes qui mesurent ces niveaux d'eau (branchées sur les stations Campbell) ne sont pas considérées dans le paragraphe 1.10 concernant les variables « hydro ». Les sondes considérées dans le paragraphe 1.10 correspondent aux sondes de mesures de niveau d'eau se situant à l'extérieur des profils "météo-sol".

TABLE 1.1 – Liste des variables cibles obligatoires .

#	Variable	Code	Catégorie	Station/équipement
1	Pression atmosphérique	Pa	météo-sol	#1, 2, 3
2	Précipitation - pluie	P_rain	météo-sol	#1, 2, 3
3	Densité du flux de photon photosynthétique	PPFD	météo-sol	#1, 2, 3
4	Vitesse du vent 2D	WS	météo-sol	#1, 2, 3
5	Direction du vent 2D	WD	météo-sol	#1, 2, 3
6	Humidité relative	RH	météo-sol	#1, 2, 3
7	Température de l'air	Ta	météo-sol	#1, 2, 3
8	Température du sol	Ts	météo-sol	#1, 2, 3
9	Teneur en eau du sol	SWC	météo-sol	#1, 2, 3
10	Flux de chaleur dans le sol	G	météo-sol	#1, 2, 3
11	Niveau de la nappe d'eau dans le sol (empreinte EC)	GWL	météo-sol	#1, 2, 3
12	Rayonnement, longueurs d'ondes courtes entrantes	SWin	météo-sol	#1, 2, 3
13	Rayonnement, longueurs d'ondes courtes sortantes	SWout	météo-sol	#1, 2, 3
14	Rayonnement, longueurs d'ondes longues entrantes	LWin	météo-sol	#1, 2, 3
15	Rayonnement, longueur d'ondes longues sortantes	LWout	météo-sol	#1, 2, 3
16	Flux de H <sub>2</sub> O par eddy covariance	FH2O	GHG	#4
17	Flux de CO <sub>2</sub> par eddy covariance	FCO2	GHG	#4
18	Flux de CH <sub>4</sub> par eddy covariance	FCH4	GHG	#4
19	Vitesse du vent 3D - composante horizontale	WSx	GHG	#4
20	Vitesse du vent 3D - composante latérale	WSy	GHG	#4
21	Vitesse du vent 3D - composante verticale	WSz	GHG	#4
22	Direction du vent 3D - x	WDx	GHG	#4
23	Direction du vent 3D - y	WDy	GHG	#4
24	Direction du vent 3D - z	WDz	GHG	#4
25	Flux de carbone organique dissous à l'exutoire	FDOC	biogéochimie	#5
26	Flux de carbone organique particulaire à l'exutoire	FPOC	biogéochimie	#5
27	Conductivité à l'exutoire	Cond	biogéochimie	#5
28	Niveau de la nappe d'eau hors profil "météo-sol"	GWL	hydro-carto	#6 à 15
29	Débit à l'exutoire	Q	hydro-carto	#16 à 20
30	Echange Net de l'Ecosystème - mesure chambre	NEEc	GHG	#101 à 105
31	Respiration de l'Ecosystème - mesure chambre	REc	GHG	#101 à 105
32	Production primaire brute - mesure chambre	GPPc	GHG	#101 à 105
33	Flux de CH <sub>4</sub>	FCH4c	GHG	#106
34	Température du sol manuelle	Tsm	GHG	#107
35	Teneur en eau du sol, manuelle	SWCm	GHG	#108
36	Leaf Area Index	LAI <sub>m</sub>	GHG	#109
37	Carbone organique dissous, manuel	DOC <sub>m</sub>	biogéochimie	#110
38	Carbone organique particulaire, manuel	POC <sub>m</sub>	biogéochimie	#111
39	pH, manuel	pH <sub>m</sub>	biogéochimie	#112
40	Conductivité, manuel	Cond <sub>m</sub>	biogéochimie	#112
41	Niveau piézométrique, manuel	GWL <sub>m</sub>	hydro-carto	#113
42	Débit à l'exutoire, manuel	Q <sub>m</sub>	hydro-carto	#112

### 1.4.2 Station Eddy Covariance (EC)

Une station d'acquisition est présente au niveau du mât EC pour enregistrer toutes les variables nécessaires aux calculs des flux de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> et H<sub>2</sub>O, et la direction et vitesse du vent en 3D :

— station #004 = station d'acquisition EC.

Le calcul des flux est réalisé à la fréquence d'un flux toutes les 30 minutes. Ceci nécessite l'acquisition de tous les paramètres à une fréquence de 20Hz (cf protocole sur l'EC pour tous les détails). La station d'acquisition Licor calcule un flux "immédiat" chaque 30 minutes qui servira à vérifier que l'appareil fonctionne bien. Cependant, il s'agit juste d'une valeur indicative puisque la vraie valeur de flux sera calculée par les experts de cette variable (avec le support des collègues d'ICOS).

### 1.4.3 Fluorimètre de terrain à l'exutoire

Un fluorimètre avec un système d'acquisition est présent au niveau de l'exutoire principal de chaque site :

— station #005 = station d'acquisition du fluorimètre à l'exutoire.

### 1.4.4 Sondes piézométrique hors profil "météo-sol"

Des sondes de mesure du niveau d'eau contenant leur système autonome d'acquisition sont déployées à différents endroits dans (de 6 à 15) et à l'exutoire (de 16 à 20) de chaque tourbière :

— station #006 = sonde piézométrique 1 dans la tourbière,

— station #007 = sonde piézométrique 2 dans la tourbière,

— station ...

— station #015 = sonde piézométrique 10 dans la tourbière,

- station #016 = sonde piézométrique 1 à l'exutoire,
- station ...
- station #020 = sonde piézométrique 5 à l'exutoire,

### 1.4.5 Stations d'acquisitions supplémentaires

Si un nouveau dispositif (e.g. mesures de concentration en carbone inorganique dissous à l'exutoire), une station d'acquisition météo-sol, eddy-covariance, fluorimètre et/ou sonde piézométrique sont ajoutés, ils prendront le numéro suivant à partir de 21 jusqu'à 100 : de 21 à 30 pour les stations météo-sol, de 31 à 40 pour les tour EC, de 41 à 50 pour les fluorimètres, de 51 à 70 pour les piézomètres et de 71 à 100 pour tout appareil nouveau.

## 1.5 Organisation des campagnes d'acquisition manuelle

Les variables acquises de manières manuelles sont regroupées par équipement de mesures. La liste des équipements commence à 101.

### 1.5.1 Mesure de flux par chambre d'accumulation

Les équipements utilisés pour les mesures de flux de C en chambres fermées ont été choisis par les équipes d'Orléans : Vaisala pour le  $\text{CO}_2$  et Los Gatos pour le  $\text{CH}_4$  (voir chapitre ? pour plus de détails). Les chambres peuvent être posées manuellement ou automatiquement, suivant les moyens disponibles. Les points de mesures sont au nombre de dix et doivent couvrir la variabilité spatiale de la végétation dans l'empreinte. Cependant, les mesures sont effectuées par 5 (tirage au sort). Pour interpréter les flux, des variables explicatives sont enregistrées : un profil de température du sol à proximité de la mesure de flux, la teneur en eau des premiers centimètres de tourbe et l'indice de surface des feuille (leaf area index ou LAI).

Dans le réseau ICOS, les mesures de flux avec les chambres ne sont obligatoires que pour les sites de niveau 1. Dans le cadre du SNO Tourbières, nous avons pour objectif de tendre vers les recommandations pour les sites de niveau 2. Compte-tenu de l'importance de la connaissance de la variabilité spatiale des flux dans la compréhension du bilan à l'échelle de l'écosystème, nous essaierons tout de même de mettre en place dans tous les sites des mesures en chambre. Nous suivrons les recommandations ICOS puisqu'elles existent, mais nous autoriseront une certaine flexibilité.

- équipement #**101 à 105** = matériel Vaisala pour le  $\text{CO}_2$ ,
- équipement #**106** = matériel Los Gatos pour le  $\text{CH}_4$ ,
- équipement #**107** = sonde pour mesure de profils de température,
- équipement #**108** = sonde teneur en eau,
- équipement #**109** = LAI-mètre.

Les équipements de #101 à 105 correspondent à 5 chambres manuelles ou automatiques. Chaque station produira un fichier avec l'ensemble des variables correspondant à son point de mesure. Si les mesures sont réalisées manuellement, une même chambre (la #101) sera utilisée pour tous les points de mesures et un seul fichier (...\_101\_...) sera généré avec les variables de tous les points de mesures.

### 1.5.2 Chimie et physique de l'eau

Pour caractériser les sites et compléter le bilan de C à l'échelle de l'écosystème, des analyses chimiques et physiques seront réalisées sur les eaux à l'exutoire et dans la tourbière (eau dans les piézomètre). Les éléments mesurés sont : le carbone organique dissous (DOC, variable obligatoire), le carbone organique particulaire (POC, variable obligatoire) l'azote totale (TN, variable facultative). Ces variables sont mesurées sur des échantillons d'eau ramenés au laboratoire (voir chapitre ? pour plus de détails). Pour le DOC et le TN, l'appareil de mesure est un DOC-mètre (e.g. Shimadzu). Le POC correspond à la masse de C contenu dans les matières dont la taille est supérieure à  $0.45 \mu\text{m}$ . A chaque échantillonnage à l'exutoire et dans la tourbière, le pH, la température et la conductivité de la solution seront mesurés avec des sondes multiparamètres (e.g. WTW).

- équipement #110 = COT-mètre
- équipement #111 = balance + analyseur élémentaire
- équipement #112 = sonde multiparamètres

### 1.5.3 Débit à l'exutoire

Pour obtenir des mesures de débit à haute fréquence, des mesures de niveau d'eau à l'exutoire à haute fréquence (stations de 016 à 020) sont couplées avec des mesures manuelles de débit. La méthode utilisée dans tous les sites est la méthode du débit au sel (voir chapitre 4 pour plus de détails). Elle utilise un conductimètre. Le débit est ensuite calculé à partir des variations de conductimétrie en fonction du temps.

- équipement #112 = conductimètre (sonde multiparamètres)

#### 1.5.4 Niveau d'eau

Des mesures manuelles dans tous les piézomètres équipés de sondes automatiques sont nécessaires pour corriger les chroniques. Ces mesures sont réalisées avec une sonde manuelle ou avec un mètre (à préciser dans le métadonnées).

— équipement #113 = sonde piézométrique manuelle ou mètre

#### 1.5.5 Equipements supplémentaires

Les mesures supplémentaires seront numérotées par type d'équipement à partir de 114. Dans l'idéal, le choix et le début du monitoring d'une variable sur un site devrait être l'objet d'une discussion lors d'un comité de pilotage. Si la variable est retenue, un numéro sera attribué à l'équipement et les autres sites qui seront capables de suivre cette nouvelle variables devront reprendre le même numéro d'équipement. Exemple : si un responsable de site a envie (besoin) de mesurer sur un an (voire plus) les concentrations en azote inorganique (nitrate, nitrite, ammoniac) à l'exutoire, et si le copil est d'accord pour inclure cette variable dans la liste du SNO, alors le numéro 114 sera attribué à l'équipement mesurant les anions et 115 à celui mesurant les cations. Ces numéros seront bloqués. Si trois ans plus tard, un autre site veut suivre cette même variable, il reprendra les mêmes codes, même si l'équipement est d'une autre marque et mesure en même temps d'autres variables. Si un site qui n'a jamais suivi ces vari



## 1.6 Format des noms de fichiers

Que ce soient les fichiers envoyés par GPRS ou les fichiers injectés manuellement dans le système d'information en environnement, obtenus automatiquement ou manuellement, leurs noms devront respecter le format suivant composé de 6 éléments séparées par un "tiret du 8" \_ :

**1 - code pays** - 2 lettres suivant le code ISO<sup>3</sup> :

- **FR** = France
- **CH** = Confédération Helvétique
- **PL** = Pologne
- **RU** = Russie
- **DE** = Allemagne
- **ES** = Espagne
- **EE** = Estonie

**2 - code site** - 3 lettres :

- **FRN** = Frasne
- **LGT** = La Gnette
- **LDM** = Landemarais
- **BDZ** = Bernadouze
- **SNO** = SNO Tourbières (quand données commune à tous les sites)

**3 - numéro station d'acquisition ou d'équipement** - un nombre à 3 chiffres :

- **001** = station météo classique + physique du sol 1
- **002** = station météo-sol 2
- **003** = station météo-sol 3
- **004** = station eddy covariance
- **005** = station fluorescence de la matière organique dissoute à l'exutoire
- **006** = station hydro 1

---

3. [http://www.iso.org/iso/fr/french\\_country\\_names\\_and\\_code\\_elements.htm](http://www.iso.org/iso/fr/french_country_names_and_code_elements.htm)

- **007** = station hydro 2
- ... = station hydro ...
- **020** = station hydro 15
- **101** = équipement Vaisala du premier point de mesure
- ...
- **113** = mesure niveau d'eau manuelle

**4 - année** - un nombre à 2 chiffres :

- **14** = année 2014
- **15** = année 2015
- etc...

**5 - jour de l'année ou jour julien** - un nombre à 3 chiffres entre 001 et 365 ou 366 :

- **001** = le 1<sup>er</sup> janvier
- **002** = le 2 janvier
- ...
- **033** = le 2 février
- **034** = le 3 février
- ...
- **365** = le 31 décembre

**6 - heure** - un nombre à 4 chiffres, 2 pour l'heure, 2 pour les minutes :

- **0000** = 00 heure 00 minute

Exemple : le fichier du 2 décembre 2014 provenant de la station météo-sol #001 de la tourbière de la Guette s'écrira :

**FR\_LGT\_001\_14\_336\_0000.csv**

La date et l'heure sont celles du premier temps de mesures. Par exemple, pour 2014, les fichiers annuels seront tous au format :

xx\_xxx\_xxx\_14\_001\_0000.csv

**Très important**, il est demandé que l'heure de toutes les données soit calée sur l'heure UTC+1 (heure française en hiver, pas de changement d'heure en été). Les programmes des stations d'acquisitions devront être corrigés en conséquence. Aucun fichier ne pourra être injecté dans la BDD sans avoir été corrigé préalablement.

Dans les noms des fichiers, les stations d'acquisitions des variables dans le cadre du SNO Tourbières (cf 1.3.) sont désignées par un nombre composé de 3 chiffres allant de 001 à 100 comme mentionné plus haut. Les nombres allant de 101 à 700 désignent des fichiers de données obligatoires ou facultatives acquises manuellement dans le cadre du SNO Tourbières (e.g. relevé piézo manuel). Les nombres allant de 701 à 999 désigneront des fichiers de données acquises dans un cadre différent du SNO Tourbières (e.g. projet). Ainsi, tous les fichiers de données acquises dans les sites du SNO Tourbières suivront la même nomenclature, quel que soit leur mode d'acquisition.

Une fois au bon format, les fichiers de données seront envoyés sur le serveur SRV-SO du SNO Tourbières (basé à l'OSUC) et plus précisément dans le dossier "Data" (pour plus de détails, cf chapitre 2).

Les fichiers envoyés par les stations ou injectés manuellement sur le serveur de l'OSUC devront être au format .csv (coma separated values). ATTENTION : dans tous les cas le séparateur de COLONNE est une VIRGULE, le séparateur de DECIMAL est un POINT. Le format .csv a l'avantage d'être un format informatique ouvert ce qui permettra d'éviter les problèmes liés au format propriétaire (coût des mises à jour, compatibilité).

A mesure que cela sera possible (financièrement et techniquement) chaque station d'acquisition sera équipée d'un GPRS afin d'envoyer directement les fichiers de données sur le serveur.

## 1.7 La variable "temps"

L'ensemble des données acquises dans le cadre du SNO Tourbières sont des séries temporelles. Il est donc primordial d'avoir une nomenclature commune pour identifier le temps et d'homogénéiser pour chaque variable les fréquences d'acquisition entre les sites pour permettre des comparaisons fiables. La variable temps sera systématiquement la première colonne de chaque fichier. L'en-tête de cette variable est :

- **Time** = année, mois, jour, heure, minute, seconde de la ou des mesures présent sur la même ligne

La nomenclature retenue est celle recommandée par ICOS, ce qui devrait faciliter l'interopérabilité. Au cas où un ou des sites participeront à ICOS, les fichiers une fois sur le serveur de l'OSUC devront être envoyés vers le centre thématique sur le écosystèmes d'ICOS (ICOS Ecosystem Thematic Center, ETC<sup>4</sup>). Le format de la variable temps est le suivant :

- **aaaammjjhhmmss**

Pour les variables ICOS, la fréquence de mesure suivra les recommandations du réseau (spécifié par la suite). Pour les variables non-ICOS, si ce n'est déjà fait, il faudra se mettre d'accord sur ces fréquences. Point important : **toutes les variables seront mesurées et enregistrées à l'heure locale (UTC+1).**

---

4. <http://www.europe-fluxdata.eu/icos/home>

## 1.8 Nom des variables "météo-sol" - stations #001, #002 et #003

### 1.8.1 En-têtes

Le fichier envoyé quotidiennement par GPRS au serveur SNO Tourbières de l'OSUC contient des entêtes de colonnes avec le code de la variable et un code pour sa position. Les unités des variables se trouvent dans un fichier séparé valable pour toutes les stations. Le nom des variables suit la nomenclature suivante (ICOS) composé de 4 éléments séparés par un "tiret du 8" \_ :

**code variable \_ numéro profil \_ numéro altitude ou profondeur \_ numéro subplot**

**1 - code variable** composé de lettre(s) :

- **Pa** = pression atmosphérique
- **P\_rain** = précipitation sous forme de pluie
- **P\_snow** = précipitation sous forme de neige
- **SWin** = ondes courtes entrantes
- **SWout** = ondes courtes sortantes
- **LWin** = ondes longues entrantes
- **LWout** = ondes longues sortantes
- **PPFD** = photosynthetic photon flux density
- **NDVI** = Normalized Difference Vegetation Index
- **WS** = vitesse du vent
- **WD** = direction du vent
- **Rh** = humidité relative de l'air
- **Ta** = température de l'air
- **Ts** = température du sol
- **SWC** = teneur en eau du sol
- **G** = flux de chaleur dans le sol
- **GWL** = niveau de la nappe d'eau (dans empreinte EC)

**2 - numéro profil** composé d'un chiffre :

- **1** = premier profil
- **2** = deuxième profil

- **3** = troisième profil

**3 - numéro altitude ou profondeur** composé d'un chiffre :

- **1** = profondeur ou altitude la plus proche de la surface du sol
- **2** = profondeur ou altitude suivante (plus profond ou plus haut que 1)
- **3** = profondeur ou altitude suivante (plus profond ou plus haut que 2)<sup>5</sup>

**4 - numéro du subplot** composé d'un chiffre :

- **1** = capteur 1 du profil "i" à la profondeur ou altitude "j"
- **2** = capteur 2 du profil "i" à la profondeur ou altitude "j"
- **3** = capteur 3 du profil "i" à la profondeur ou altitude "j"

Exemple : la température du sol provenant du profil numéro 2 à la troisième profondeur et du premier subplot s'écriera :

**Ts\_2\_3\_1**

Toutes les variables ne seront pas acquises dans tous les sites, par exemple, la précipitation sous forme de neige ne sera mesurée qu'à Frasne et Bernadouze. Là où il n'y a pas de capteurs, il y a une colonne vide (2 séparateurs qui se suivent). Dans le cas de capteurs défaillants, il y a "9999". Autrement dit, les capteurs pas encore installés ne renvoient rien (colonne vide) et les capteurs installés qui ne donnent pas de données (e.g. câble sectionné) renvoient "9999".

Plusieurs variables peuvent être acquises par un même instrument, exemple : le Wind Sonic (Gill) est un instrument qui mesure 2 variables, la vitesse et la direction du vent.

---

5. le nombre de profondeur varie en fonction de la variable

La quantité de profil dépend du nombre de type de végétation dans l’empreinte de la mesure EC. Le niveau de site ICOS que nous viserons est le niveau 2. A ce niveau, il est requis un minimum de 2 profils par sites. Chaque profil comprend 1 profil complet et un profil additionnel pour une mesure supplémentaire du flux de chaleur dans le sol (grandeur physique spatialement très variable). Cependant, dans le cas où un troisième serait nécessaire/possible d’équiper, un maximum de 3 types de végétations a été retenu pour le fichier type. **Très important**, il est indispensable que les profils soient installés dans l’empreinte de la mesure par EC.

Le code de l’altitude ou de la profondeur ne correspond pas à des côtes définies (sauf pour -5 cm) et il n’y a pas de correspondance entre les variables. Par exemple, la première profondeur de température codifiée "1" correspondra à la profondeur juste en dessous des sphaignes où dans la litière, c’est à dire -1 ou -2 cm. La température codifiée "2" se situera à - 5 cm obligatoirement (norme ICOS). Ensuite, la température codifiée "3" correspondra à la profondeur - 10 cm, "4" à - 25 cm et "5" à -60 cm. La première sonde de teneur en eau Campbell CS 650, la teneur en eau codifiée "1", se situera à -5 cm (alors que la sonde température de la même profondeur est notée "2"). Il faudra garder à l’esprit que le volume élémentaire de mesure de la CS 650 se situe théoriquement dans un rayon de 10 cm autour de la sonde.

### 1.8.2 Fréquence d’acquisition

Les données sont acquises à une fréquence de 1 mesures par minute.

### 1.8.3 Répartition des variables météo-sol

Comme tous les capteurs "météo-sol" ne peuvent être installés sur une même station d’acquisition, il a été choisi de déployer une station d’acquisition (e.g. CR1000) par plot de mesures de la physique du sol. Cette contrainte technique a l’avantage de donner plus de flexibilité quant au déploiement des équipements sur le site pour couvrir la variabilité spatiale dans l’empreinte de la tour Eddy-Covariance et une sécurité quant à la sauvegarde des données pour le gap-filling : s’il n’y avait qu’une station et qu’elle tombe en panne, tout est perdu, alors qu’il est moins probable que les 2 stations soient hors service en même temps.

## 1.9 Nom des variables "eddy-covariance" - station #004)

### 1.9.1 En-têtes

Le fichier généré par la station d'acquisition du LICOR est envoyé quotidiennement au serveur SNO Tourbières de l'OSUC. Les flux sont des variables élaborées à partir de plusieurs variables listées ci-dessous. Le nom des variables suit la nomenclature suivante (ICOS) composé de 4 éléments séparés par un "tiret du 8" \_ :

code variable \_ numéro profil \_ numéro altitude ou profondeur \_ numéro subplot

1 - code variable :

- **TempIn** = température d'entrée de la cellule en °C
- **TempOut** = température de sortie de la cellule en °C
- **AvgTemp** = température moyenne de la cellule en °C
- **Dpres** = head pressure en kPa
- **Pres** = pression total en kPa
- **H2OAW0/H2OAW** = mesure brute H<sub>2</sub>O, référence / échantillon
- **H2OD** = concentration en H<sub>2</sub>O en mmol m<sup>-3</sup>
- **H2OMF** = fraction molaire d'H<sub>2</sub>O dans l'air sec en mmol m<sup>-3</sup>
- **CO2AW0/CO2AW** = mesure brute CO<sub>2</sub> référence / échantillon
- **CO2D** = concentration en CO<sub>2</sub> en mmol m<sup>-3</sup>
- **CO2MFd** = fraction molaire de CO<sub>2</sub> dans l'air sec en mmol m<sup>-3</sup>
- **CH4AW0/CH4AW** = concentration brute en CH<sub>4</sub> référence et échantillon
- **CH4D** = concentration en CH<sub>4</sub> en mmol m<sup>-3</sup>
- **CH4MFd** = fraction molaire de CH<sub>4</sub> dans l'air sec en mmol m<sup>-3</sup>
- **Path/Synch/PLL/DetOK/Chopper/PDif/Tin/Tout/Head** = valeurs diagnostiques LI-7200
- **fp** = pression du débit du 7200-101 en kPa (code à confirmer)
- **d** = débit (code à confirmer)

2 - numéro profil :



- 1 = premier station eddy-covariance

### **3 - numéro altitude ou profondeur :**

- 1 = altitude de mesure de la vitesse et direction du vent et des concentrations en différents gaz la plus proche de la surface du sol
- 2 = altitude suivante (plus haut que 1)

### **4 - numéro du subplot :**

- 1 = capteur 1 du profil "i" à l'altitude "j"
- 2 = capteur 2 du profil "i" à l'altitude "j"
- 3 = capteur 3 du profil "i" à l'altitude "j"

Il n'est pas prévu d'installer des profil de concentrations.

## **1.9.2 Fréquence d'acquisition**

Les données sont acquises à une fréquence de 20Hz.

## **1.9.3 Répartition des variables eddy covariance**

Une seule station par site est prévue. L'emplacement devra être établie à partir de la rose des vent et de la surface disponible pour optimiser le nombre de flux calculables. Pour chaque site, ce choix devra faire l'objet d'une discussion suivi d'un consensus entre tous les membres du SNO Tourbières impliqués par ces mesures. Des avis extérieurs seront si besoin demandé.

## 1.10 Nom des variables "biogéochimie de l'eau" - station #005)

### 1.10.1 En-têtes

Les données mesurées par les fluorimètres sont stockées dans une station d'acquisition incorporée à l'instrument de mesure (cas du Xylem) ou indépendante du capteur (cas du Schnegg). les données sont récupérées régulièrement lors des missions de terrain. Les données acquises par le fluorimètre ne sont pas requises par ICOS. Les noms des entêtes de colonnes sont composés de 4 éléments séparés par un "tiret du 8" \_ :

**code variable \_ numéro profil \_ numéro altitude ou profondeur \_ numéro subplot**

#### 1 - code variable :

- **FDOM** = fluorescence de la matière organique dissoute
- **Turb** = turbidité
- **Cond** = conductivité

#### 2 - numéro profil :

- **1** = premier fluorimètre

#### 3 - numéro altitude ou profondeur :

- **1** = position du capteur dans la colonne d'eau (toujours 1)

#### 4 - numéro du subplot :

- **1** = capteur 1 du profil "i" à l'altitude "j" (toujours 1)

La variable cible "flux de carbone organique dissous" (FDOC) sera calculée avec les données FDOM et DOCm (cf section 1.12). La variable cible "flux de carbone organique particulaire" (FPOC) sera calculée avec les données Turb et POCm (cf section 1.12).

### **1.10.2 Fréquence d'acquisition**

Les données acquises par ces sondes ne rentrent pas dans le cadre ICOS. Les mesures seront effectuées et enregistrées toutes les 30 minutes (voire 15 minutes).

## 1.11 Nom des variables "hydro" - stations #006 à #020

### 1.11.1 En-têtes

Les données mesurées par les sondes piézométriques sont stockées dans une station d'acquisition incorporée à l'instrument de mesure. Il est préférable que la corrections de la pression atmosphérique soit réalisée directement par la sonde. Les données sont récupérées régulièrement lors des missions de terrain. Les données acquises par les sondes OTT hors profil "météo-sol" ne sont pas requises par ICOS. Les noms des entêtes de colonnes sont composés de 4 éléments séparés par un "tiret du 8" \_ :

**code variable \_ numéro profil \_ numéro altitude ou profondeur \_ numéro subplot**

**code variable :**

— **GWL** = niveau de la nappe d'eau (hors empreinte EC)

**1 - numéro du plot :**

- **6** = sonde de la station d'acquisition #006
- **7** = sonde de la station d'acquisition #007
- ... = ...
- **20** = sonde de la station d'acquisition #020

**2 - numéro altitude ou profondeur :**

- **1** = la mesure de niveau d'eau ne se fera qu'à une seul profondeur.

**3 - numéro du subplot :**

- **1** = capteur 1 du profil "i" à l'altitude "j"

Par exemple, le nom de la colonne correspondant aux mesures de niveau d'eau dans le piézomètre ce trouvant le plus en aval de la tourbière de La Guette (habituellement appelé WO) s'écrira :

GWL\_6\_1\_1, dans le fichier FR\_LGT\_006\_14\_001\_0000.csv

### **1.11.2 Fréquence d'acquisition**

Les données acquises par ces sondes ne rentrent pas dans le cadre ICOS. Les mesures seront effectuées et enregistrées toutes les 30 minutes.

## 1.12 Nom des variables "GHG" - équipements #101 à #105

### 1.12.1 En-têtes

Les données des mesures de flux avec les chambres sont stockées dans un logger manuel (type Vaisala pour mesures manueles) ou dans une station d'acquisition incorporée au module de mesure (type chambre automatique Licor). Afin de traiter les données de la même façon, il est demandé de transmettre les données de concentrations en fonction du temps (acquisition minimum d'une mesure toute les 10 secondes - 0,1 Hz). Les mesures seront réalisées avec une chambre transparente (NEE) et opaque (RE). Les variables cibles que sont les flux de NEEc, REc et FCH4c seront calculées à partir des variables ci-dessous. La variable cible GPPc est calculée à partir des variables NEEc et REc. Les noms des entêtes de colonnes sont composés de 4 éléments séparés par un "tiret du 8" \_ :

**code variable \_ numéro profil \_ numéro altitude ou profondeur \_ numéro subplot**

**code variable :**

- **NEEc** = concentration en CO2 en ppmv avec la date et le temps (précision à la seconde) de la mesure de l'échange net de l'écosystème
- **NEEcTa** = température de l'air dans la chambre lors de la mesure de l'échange net de l'écosystème
- **NEEcPa** = pression de l'air dans la chambre lors de la mesure de l'échange net de l'écosystème
- **NEEcV** = volume de mesure de l'échange net de l'écosystème
- **NEEcWV** = hygrométrie dans la chambre lors de la mesure de l'échange net de l'écosystème, si disponible
  
- **REc** = concentration en CO2 en ppmv avec la date et le temps (précision à la seconde) de la mesure de l'échange net de l'écosystème
- **REcTa** = température de l'air dans la chambre lors de la mesure de l'échange net de l'écosystème
- **REcPa** = pression de l'air dans la chambre lors de la mesure de l'échange net de l'écosystème

- **REcV** = volume de mesure de l'échange net de l'écosystème
- **REcWV** = hygrométrie dans la chambre lors de la mesure de l'échange net de l'écosystème, si disponible
- **GPPc** = Production Primaire Brute
- **FCH4cc** = concentration en CO2 en ppmv avec la date et le temps (précision à la seconde) de la mesure de l'échange net de l'écosystème
- **FCH4cTa** = température de l'air dans la chambre lors de la mesure de l'échange net de l'écosystème
- **FCH4cPa** = pression de l'air dans la chambre lors de la mesure de l'échange net de l'écosystème
- **FCH4cV** = volume de mesure de l'échange net de l'écosystème
- **FCH4cWV** = hygrométrie dans la chambre lors de la mesure de l'échange net de l'écosystème, si disponible

#### numéro du plot :

- **1** = plot 1
- = plot 2
- **...** = ...
- **10** = plot 10

#### numéro altitude ou profondeur :

- **1** = l'échange de gaz ne se réalise qu'à une seule profondeur/altitude.

#### numéro du subplot :

- **1** = il n'y a qu'un subplot par point de mesure

### 1.12.2 Fréquence d'acquisition

Les données sont acquises à une fréquence variable en fonction de la disponibilité des personnels impliqués dans ces mesures. Un minimum d'une mesure par saison est recommandé.

## 1.13 Nom des variables "GHG", "Biogéo" et "Hydro" acquiesent manuellement - équipements #106 à #113

### 1.13.1 En-têtes

Les données des mesures manuelles pourront être consignées dans des fichiers de logiciel de type tableur ou bloc notes qui seront ensuite convertis en fichier .csv. Ces variables cibles n'étant pas requises par ICOS, elles pourront être stockées directement après les calculs par expert quand cela est nécessaire (e.g. mesure du débit Q). Dans ces cas là, tous les détails de la méthode de mesure et des calculs devront être consignés dans les fichiers de métadonnées. Dans le cas où un tiers demanderait les données originelles, les opérateurs/experts devront être capables de fournir ces données. Les noms des entêtes de colonnes sont composés de 4 éléments séparés par un "tiret du 8" \_ :

**code variable \_ numéro profil \_ numéro altitude ou profondeur \_ numéro subplot**

**code variable :**

- **LAI<sub>m</sub>** = indice de surface des feuilles ou leaf area index mesuré manuellement
- **DOC<sub>m</sub>** = carbone organique dissous ou dissolved organic carbon mesuré manuellement
- **POC<sub>m</sub>** = carbone organique particulaire ou particulate organic carbon mesuré manuellement
- **pH<sub>m</sub>** = pH mesuré manuellement
- **Cond<sub>m</sub>** = conductivité mesuré manuellement
- **GWL<sub>m</sub>** = niveau de nappe mesuré manuellement
- **Q<sub>m</sub>** = débit mesuré manuellement

**numéro du plot :**

- **1** = plot 1



- **2** = plot 2
- ... = ...
- **i** = plot i

**numéro altitude ou profondeur :**

- **1** = toutes ces mesures ne sont réalisées qu'à une seule profondeur/altitude.

**numéro du subplot :**

- **1** = hormis pour LAIm, il n'y a qu'un subplot par point de mesure

### **1.13.2 Fréquence d'acquisition**

Les données sont acquises à une fréquence variable en fonction de la disponibilité des personnels impliqués dans ces mesures. Un minimum d'une mesure par saison est recommandé.

## Chapitre 2

# Le système d'information en environnement - SIE

Modification volontaire S. Gogo, ...

### 2.1 Cadre et objectif du SIE

Les activités d'observations génèrent un grand nombre de données qu'il s'agit de collecter, stocker et traiter. Le système d'information en environnement (SIE) du SNO Tourbières est l'outil informatique qui permettra la gestion des données. Il est composé d'un serveur (SRV-SO), d'un intégrateur de données, Talend, d'une base de données en MySQL et d'une interface web (sur le site : <http://www.sno-tourbieres.cnrs.fr/>). Afin d'augmenter la diffusion des résultats et des données acquises, il est prévu de rédiger une version en anglais du site internet.

Le SIE est basé à l'OSUC, où convergent les données du SNO Tourbières et il a pour but de :

- **collecter et stocker les données "obligatoires" acquises à haute fréquence et télé-transmises par les stations d'acquisition des différents sites du réseau,**
- **collecter et stocker les données "obligatoires" acquises à haute fréquence par d'autres appareils de mesures, mais non télé-transmises (envoi par opérateur),**

- collecter et stocker les données "obligatoires" acquises ponctuellement par un opérateur,
- intégrer les données dans une base de données,
- réaliser des traitements de données : "flaguer" les données en fonction de seuils et produire des données calculées,
- permettre, via une interface web, aux responsables de sites de réaliser le contrôle des données,
- permettre, via une interface web, aux public de voir les observations réalisées par le SNO Tourbières,
- permettre, via une interface web, le téléchargement de données.

## **2.2 Rôle des différents éléments du SIE SNO Tourbières**

### **2.2.1 Le serveur "SRV-SO"**

Le serveur "SRV-SO" est le lieu où convergent les fichiers contenant les données des différents sites. Le nom des fichiers est définie dans le chapitre 1. Les fichiers sont dans des dossiers classés par site. Ceci permettra de mettre en place un accès limité aux dossiers : chaque responsable de site aura accès au dossier de son site et pas aux autres. C'est dans le SRV-SO que l'intégrateur de données Talend viendra "récupérer" les données.

### **2.2.2 L'intégrateur de données Talend**

Talend est un éditeur de logiciel au code source ouvert. Il permet la création de routine pour l'intégration des données dans la base : formatage, réalisation de tests déterminés par l'analyse de données déjà validées (e.g. calcul de la déviation standard et de l'intervalle  $\pm 95\%$ ) et de "flaguer" les données validées par le traitement et celles non validées nécessitant la validation par un expert.

### **2.2.3 La base de données**

La base de données est un outils qui permet de stocker des données et de les mettre en relation en fonction d'un modèle. Ce modèle définit les relations possibles entre les différentes tables. Ces tables contiennent les données acquises par les capteurs, mais également des variables calculées à partir des données brutes, les informations concernant la gestion des accès aux données et les métadonnées (information sur les capteurs, sur les événements affectant le monitoring). La base de données peut être interrogée par une interface web pour la visualisation et le téléchargement des données sélectionnées en ligne. Elle est également interopérables, c'est à dire qu'elle peut être interrogée par une autre base de données.

La base de données sera localisée sur une autre support physique que le SRV-SO. La sauvegarde séparée d'une copie de l'ensemble des données limitera les risques de perte de données en cas de problèmes techniques.

## 2.3 Les flux de données

Différentes étapes se succèdent dans différents contextes, depuis la génération de la donnée par un capteur sur le terrain, jusqu'à sa mise en disposition par une interface web. Tout d'abord, les données peuvent être injectées sur le SRV-SO de différentes façons :

- automatiquement par une machine quand la télé-transmission est possible,
- par un opérateur humain qui est allé récupérer les données sur un datalogger,
- par un opérateur humain qui a fait la mesure lui même sur le terrain ou au laboratoire après un prélèvement sur le site.

Ensuite, l'intégrateur de données Talend prend les données du SRV-SO et peut réaliser différents formatages et calculs avant d'envoyer les données dans la base de données (Fig. 2.1). Ces tests et calculs doivent être définis. Enfin, la base de données peut être interrogée via une interface web pour visualiser et/ou télécharger les données (Fig. 2.1). Ceci doit s'accompagner de différentes actions (comptage des téléchargements de chaque variable, message d'information pour la citation dans des articles). Il faut également souligner qu'en plus de tous les fichiers de données, des fichiers de métadonnées sont générés récapitulant l'historique des capteurs pour chaque variables et les opérations des différentes personnes impliquées dans le suivi au jour le jour des sites. Le flux des métadonnées doit également être définis.

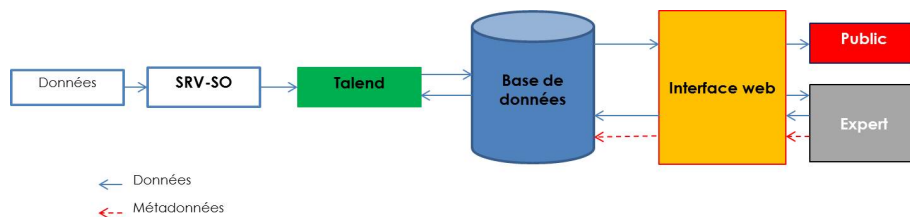


FIGURE 2.1 – Schéma global des flux de données et de métadonnées.

### 2.3.1 Des capteurs vers le serveur SRV-SO

#### Cas 1 : données acquises à haute fréquences et télé-transmises

Les données acquises à haute fréquence et télé-transmises proviennent des 2 (ou 3) stations météo-sol (#001, #002, #003) et de la tour eddy cova-

riance (#004). Les variables mesurées sur les sites du SNO Tourbières sont les mêmes dans tous les sites. Cependant, suivant les circonstances particulières à chaque site, la répartition de l'ensemble des capteurs, et donc des données qui en résultent, peut être différente entre les sites. Par conséquent, les programmes des stations peuvent être différents (Fig. 2.2). Entre les sites, les fichiers générés par les stations ne sont donc pas exactement les mêmes en ce qui concerne l'ordre des variables. Chaque fichier a un nom et des entêtes de colonnes qui respectent obligatoirement la nomenclature décrite dans le premier chapitre. De cette manière, quelque soit l'ordre des variables, Talend est capable de reconnaître le site, la station d'acquisition, les variables et les paramètres de celles-ci. Pour chaque site, les fichiers de données en sortie de capteur sont envoyés dans le dossier "data" correspondant se trouvant sur le serveur SRV-SO localisés à l'OSUC.

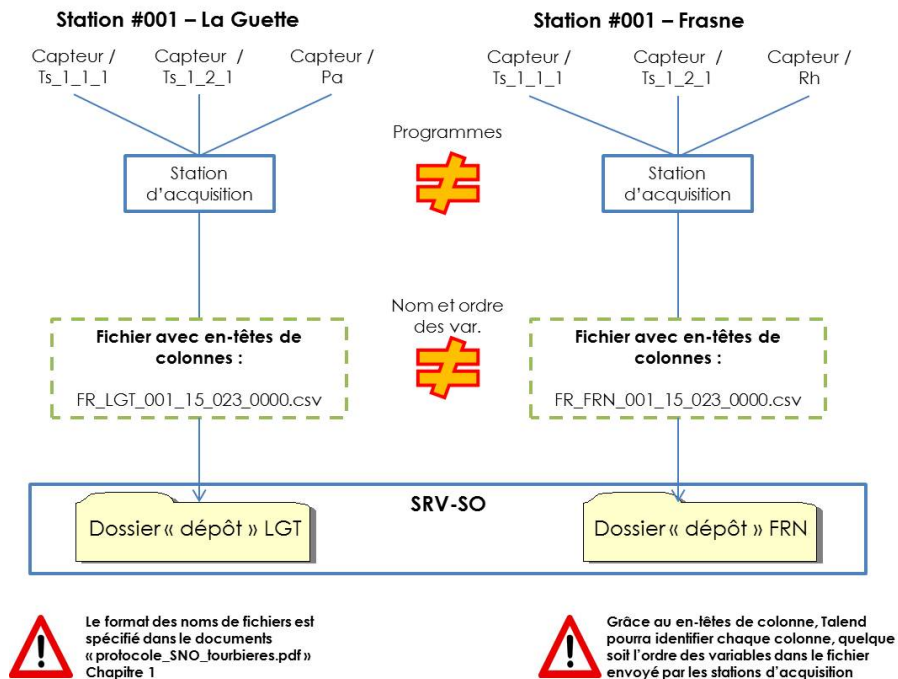


FIGURE 2.2 – Flux de données des **capteurs** vers **SRV-SO** des variables acquises à **haute fréquence**, régulièrement et **télé-transmises**.

## Cas 2 : données acquises à haute fréquences et chargées par un opérateur

Les données acquises à haute fréquence et transmises sur le SRV-SO par un opérateur proviennent du fluorimètre à l'exutoire (station #005) et des

sondes de niveau de la nappe d'eau (station de #006 à #020). Ces stations d'acquisition sont visitées à intervalles réguliers par un opérateur qui, en plus de récupérer les données, assure la maintenance de ces équipements. Avec un ordinateur de terrain, l'opérateur se connecte sur la sonde avec un câble adapté et récupère 1 à plusieurs fichiers. Ces fichiers ne sont pas nécessairement au format recommandés (voir chapitre 1). Il est du ressort de l'opérateur/expert de formater les fichiers sans faire aucun traitement sur les données (données en sortie de capteur) et de les déposer dans le dossier "data" correspondant sur le seveur SRV-SO, de manière à être visibles et traitables par Talend .

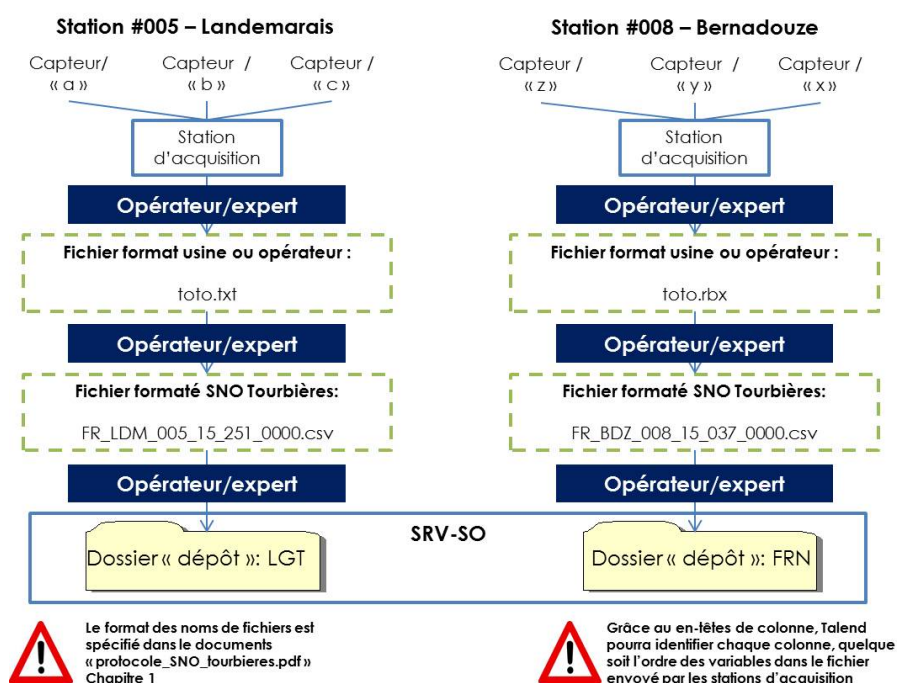


FIGURE 2.3 – Flux de données des **capteurs** vers **SRV-SO** des variables acquises à **haute fréquence**, régulièrement et **transmises par un opérateur**.

### Cas 3 : données acquises à basse fréquences et chargées par un opérateur

Les données acquises à basse fréquence et transmises sur le SRV-SO par un opérateur proviennent des mesures de flux de C par les chambres d'accumulation et des variables associées (équipements de #101 à #109), les mesures biogéochimiques (équipements de #110 à #112) et les mesures manuelles

de niveau d'eau (équipement #113). L'opérateur/expert formate les données en suivant les recommandations spécifiées. Les informations concernant le(s) opérateur(s) et expert(s), les équipements, les méthode de mesures, d'analyse et/ou de traitements des données seront précisées dans les métadonnées. L'opérateur/expert déposera les données dans le dossier correspondant sur le serveur SRV-SO (Fig. 2.4)

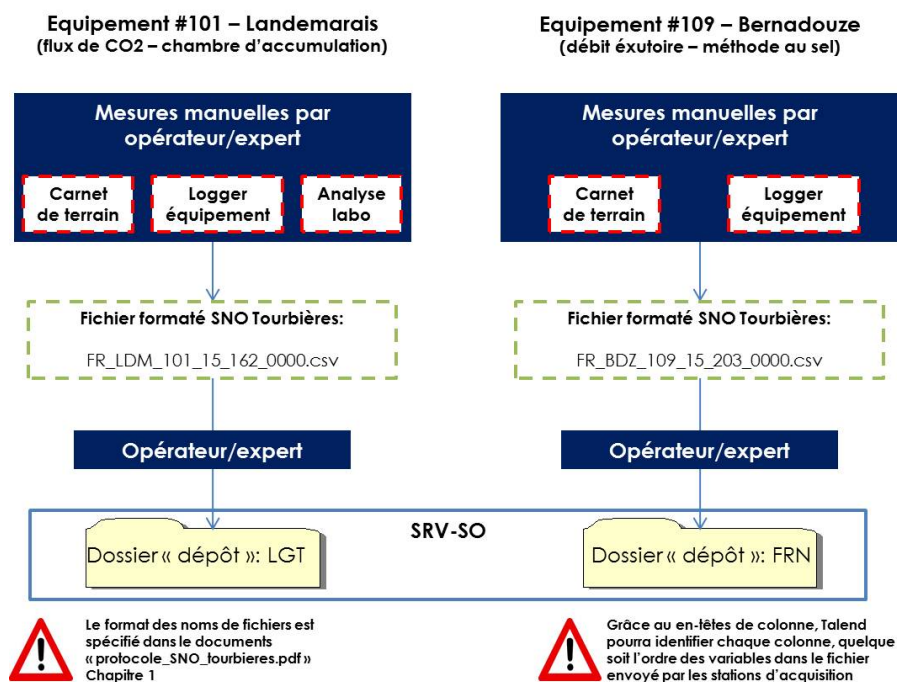


FIGURE 2.4 – Flux de données **capteur - SRV-SO** des variables acquises à **basse fréquence**, irrégulièrement (mesures manuelles sur le terrain ou au laboratoire) et **transmises par un opérateur**.

### 2.3.2 L'arborescence du serveur SRV-SO

Sur le serveur SRV-SO se trouve un dossier "data" qui contient toute les données à inclure dans le SIE. A l'intérieur de ce dossier se trouve 4 dossiers correspondant aux 4 sites du SNO Tourbières. L'accès à ces données qui doit être régulé. Pour chaque site, 3 dossiers sont présents : "data brutes" correspondant aux données avec un état d'élaboration le moins développé (souvent data en sortie de capteur, cf subsection 1.3.1), "data échec" et "data corrigées". Le dossiers "data brutes" contient les fichiers de données brutes provenant des stations d'acquisitions et des mesures manuelles (si ces dernières subissent



un traitement, il devra être précisé dans les métadonnées). Les données des stations de #001 à #004 sont transmises tous les jours et toutes les autres sont transmises annuellement. Le dossier "data échec" contient les fichiers de données n'ayant pas passé les tests réalisés par Talend. Le dossier "data corrigées" contient les fichiers de données corrigées après analyses des données flaguées lors des tests. Les modifications devront être consignées dans les métadonnées.

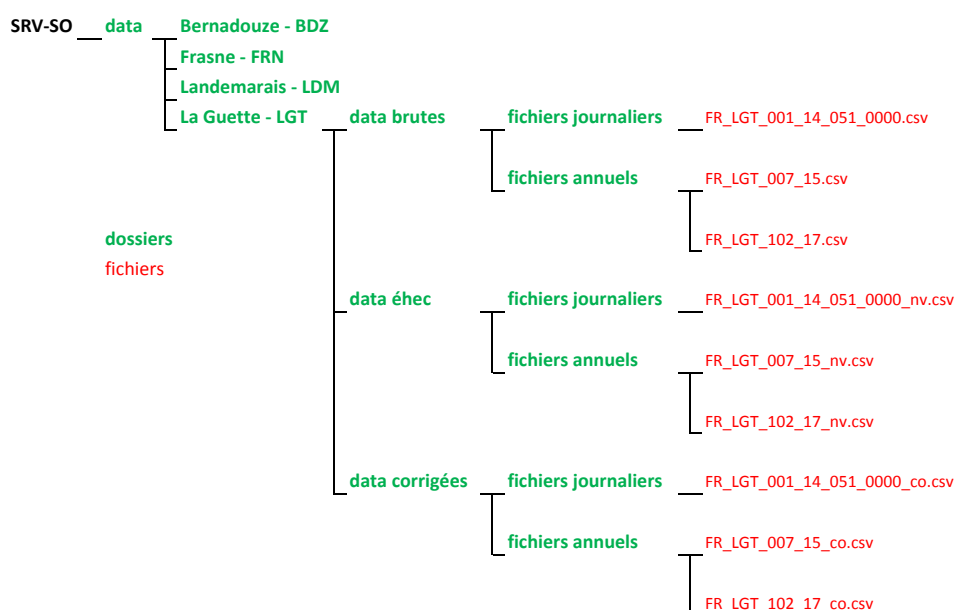


FIGURE 2.5 – Arborescence du SRV-SO. Les types de données et les stations/équipement concernés sont précisés

Les fichiers journaliers correspondent aux données acquises à hautes fréquences et télétransmises tous les jours (stations de 001 à 005). Les fichiers annuels correspondent aux données acquises soit à hautes (stations de 005 à 020) ou à basses fréquences (équipements de 101 à 110), mais dans les 2 cas transmises par un opérateur/expert avec une fréquence minimale d'au moins une fois par an. Pour chaque fichier de données brutes dans lesquels des échecs ont été observés, un fichier .csv sera généré avec un "nv" pour "non-validé" listant les données ne passant pas les tests. Pour chaque fichier de données en échec (xxx\_nv.csv), un fichier xxx\_co.csv sera produit par l'expert avec "co" pour "corrigé" listant les données corrigées.

### 2.3.3 De SRV-SO à la base de données par Talend

Avant d'être intégrés dans la base, Talend réalise des tests sur les données. Il va chercher les données brutes sur SRV-SO (Fig 2.6). Grâce au nom des fichiers, il est capable de situer le jeu de données dans l'espace et le temps. Avec les entêtes de colonnes, Talend est capable de connaître la variable et sa localisation dans le profil. En parallèle, il extrait de la base des données déjà validées. Il calcule à partir de ces données une dispersion autour de la moyenne (e.g. déviation standard) et un intervalle  $\pm 95\%$ . Il confronte les données non-validées à cet intervalle. Talend flague les données tombant dans l'intervalle comme valide avec un "v" et les données hors de l'intervalle comme non-valide "nv". Un fichier avec un "nv" ajouté au nom du fichier brut est généré regroupant les données non valides et envoyé dans le dossier "échec" du SRV-SO (Fig 2.6). Les fichiers de données contiendront un "co" pour corrigé dans leur nom et les données corrigées seront flaguées avec "v" pour validées.

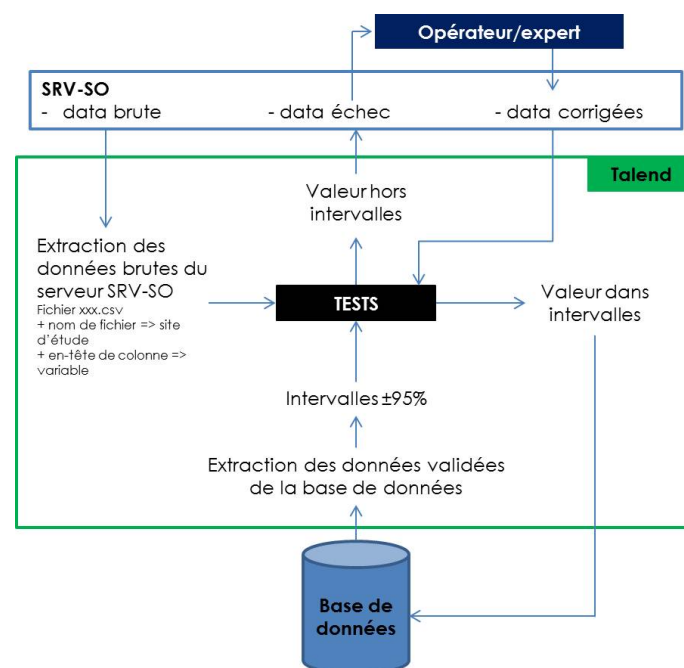


FIGURE 2.6 – Flux de données liés à l'intégrateur de données Talend (réalisé à partir du schéma proposé par A. Hertout).

### 2.3.4 De la base de données au public

Les données brutes, corrigées et calculées pourront être visualisées et téléchargées par tout le monde à partir de l'interface web de la base de données, accessible sur le site web du SNO Tourbières : <http://www.sno-tourbieres.cnrs.fr/spip.php?article4>.

### 2.3.5 Intervention de l'expert sur les données

L'intervention sur les données par un expert se produit dans différents cas de figures :

- 1. données flaguées non-valide par Talend nécessitant une correction
- 2. données flaguées non-valide par Talend ne nécessitant pas de correction
- 3. données flaguées valide par talend nécessitant une correction
- 4. données nécessitant un ajustement à cause d'une dérive
- 5. calcul de nouvelles variables à partir des données corrigées

**Cas 1.** Une fois le traitement Talend effectué, l'expert analyse les données qui ont été répertoriées dans le fichier échec. Les données flaguées non-valide sont effectivement incorrectes. L'expert réalise les corrections et dépose les données dans le fichier "data corrigées" et les données sont traitées de nouveau par Talend. Les fichiers log correspondant (cf section flux des métadonnées) devront être renseignés.

**Cas 2.** Une fois le traitement Talend effectué, l'expert analyse les données qui ont été répertoriées dans le fichier échec. Les données flaguées non-valide sont en fait correctes. Elles correspondent soit aux extrêmes de la loi normale, soit à des événements particuliers qui sortent de la loi normale. L'expert ne réalise pas de corrections et il doit être en mesure de changer le flag de données particulières via l'interface web. Les fichiers log correspondant (cf section flux des métadonnées) devront être renseignés.

**Cas 3.** Une fois le traitement Talend effectué, l'expert visualise sur l'interface web les données qui ont été flaguées comme valides. Des données flaguées valide peuvent se révéler être incorrecte. Elles peuvent correspondre à des données entrant dans l'intervalle, mais irréaliste (exemple : température de l'air à  $-1^{\circ}\text{C}$  au mois de juillet pendant une mesure). L'expert réalise les corrections et dépose les données dans le fichier "data corrigées" et les données sont traitées de nouveau par Talend. Les fichiers log correspondant (cf section flux des métadonnées) devront être renseignés.

**Cas 4.** Certains capteurs peuvent dériver. Quand un suivi de la dérive est réalisé (e.g. capteur de pluviométrie) ou quand un capteur similaire de secours est disponible (e.g. capteur de luminosité à la tourbière des Landes à 10 km de La Guette), un calcul de dérive est possible. Ces calculs n'étant par définition pas prévisibles, il est difficile d'automatiser ces procédures. L'expert réalise donc lui-même la procédure de dérive et dépose les données corrigées dans le dossier "data corrigées". Les fichiers log correspondant (cf section flux des métadonnées) devront être renseignés.

**Cas 5.** L'expert peut calculer des nouvelles variables d'intérêt à partir des variables déjà enregistrées sur la base de données, comme par exemple l'évapotranspiration potentielle. Si possible, ces calculs seront automatisés par l'intégrateur de données Talend. Si ce n'est pas possible, l'expert devra être capable de rentrer les données calculées à partir de la base de données. Les fichiers log correspondant (cf section flux des métadonnées) devront être renseignés.

## 2.4 Flux des métadonnées

### 2.4.1 Sur les capteurs

Une fiche de métadonnées doit être remplie pour chaque capteur installé ayant ou en train de générer des données. Les renseignements devront être les suivant :

- modèle (avec numéro de série si possible)
- variable(s) mesurée(s)
- précision, justesse de la (des) mesure(s)
- site(s) d'installation et point GPS
- date de la première mesure
- date de la dernière mesure si capteur HS
- installateur(s)
- personne(s) en charge de la maintenance
- expert(s) de la (des) variable(s) générée(s) par le capteur
- historiques des évènements intervenus sur ce capteur

### 2.4.2 Sur les variables générées par les capteurs ou les équipements

Une fiche de métadonnées doit être remplie pour chaque variable ayant été mesurée ou en cours de mesure sur le terrain ou au laboratoire. Les renseignements devront être les suivant :

- nom de la variable
- code
- modèle du capteur (avec numéro de série si possible) pour chaque période de mesure
- période d'acquisition pour chaque capteur si plusieurs capteurs ont été utilisés
- calcul de la variable réalisée par la sonde si réalisé
- post-traitement 1 : test Talend et résultats
- post-traitement 2 : calcul de calibration, toutes informations sur la calibration
- expert(s) en charge de valider la variable

### 2.4.3 Sur les variables calculées

Une fiche de métadonnées doit être remplie pour chaque variable calculée à partir des données générées par les capteurs (e.g. é). Les renseignements devront être les suivant :

- nom de la variable
- code
- nom des variables utilisées pour les calculs
- détails des calculs
- post-traitement 1 : test Talend et résultats
- post-traitement 2 : calcul de calibration, toutes informations sur la calibration
- expert(s) en charge de validé la variable

## 2.5 Gestion de l'accès au serveur SRV-SO

L'accès au serveur SRV-SO sera pour tout ou partie accordé à un nombre restreint de membres du SNO Tourbières. Les personnes ayant accès à tout le serveur sont :

- **Laurent Catherine** - informaticien OSUC
- **Yohan Brossard** - informaticien OSUC
- **Laurent Perdereau** - acquisition et transmission des données
- **Stéphane Binet** - hydrologie des sites du SNO Tourbières
- **Fatima Laggoun** - coordinatrice du SNO Tourbières et responsable du site "La Guette"
- **Sébastien Gogo** - coordinateur du SNO Tourbières et responsable du site "La Guette"

Les personnes ayant accès aux dossiers du site de Bernadouze sont :

- **Didier Galop**
- **Laure Gandois**
- **Emilie Lerigoleur**
- **Gaël Leroux**

Les personnes ayant accès aux dossiers du site de Frasne sont :

- **Daniel Gilbert**
- **Marie-Laure Toussaint**
- **Catherine Bertrand**

Les personnes ayant accès aux dossiers du site de Landemarais sont :

- **André-Jean Francez**
- **Guillaume Bouger**
- **Laurent Jeanneau**

D'autres personnes pourront avoir accès aux fichiers sur demande auprès des informaticiens de l'OSUC et validation par les coordinateurs.

## 2.6 Gestion des téléchargement des données

Les données doivent être le plus librement accessibles au public, scientifique ou non. Elles pourront être téléchargeable à partir de l'interface web de la base de données. Les informations suivantes devront être renseignées dans un formulaire :

- site
- date de début
- date de fin
- variables(s)
- données pas encore validées avec log des variables et capteurs correspondant
- données validées avec log des variables, des capteurs et des corrections correspondant

Après la première ligne du fichier téléchargé contenant les codes des variables, seront indiqués dans une deuxième ligne les unités.

Une fois que l'internaute aura rempli le formulaire et validé sa demande, une fenêtre d'information lui indiquera qu'il pourra librement utiliser les données à condition d'inclure le SNO Tourbières dans les remerciements des articles scientifiques dont les données téléchargées seront le support et si possible de prévenir les coordinateurs du SNO Tourbières de la publication de ces articles. Une fois cochée la case : "j'ai pris connaissance de la condition requise pour utiliser les données", les données seront directement mise à disposition au format .csv (fenêtre d'enregistrement classique) sans le besoin d'une validation de la demande par un responsable du SNO Tourbières. Aucun courriel, ni nom, ni organismes seront demandés et par conséquent enregistrés. Aucune demande à la CNIL ne sera nécessaire. Les informations enregistrées seront juste les suivantes : nombre des visites de l'interface web, nombre de fichiers de données téléchargé avec les variables demandées.



# Chapitre 3

## Variables météorologique et physique du sol

S. Gogo, ...

### 3.1 Cadre et objectif des mesures

Le présent document porte sur toutes les mesures acquises par les stations d'acquisition, généralement des CR1000 (Campbell), présentes sur chaque site du service national d'observation (SNO) Tourbières et dédiées aux mesures météorologique et de la physique du sol. La majorité des informations proviennent des manuels d'utilisation fournis par le fabricant ou le revendeur.

Les indications de positionnement des capteurs doivent être suivies au mieux. Tout écart aux positionnement standard doivent être spécifiés pour évaluer la qualité des données.

**L'objectif de ces mesures sont :**

- caractériser d'un point de vue climatique chaque site
- compléter les mesures pour l'étude du bilan hydrologique de chaque site (pluviométrie, évapotranspiration)
- fournir des données pour réaliser le "gap filling" des données acquises par le système d'Eddy Covariance

- permettre le contrôle et l'assurance de la qualité des données acquises par le système d'Eddy Covariance
- aider à l'interprétation des données acquises par le système d'Eddy Covariance
- fournir des données pour la modélisation dans le cadre du SNO Tourbières ou de tout autre programme de recherche (mise à disposition des données)

## 3.2 Organisation des équipements

### 3.2.1 Nombre de station d'acquisition

Sur chaque site du réseau, il y aura un minimum de 2 stations d'acquisition pour les variables météorologique et physique du sol : la station #001 pour les mesures météorologiques et un premier profil de sol et la station #002 pour les mesures du deuxième profil de sol. Une troisième station est théoriquement prévue (#003). Nous adopterons le nombre et la nomenclature des variables recommandées par ICOS pour les sites de niveau 2.

### 3.2.2 Installation des stations

Les capteurs météorologiques devront être installés en hauteur (environ 2m) et de manière à éviter le plus possible des perturbations (végétation de taille haute le plus loin possible). L'installation sur une plateforme est recommandée.

Pour être représentatifs des conditions dans l'empreinte des mesures de flux par eddy covariance, les capteurs de physique du sol devront être installés sous la végétation dominante dans l'empreinte. Si l'empreinte est couverte à part égale de 2 types de végétations, une station sera mise dans chaque type de végétation.

Pour des raisons pratiques, les capteurs de physique du sol du profil 1 seront branchées sur la station météorologiques (station météo-sol #001, météo classique + sol). Egalement pour des raisons pratiques, les capteurs du deuxième profil pourront être branchés sur une deuxième station d'acquisition (#002) installées sur le trépied supportant les capteurs de mesure de flux par eddy covariance.

### 3.3 Les variables : mesures, nomenclature, et capteurs

Les détails des informations concernant les noms de fichier, le nombre et le type de variables et leur code sont disponibles dans le chapitre 1.

Pour rappel voici la liste des variables cibles concernées par ce chapitre.

**code variable :**

- **Pa** = pression atmosphérique
- **P\_rain** = précipitation sous forme de pluie
- **PPFD** = photosynthetic photon flux density
- **WS** = vitesse du vent
- **WD** = direction du vent
- **RH** = humidité relative de l'air
- **Ta** = température de l'air
- **Ts** = température du sol
- **SWC** = teneur en eau du sol
- **G** = flux de chaleur dans le sol
- **GWL** = niveau de la nappe d'eau
- **SWin** = ondes courtes entrantes
- **SWout** = ondes courtes sortantes
- **LWin** = ondes longues entrantes
- **LWout** = ondes longues sortantes

Plusieurs variables peuvent être acquises par un même instrument, exemple : la vitesse et la direction du vent sont mesuré par un anémomètre (e.g. Wind Sonic de Gill).

#### 3.3.1 Les capteurs

Même si compte-tenu des contraintes de tous ordres, l'uniformisation du parc analytique sera difficile, les membres du SNO Tourbières s'engage à tendre vers cette uniformisation pour une meilleure comparaison entre site et pour diminuer la complexité de la gestion des équipements et des données (un équipement différent dans chaque site pour une même variables implique 4 fournisseur différents, etc...).

Les équipements dont on se propose l'installation sur les sites respectent au mieux les recommandations ICOS (tableau 3.1).

TABLE 3.1 – Liste des capteurs correspondant au variables cibles obligatoires et leur nombres dans une configuration minimale.

<b>Variable</b>	<b>Modèle</b>	<b>Marque</b>	<b>N</b>
Pression atmosphérique	PTU300	Vaisala	1
Pluviométrie	ARG100	Campbell	1
Rayonnement photosynthétique actif	SKP215	Campbell	1
Vitesse du vent	Windsonic	Gill	1
Direction du vent	Windsonic	Gill	1
Humidité relative de l'air	HMP155A	Vaisala	1
Température de l'air	HMP155A	Vaisala	1
Température du sol	107	Campbell	16
Teneur en eau du sol	CS650	Campbell	8
Flux de chaleur dans le sol	HFP01SC	Hukseflux	4
Niveau de la nappe d'eau	CS451	Campbell	2
Ondes courtes entrantes	CNR4	Kipp-Zonen	1
Ondes courtes sortantes	CNR4	Kipp-Zonen	1
Ondes longues entrantes	CNR4	Kipp-Zonen	1
Ondes longues sortantes	CNR4	Kipp-Zonen	1

La suite du document détaille les principe de mesure de chaque capteurs, donne des précision éventuelles sur son positionnement et sa maintenance, ainsi que tous les calculs nécessaire à l'élaboration de la variable cible (signaux du capteurs, dérive, calibration)

### **3.4 Pression atmosphérique - Pa - PTU300**

#### **3.4.1 Principe de mesure et unité**

#### **3.4.2 Positionnement du capteur**

#### **3.4.3 Maintenance du capteur**

#### **3.4.4 Elaboration de la variable cible**

Calibration et dérive du capteur

Calcul de la variable cible et autres variables

## 3.5 Pluviométrie - P\_rain - ARG100

### 3.5.1 Principe de mesure et unité

L'ARG100 est un pluviomètre à augets basculeurs. Il est constitué d'un entonnoir qui récupère la pluie et d'une base. La base est constituée de deux parties. La partie intérieure contient les augets (Fig.5.3). La partie externe est fixée sur une plaque en fer installée sur un support stable.

La pluie qui entre dans l'entonnoir est dirigée vers un des deux augets. Quand celui-ci est rempli d'une quantité déterminée correspondant à 0.2 mm de précipitation, il bascule permettant sa vidange et la mise en position du deuxième auget qui se remplit à son tour. Un bras est fixé aux augets (Fig.5.3) et à chaque bascule, le mouvement du bras force un aimant à passer devant un commutateur à lame souple (Fig.5.3), créant un contact pendant quelques millisecondes. Le nombre de bascule est ainsi compté et enregistré par la centrale d'acquisition.

L'unité de mesure est le millimètre, mm.

### 3.5.2 Positionnement du capteur

Le pluviomètre ARG100 doit être placé horizontalement grâce à un niveau à bulle placé dans le pluviomètre (Fig.5.3). Un pluviomètre affecte la circulation de l'air (flux et turbulence augmentées). Cependant, l'ARG100 a un profil qui permet de limiter ces biais. Aucun obstacle autour du capteur ne doit être présent pour intercepter les précipitations. En règle générale, on estime que la distance entre un obstacle et le pluviomètre doit être au moins égale à deux fois la hauteur de l'obstacle. Afin d'obtenir des mesures comparables, les ARG100 du SNO Tourbières sont placés à une hauteur entre 1 et 2 m.

### 3.5.3 Maintenance du capteur

La maintenance sera effectuée tous les mois si possible ou au moins tous les 6 mois. Elle consistera en :

- vérifier que rien n'empêche la circulation de l'eau,
- vérifier l'intégrité des câbles,
- vérifier l'horizontalité du capteur grâce au niveau à bulle,
- vérifier que la balance fonctionne bien en versant un volume connu d'eau et en comptant le nombre de bascule (à faire en même temps que la mesure de la dérive),

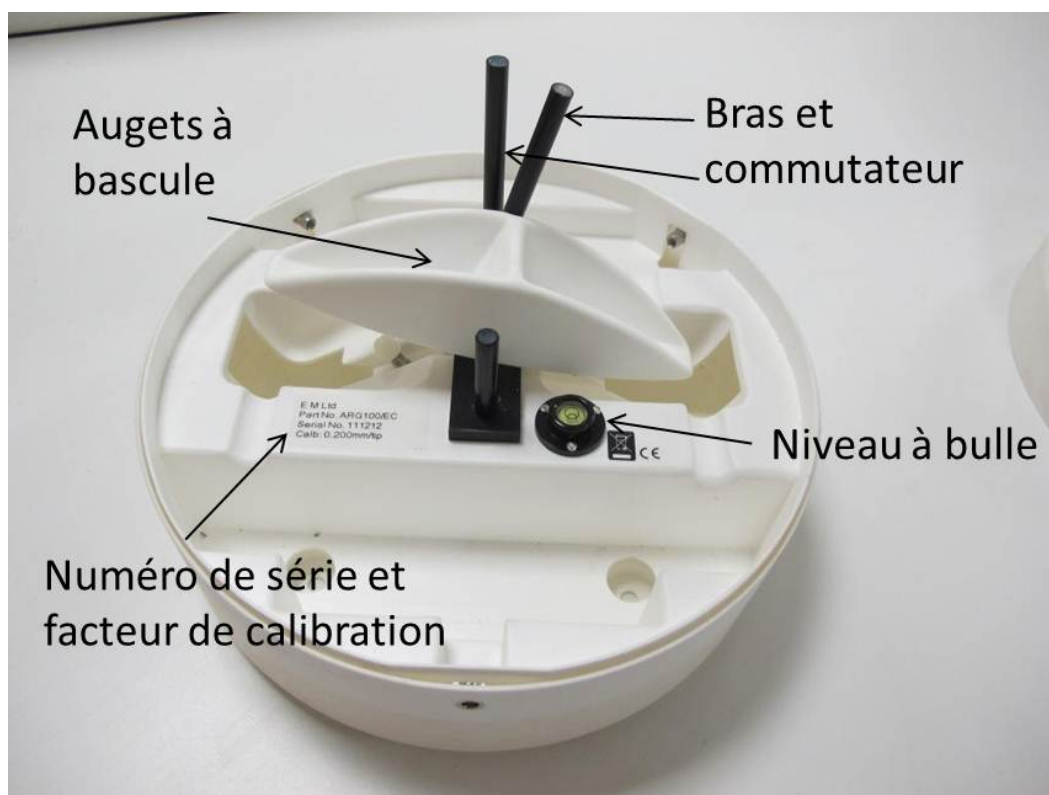


FIGURE 3.1 – Partie intérieure de l'ARG100.

- si besoin, ramener le capteur au laboratoire pour un nettoyage complet de l'extérieur et de l'intérieur (prolifération de micro-algues)

### 3.5.4 Calibration et dérive du capteur

L'ARG100 est calibré par le fabricant. Un facteur de calibration est donné sur un certificat et également inscrit dans la partie intérieur du pluviomètre (Fig.5.3).

La dérive du capteur est testée le plus fréquemment possible en même temps que l'inspection de la balance. Il s'agit de verser à une date connue une quantité connue d'eau dans le pluviomètre. La comparaison entre les millimètres d'eau apportés et les millimètres d'eau estimés par le pluviomètre permettra d'estimer une possible dérive de la mesure de l'appareil dans le temps.

Si la dérive augmente avec le temps, une calibration en deux temps devra être réalisée :



1. Ajustement et calibration statique : il s'agit de régler la bascule pour la quantité d'eau équivalente à 0.2 mm à l'aide des vices de calibration,
2. Calibration dynamique : il s'agit de faire passer dans le pluviomètre 810.4 cm<sup>3</sup> d'eau contenu dans un réservoir (à un dénit correspondant à 100 min pour vider le réservoir). A la fin, 80 bascules doit théoriquement se produire et le nombre exacte et obtenu par le datalogger en ajoutant la fraction restante dans un des deux augets. Si N est le nombre de bascule + fraction restante, le facteur de calibration sera :  $FC = 0.2 \times 80/N$ .

## 3.6 Les mesures de rayonnement - SW<sub>in</sub>, SW<sub>out</sub>, LW<sub>in</sub>, LW<sub>out</sub> - CNR4

### 3.6.1 Principe de mesure et unité

La mesure du rayonnement est basé sur le mesure simultanée de 4 capteurs : 2 pour le rayonnement solaire (ondes courtes ou short wave - SW) appelés pyranomètres (Fig. 4), 2 pour le rayonnement infrarouge lointain (ondes longues ou long wave - LW) pyrgeomètres (Fig. 4).

Pour chaque type d'onde, un capteur est positionné vers le haut et le deuxième vers le bas. La séparation de tous les capteurs permet d'obtenir un large spectre de variable :

- rayonnement solaire global ou ondes courtes entrantes : SW<sub>in</sub>
- rayonnement solaire réfléchi ou ondes courtes sortantes : SW<sub>out</sub>
- rayonnement infrarouge émis par le ciel ou ondes longues entrantes : LW<sub>in</sub>
- rayonnement infrarouge émis par le sol ou ondes longues sortantes : LW<sub>out</sub>
- SW "albedo"
- "sky temperature"
- "ground surface temperature"
- rayonnement net : NetRad

Pour calculer les rayonnement, il faut diviser les signaux transmis en volt : "U", par une constante "E" représentant la sensibilité du capteur. Le rayonnement net est ensuite calculé à partir des 4 composants mesurés (SW<sub>in</sub>, SW<sub>out</sub>, LW<sub>in</sub>, LW<sub>out</sub>) de la façon suivante<sup>1</sup> :

$$SW_{in} = U_{pyrano,up} / E_{pyrano,up} \quad (3.1)$$

$$SW_{out} = U_{pyrano,down} / E_{pyrano,down} \quad (3.2)$$

$$LW_{in} = (U_{pyrgeo,up} / E_{pyrgeo,up}) + 5.67 \cdot 10^{-8} (T_{pyrgeo})^4 \quad (3.3)$$

$$LW_{out} = (U_{pyrgeo,down} / E_{pyrgeo,down}) + 5.67 \cdot 10^{-8} (T_{pyrgeo})^4 \quad (3.4)$$

$$SW_{net} = U_{pyrano,up} / E_{pyrano,up} - U_{pyrano,down} / E_{pyrano,down} \quad (3.5)$$

$$LW_{net} = U_{pyrgeo,up} / E_{pyrgeo,up} - U_{pyrgeo,down} / E_{pyrgeo,down} \quad (3.6)$$

$$NetRad = SW_{net} + LW_{net} \quad (3.7)$$

---

1. La température T<sub>pyrgeo</sub> pour les formules suivantes doivent être en Kelvin. Si les températures mesurées sont en Celsius, ajouter 273.15

En plus du rayonnement net, d'autres variables peuvent être calculées

$$SW_{albedo} = SW_{out}/SW_{in} \quad (3.8)$$

$$T_{surface} = (LW_{out}/5.67 \cdot 10^{-8})^{1/4} \quad (3.9)$$

$$T_{sky} = (LW_{in}/5.67 \cdot 10^{-8})^{1/4} \quad (3.10)$$

### 3.6.2 Positionnement du capteur

### 3.6.3 Maintenance du capteur

### 3.6.4 Calibration et dérive du capteur

La qualité des données peut être suivie en analysant les tendances du signal absolu du  $SW_{in}$ , de l'albedo, de la corrélation entre  $SW_{in}$  et  $LW_{in}$ ,  $SW$  pendant la nuit, et la corrélation entre  $LW_{out}$  et la température de surface.

### 3.6.5 Informations complémentaires

Les capteurs de rayonnement sont passifs et n'ont donc pas besoin d'être branchés à une batterie. Cependant, le pyrgéomètre peut être chauffé pour éviter la formation de buée.

### 3.7 Densité du flux de photons photosynthétiques - PPFD - SKP215

#### 3.7.1 Principe de mesure et unité

#### 3.7.2 Positionnement du capteur

#### 3.7.3 Maintenance du capteur

#### 3.7.4 Calibration et dérive du capteur

## 3.8 Vitesse du vent - WS - WindSonic

### 3.8.1 Principe de mesure et unité

Le capteur WindSonic (Gill) 2D mesure le temps mis par un pulse d'ultrason pour parcourir la distance entre le transducteur nord (N) et le transducteur sud (S) et il le compare avec le temps mis par un pulse d'ultrason pour parcourir la distance entre le transducteur sud (S) et le transducteur nord (N, Fig. 5). De même, les temps entre les transducteurs ouest (W) et l'est (E), et est et ouest sont comparés. La vitesse du vent peut alors être calculée à partir des différences de temps de vol sur chaque axe (Figure 6). Ce calcul est indépendant de la température.

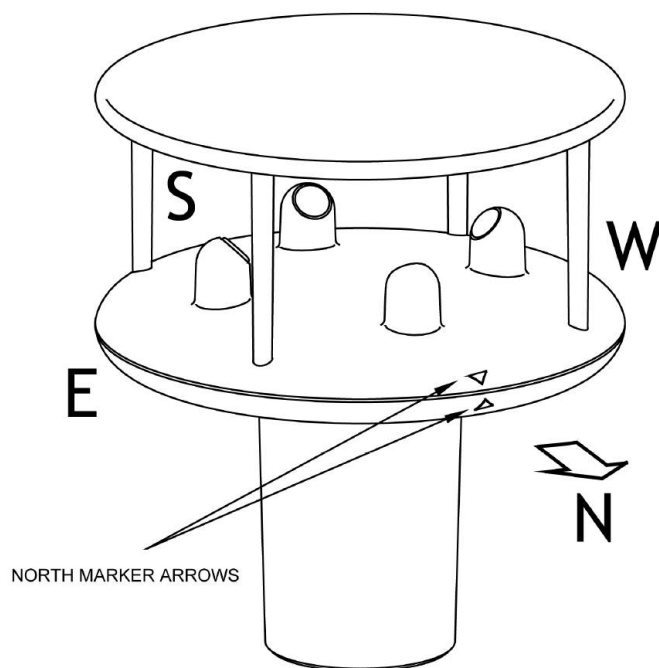


FIGURE 3.2 – Positions des transducteurs sur le WindSonic.

L'unité de mesure est le mètre par seconde,  $\text{m.s}^{-1}$ .

L'étendue de mesure va de 0 à  $60 \text{ m.s}^{-1}$ , avec une précision de l'ordre de 2% (à  $12 \text{ m.s}^{-1}$ ). La résolution de la mesure est de  $0.01 \text{ m.s}^{-1}$ .

### 3.8.2 Positionnement du capteur

Avant l'installation sur le terrain, le bon fonctionnement du capteur devra être vérifié au laboratoire : câblage électrique, unité, acquisition. Sur le terrain, le capteur doit être placé sur un tube vertical de manière à réaliser une mesure horizontale.

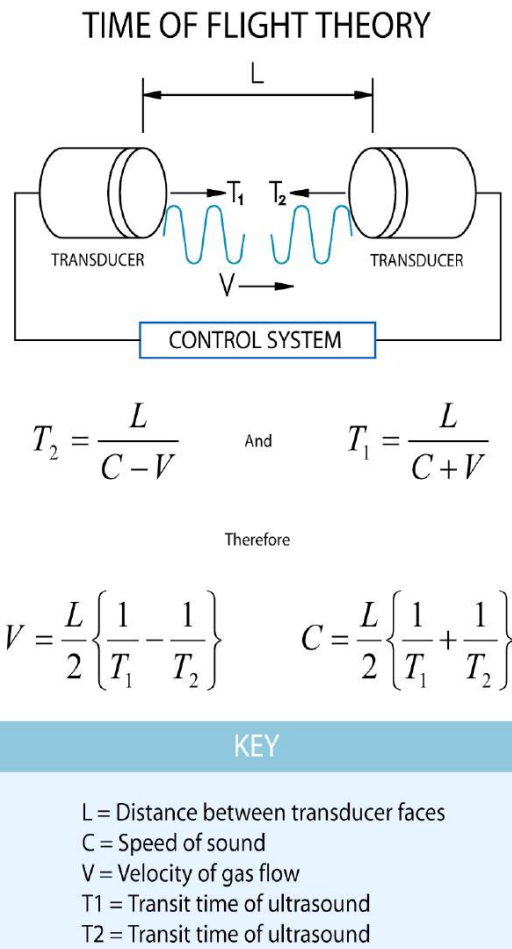


FIGURE 3.3 – Calcul de la vitesse du vent avec l'anémomètre à ultrasons.

Une attention particulière sera donnée à la bonne orientation du capteur. Une flèche gravée sur le capteur indiquant le nord doit être placée en direction du **nord géographique**. Le nord magnétique ne correspond pas au nord géographique. Le jour de l'installation du capteur, il faut déterminer la déclinaison magnétique terrestre, soit l'angle en un point donné du globe entre le pôle nord magnétique et géographique. Cet angle peut être obtenu, pour

la date d'installation du capteur, sur le site suivant : <http://www.ngdc.noaa.gov/geomag-web/#declination>.

La vitesse du vent intervient dans l'équation de Penman-Monteith pour calcul de l'évapotranspiration. Cette équation a pour présupposé que toutes les mesures des variables intervenant dans l'équation sont réalisées à 2 m au dessus de la surface du sol. Si possible, le capteur sera donc disposé à une hauteur de 2 m au dessus de la surface de chaque tourbière. Dans tous les cas, la hauteur à laquelle se trouve le capteur devra être mentionnée dans les métadonnées de cette variable.

Il devra être vérifié que la transmission GPRS et qu'aucun obstacle physique (autres parties de la station météo, arbres à proximité) n'affecte la mesure.

### **3.8.3 Maintenance du capteur**

Il faut veiller à ce qu'il n'y ait aucun obstacle sur le parcours des ultrasons entre les transducteurs. Ne pas enlever ou détériorer le capuchon en caoutchouc couvrant les transducteurs. S'il y a accumulation d'un dépôt quelconque sur le transducteur, il devra être retiré avec un tissu imbibé de détergent peu concentré. Il ne faut surtout pas utiliser de solvants et il faut éviter les rayures. Si le capteur est pris dans la glace, il faut laisser la glace fondre et ne surtout pas essayer d'enlever la glace ou la neige avec un outil.

Il n'y a pas de partie amovible nécessitant une maintenance en routine. Il ne faut surtout pas démonter le capteur au risque de l'endommager et de perdre la garantie.

En cas de mauvais fonctionnement, vérifier le câblage. Si le câblage est bon, ramener le capteur au laboratoire pour faire des tests. Si le problème persiste, il faut contacter le fournisseur.

### **3.8.4 Calibration et dérive du capteur**

Le capteur de vitesse du vent WindSonic est calibré en usine et n'a pas besoin de quelconques ajustements.

## 3.9 Direction du vent - WD - Windsonic

### 3.9.1 Principe de mesure et unité

L'unité est en degré,  $^{\circ}$ .

Les valeurs vont de 0 à 359 $^{\circ}$ , avec le 0 indiquant la direction du pôle nord géographique, et avec une précision de l'ordre de 3% (à 12 m.s $^{-1}$ ). La résolution de la mesure est de 1  $^{\circ}$ . Les valeurs croissent dans le sens des aiguilles d'une montre (Fig. 7).

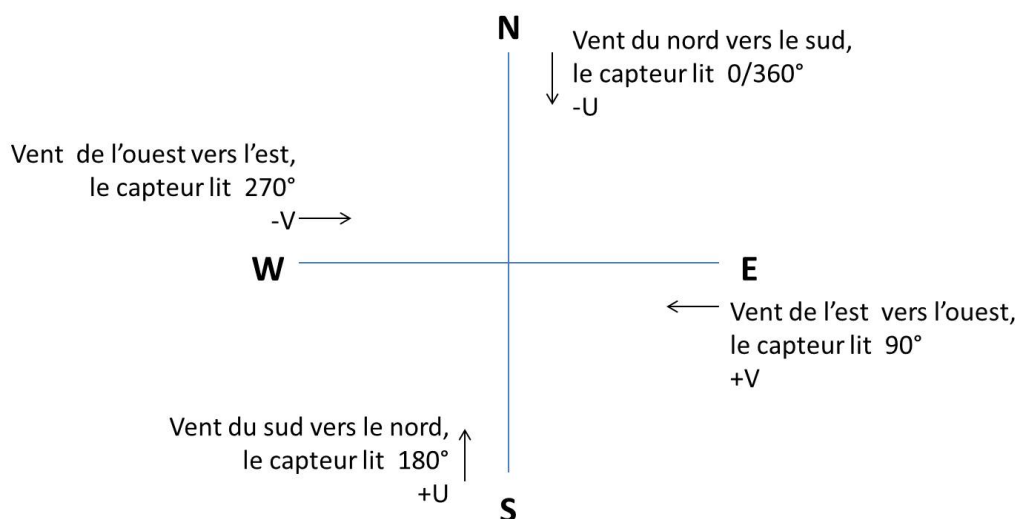


FIGURE 3.4 – Correspondance entre les valeurs mesurées, la direction du vent et la polarité UV.

### 3.9.2 Positionnement du capteur

Idem 10.2

### 3.9.3 Maintenance du capteur

Idem 10.3



### **3.9.4 Calibration et dérive du capteur**

Idem 10.4

### **3.9.5 Informations complémentaires**

La direction du vent n'est pas calculée pour les vitesses de vent inférieures à  $0.05 \text{ m.s}^{-1}$  et la valeur de direction restera bloquée sur la dernière valeur mesurée jusqu'à qu'une nouvelle direction puisse être calculée.

## **3.10 Humidité relative de l'air - RH - HUMICAP(r) (HMP155A)**

### **3.10.1 Principe de mesure et unité**

Le capteur d'humidité se situe dans la sonde HMP155A qui mesure également la température (cf section 5)

La mesure de l'humidité est réalisée par un capteur capacitif constitué d'un film fin de polymère HUMICAP(r) (3 dans Fig. 2). Le capteur contient un condensateur dont le diélectrique est sensible à l'humidité. Le capteur HMP155A mesure l'humidité relative de l'air sur une gamme allant de 0 à 100%.

L'unité est le pourcentage de saturation en eau de l'air, %.

### **3.10.2 Positionnement du capteur**

Idem 5.2.

### **3.10.3 Maintenance du capteur**

Le capteur d'humidité HUMICAP(r) peut être changé :

1. Enlever le filtre de la sonde.
2. Vérifier le joint torique, le changer si nécessaire.
3. enlever le capteur défectueux (3 dans Fig. 2) et le remplacer par un nouveau. ATTENTION : manipuler le nouveau capteur en le laissant dans son plastique, IL NE FAUT PAS TOUCHER LE CAPTEUR.
4. calibrer le capteur
5. mettre un nouveau filtre.

Pour la maintenance de la sonde, voir 5.3.

### **3.10.4 Calibration et dérive du capteur**

Le capteur HUMICAP(r) de la sonde HMP155A est calibré par le fabricant. Il est recommandé de renouveler la calibration tous les ans et que celle-ci soit réalisée par Vaisala (voir [www.vaisala.com/returns](http://www.vaisala.com/returns)).

Cependant, la calibration peut être réalisée au laboratoire dans la condition standard de température (25 °C) avec la méthode de la solution en sel saturée. Une solution de sel saturé dans un container étanche à l'air a la propriété de maintenir une humidité de l'air approximativement constante. L'humidité atteinte dépend de la nature du sel : 11% pour  $\text{LiCl}_2$ , 33% pour  $\text{MgCl}_2$ , 43% pour  $\text{K}_2\text{CO}_3$ , 75% pour  $\text{NaCl}_2$  et 97% pour  $\text{K}_2\text{SO}_4$ . Les deux humidités relatives de calibration doivent avoir une différence d'au moins 30%. La calibration peut se faire avec deux point de mesure comme suit :

1. Accéder aux boutons d'ajustement en dévissant le capuchon de protection (1 dans la Fig. 3) et le scellé de calibration.
2. relever le couvert de protection (5 dans la Fig. 3) pour voir les boutons d'ajustement (2, 3 et 4 dans la Fig. 3). Il y a également une LED à 2 couleurs.
3. Presser le bouton d'ajustement ADJ (celui correspondant au rectangle, 3 dans la Fig. 3) jusqu'à que la LED s'allume en vert. La sonde HMP155A est alors en mode calibration.
4. Enlever le filtre et insérer la sonde dans une chambre contenant la solution de calibration "sèche" (e.g.  $\text{LiCl}_2$ ). ATTENTION : ne pas toucher le bouton d'ajustement avant la stabilisation des conditions. Cela peut prendre environ 30 minutes.
5. En utilisant les boutons + et -, réaliser l'ajustement du gain pour l'humidité basse pour s'assurer que le voltage  $A_{out}$  est correct, puis appuyer sur le bouton ADJ. La LED verte s'éteint puis se rallume.
6. Insérer la sonde dans une chambre contenant la solution de calibration "humide" (e.g.  $\text{NaCl}_2$ ). ATTENTION : ne pas toucher le bouton d'ajustement avant la stabilisation des conditions. Cela peut prendre environ 30 minutes.
7. En utilisant les boutons + et -, réaliser l'ajustement du gain pour l'humidité haute pour s'assurer que le voltage  $A_{out}$  est correct. Pour finir la calibration, presser le bouton ADJ et la LED rouge s'allume.
8. Presser ensuite le bouton ADJ 2 fois et la lumière s'éteint. La sonde HMP155A quitte ainsi le mode calibration.

La dérive du capteur sur le terrain peut être suivie au moins une fois tous les 6 mois en effectuant le même mode opératoire que la calibration, mais sans réaliser les ajustements (ne pas mettre le capteur en mode calibration), c'est à dire en plaçant la sonde dans des containers contenant différentes solutions salines saturées et en réalisant une lecture simple de l'humidité de l'air des containers.

## 3.11 Température de l'air - $T_a$ - Pt100 (HMP155A)

### 3.11.1 Principe de mesure et unité

Le capteur de température se situe dans la sonde HMP155A qui mesure également l'humidité relative (cf section 6)

La mesure de la température est réalisée par un thermomètre à résistance de platine (Pt100, 4 dans Fig. 2). Le principe de mesure de ce capteur est basé sur le fait que la résistivité électrique du platine varie avec la température.

La sonde HMP155A mesure la température de l'air sur une gamme allant de  $-80^{\circ}\text{C}$  à  $+60^{\circ}\text{C}$ .

L'unité est de degré Celsius,  $^{\circ}\text{C}$ .

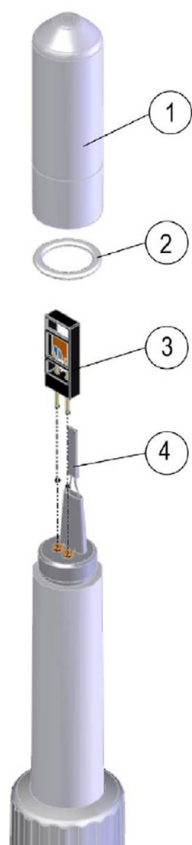


FIGURE 3.5 – Les capteurs de la sonde HMP155A : 1 = filtre, 2 = joint torique, 3 = capteur d'humidité HUMICAP(r), 4 = capteur de température Pt100.

### 3.11.2 Positionnement du capteur

La sonde HMP155A doit être installée dans un abri de type DTR13 (possibilité d'ajouter une sonde de température supplémentaire) ou DTR503.

L'ensemble capteur et abri doivent être placés dans une zone ouverte correspondant à une surface de 9 m de diamètre. La température de l'air intervient dans l'équation de Penman-Monteith pour calcul de l'évapotranspiration. Cette équation a pour présupposé que toutes les mesures des variables intervenant dans l'équation sont réalisées à 2 m au dessus de la surface du sol. Le capteur de température sera donc disposé à une hauteur de 2 m au dessus de la surface de chaque tourbière.

### 3.11.3 Maintenance de la sonde

Si la sonde doit être nettoyée, utilisez un chiffon non-pelucheux mouillé avec un détergent relativement faible.

Si le filtre reste sale après le nettoyage, il faut le remplacer. Vérifiez que le joint torique est encore en bon état, sinon, changez-le.

### 3.11.4 Calibration et dérive du capteur

Le capteur Pt100 de la sonde HMP155A est calibré par le fabricant. Il est recommandé de renouveler la calibration tous les ans et que celle-ci soit réalisée par Vaisala (voir [www.vaisala.com/returns](http://www.vaisala.com/returns)).

Cependant, la calibration peut être réalisée au laboratoire en utilisant une enceinte capable de réguler la température (e.g. phytotron). Les deux températures de calibration doivent avoir une différence d'au moins 30 °C. La calibration peut se faire comme suit :

1. Accéder aux boutons d'ajustement en dévissant le capuchon de protection (1 dans la Fig. 3) et le scellé de calibration.
2. relever le couvercle de protection (5 dans la Fig. 3) pour voir les boutons d'ajustement (2, 3 et 4 dans la Fig. 3). Il y a également une LED à 2 couleurs.
3. Presser le bouton d'ajustement ADJ (celui correspondant au rectangle, 3 dans la Fig. 3) jusqu'à que la LED s'allume en vert. La sonde HMP155A est alors en mode calibration.

4. Enlever le filtre et insérer la sonde dans une enceinte dont la température est connue et laisser la lecture se stabiliser. ATTENTION : ne pas toucher le bouton d'ajustement avant la stabilisation des conditions.
5. En utilisant les boutons + et -, réaliser l'ajustement de la température en s'assurant que le voltage  $A_{out}$  est correct, puis appuyer sur le bouton ADJ. La LED verte s'éteint puis se rallume.
6. Insérer la sonde dans une enceinte dont la température est différente de la première et laisser la température se stabiliser. ATTENTION : ne pas toucher le bouton d'ajustement avant la stabilisation des conditions.
7. En utilisant les boutons + et -, réaliser l'ajustement de la température en s'assurant que le voltage  $A_{out}$  est correct. Pour finir la calibration, presser le bouton ADJ et la LED rouge s'allume.
8. Presser ensuite le bouton ADJ 2 fois et la lumière s'éteint. La sonde HMP155A quitte ainsi le mode calibration.

La dérive du capteur sur le terrain peut être suivie au moins une fois tous les 6 mois en effectuant des mesures de températures au même endroit et dans les mêmes conditions avec un autre capteur (un autre HMP155A, une autre marque, voir un thermomètre à mercure).

### 3.11.5 Informations diverses

Le capteur consomme moins de 3 mA (courant à 12 V). Deux secondes de mise en chauffe sont nécessaires. Pour des vitesses d'acquisition plus lentes qu'une mesure toutes les 5 secondes, la sonde peut être commutée pour économiser la batterie.

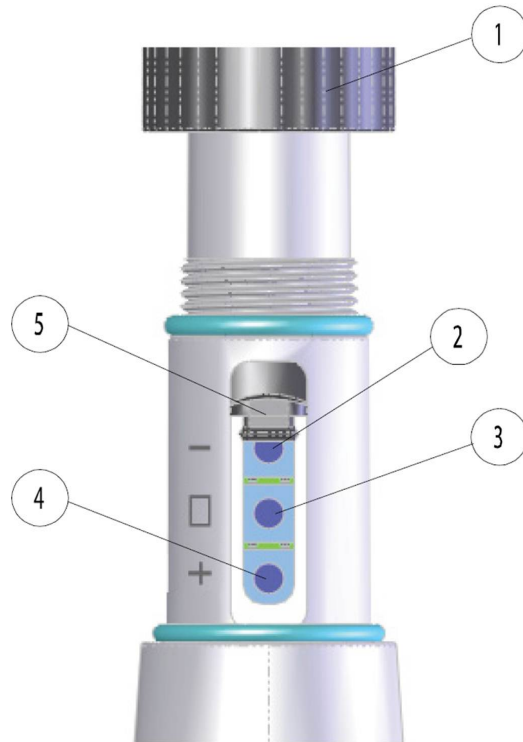


FIGURE 3.6 – Les boutons d’ajustements pour la calibration des capteurs de la sonde HMP155A : 1 = capuchon de protection (dévisser), 2 = bouton pour diminuer, 3 = bouton ADJ, 4 = bouton pour augmenter, 5 = couvercle de protection des boutons relevés.

## 3.12 Température du sol - Ts - 107

### 3.12.1 Principe de mesure et unité

La sonde 107 utilise un thermistor pour mesurer la température. Un thermistor est une résistance dont la résistance est fonction de la température. Cette relation n’étant linéaire que sur une faible gamme de température, l’équation de Steinhart-Hart est préférée (polynôme d’ordre 3). Dans le pire des cas, la précision atteint  $\pm 0.4^{\circ}\text{C}$  sur la gamme  $-24^{\circ}\text{C}$  -  $48^{\circ}\text{C}$ .

La sonde applique une tension d’excitation  $V_x$  de 2500 mV à un thermistor de 1 kohm et mesure la chute de tension (tension mesurée  $V_s$ ). La résistance  $R_s$  est calculée de la manière suivante :

$$V_s/V_x = 1000/(R_s + 249000 + 1000) \quad (3.11)$$

Ensuite, la résistance  $R_s$  est convertie en température ( $^{\circ}\text{C}$ ) avec l'équation de Steinhart-Hart :

$$T = 1/(A + B(\ln R_s) + C(\ln R_s)^3) - 273.15 \quad (3.12)$$

Avec :

$$A = 8.271111 \times 10^{-4}$$

$$B = 2.088020 \times 10^{-4}$$

$$C = 8.059200 \times 10^{-8}$$

### **3.12.2 Positionnement du capteur**

La position des capteurs de physique du sol sont décrits dans la section ??.

### **3.12.3 Maintenance du capteur**

La 107 n'a pas besoin d'une maintenance périodique.

### **3.12.4 Calibration et dérive du capteur**

Il n'est pas nécessaire de faire de calibration.



## 3.13 Teneur en eau du sol - SWC - CS650

### 3.13.1 Principe de mesure et unité

La sonde CS650 est une sonde multiparamètre permettant de mesurer la teneur volumétrique en eau, la conductivité électrique, la permittivité diélectrique et la température du sol dans lequel elle est placée.

La sonde est composée de 2 broches en acier inoxydable de 30 cm de longueur. La mesure est basée sur la sensibilité du capteur à la permittivité diélectrique du milieu entourant les broches. La teneur en eau est le principal facteur déterminant la permittivité diélectrique d'un milieu. Après une calibration, il est possible d'estimer une teneur en eau à partir de la permittivité diélectrique.

La sonde CS650 est configurée de manière à fonctionner comme un réflectomètre, avec les 2 broches formant une ligne de transmission ouverte en partie terminale. Un signal électrique est émis, puis il est réfléchi lorsqu'il arrive au bout de la broche et il revient à son point initial. La vitesse à laquelle l'onde électromagnétique effectue l'aller-retour varie en fonction de la permittivité électrique du matériau autour du capteur. La permittivité augmente avec l'augmentation de la teneur en eau et diminue avec la diminution de la teneur en eau. La permittivité est mesurée en Farad par mètre ( $F\ m^{-1}$ ).

La conductivité électrique est mesurée en excitant une broche avec une onde de fréquence connue et en mesurant l'atténuation du signal. Elle est exprimée en Siemens par mètre ( $S\ m^{-1}$ ).

La température est mesurée avec une thermistance en contact avec une des broches. Elle est exprimée en degré Celsius ( $^{\circ}C$ ).

Une fois calibré, la sonde peut donner des valeurs de teneur en eau du sol en  $mm^3$  par  $mm^3$ .

### 3.13.2 Variable de sortie

Le capteur CS650 donne 6 variables de sorties :

1. Volumetric Water Content : VWC
2. Bulk Electrical Conductivity : EC (dS/m)
3. Soil temperature
4. Bulk Dielectric Permittivity : Ka

5. Period Average : PA ( $\mu s$ )

6. Voltage Ratio : VR

Ces variables de sorties seront stockées dans le dossier "Data brutes" placé sur le serveur ftp SNO Tourbières de l'OSUC. ATTENTION : la teneur en eau donnée par la sonde est indicative, mais elle n'est pas correcte, parce qu'elle a été calculée avec une courbe de calibration estimée avec des sols minéraux.

### 3.13.3 Positionnement du capteur

La position des capteurs de physique du sol sont décrits dans la section ??.

### 3.13.4 Maintenance du capteur

La sonde CS650 n'a pas besoin d'une maintenance périodique.

### 3.13.5 Calibration

L'équation de calibration utilisée par la sonde CS650 est l'équation de Topp et al. (1980). Cette équation marche bien pour les sols minéraux, mais sous-estime les teneurs en eau pour les sols organiques volcaniques et à fines textures. Dans le cadre du SNO, une calibration doit être réalisée pour obtenir une calibration spécifique. Elle permettra de relier les valeurs de permittivité à la teneur en eau mesurée par une méthode indépendante.

Cette équation peut-être une équation linéaire ou quadratique ou un polynôme d'ordre 3. Ces équations ont besoin d'un minimum de 2, 3 et 4 points de calibration, respectivement. Ces points doivent être choisis de manière à couvrir toute la gamme de valeurs de teneur en eau : basses eaux, hautes eaux et intermédiaires.

La teneur en eau des échantillons prélevés sur le terrain sera mesurée par gravimétrie au laboratoire selon le protocole suivant :

1. A proximité du profil de teneur en eau, une tranchée est creusée avec un front de taille "propre".
2. Ensuite, avec un cylindre en fer de volume  $V$  et de masse connus, un échantillon est prélevé horizontalement dans le front de taille.

3. 3 réplicats par profondeur sont prélevés (grande variabilité spatiale, surtout en surface).
4. Cette opération est répétée pour chaque profondeur où se trouve une CS650.
5. Le cylindre contenant l'échantillon est scellé à ces extrémités pour ne pas perdre de l'eau.
6. Au laboratoire, l'échantillon humide est pesé :  $m_{humide}$  (tourbe humide + cylindre).
7. L'échantillon est placé dans une étuve à 105°C.
8. Après 48 heures à l'étuve, l'échantillon est pesé de nouveau :  $m_{sec}$  (tourbe sèche + cylindre).
9. La teneur en eau massique  $SWC_m$  vaut :

$$SWC_m = m_{humide} - m_{sec} / m_{sec} \quad (3.13)$$

10. La densité apparente vaut :

$$\rho_{bulk} = m_{sec} / V \quad (3.14)$$

11. La teneur en eau volumique  $SWC_v$  vaut :

$$SWC_v = SWC_m * \rho_{bulk} \quad (3.15)$$

Cette mesure de teneur en eau correspond à la variable obligatoire 49 "teneur en eau du sol, manuel" du tableau 1.3. Ces données seront stockées dans un fichier placé dans le dossier "Data corrigées". Les paramètres de la courbe de calibration seront stockés dans un fichier log situé dans le dossier "Log2". Une fois les paramètres de la courbe calculés, les teneurs en eau du sol pourront être calculées et stockées dans un fichier contenu dans le dossier "Data corrigées". Cette valeur correspond à la variable 9 du tableau 1.3, "Teneur en eau du sol".

### 3.13.6 Informations diverses

Les broches des CS650 font 30 cm de longueur. Cette taille permet d'échantillonner un grand volume de sol et d'avoir par conséquent une réduction de l'erreur de mesure. Le volume échantillonné s'étend à 7.5 cm autour des broches et 4.5 cm au delà de la fin des broches. Le volume total échantillonné est de 7800 cm<sup>3</sup>.

### **3.14 Flux de chaleur dans le sol - G - Hukseflux**

#### **3.14.1 Principe de mesure et unité**

#### **3.14.2 Positionnement du capteur**

#### **3.14.3 Maintenance du capteur**

#### **3.14.4 Calibration et dérive du capteur**

## **3.15 Niveau de la nappe d'eau - GWL - CS451**

### **3.15.1 Principe de mesure et unité**

La mesure de niveau est réalisée à partir d'une mesure automatisée et fréquente de pression de la colonne d'eau sur le capteur situé dans le piézomètre et d'une mesure manuelle du niveau de la colonne d'eau. La pression de la colonne d'eau mesurée est corrigée en soustrayant la pression atmosphérique également enregistrée par le capteur.

### **3.15.2 Positionnement du capteur**

Le capteur est situé dans un piézomètre crépiné. Celui-ci doit collecter seulement les eaux de la tourbière (attention, parfois un forage trop profond perçant une nappe sous-jacente induit des mesures erronées).

### **3.15.3 Maintenance du capteur**

Inspecter visuellement le câblage, vérifier le dessicant, le remplacer si nécessaire.

### **3.15.4 Calibration et dérive du capteur**

Le fabricant recommande une recalibration tous les 2 ans.

## 3.16 Positionnement des capteurs

### 3.16.1 Mesures dans le sol

Le positionnement des sondes du sol correspond aux recommandations ICOS. Horizontalement, les sondes de températures et de teneurs en eau devront être disposées de part et d'autre de la sonde de flux de chaleur dans le sol et séparées de 30 cm au moins ou de 45 cm au plus (Fig. 3.7). Le piézomètre dans lequel sera installée la sonde de niveau d'eau se trouvera à 2 m de la sonde de flux de chaleur dans le sol (Fig. 3.7)

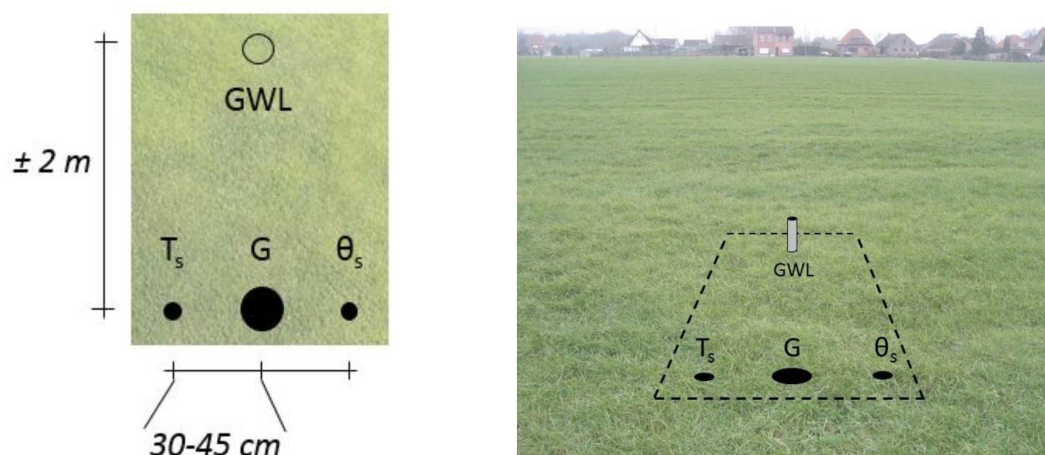


FIGURE 3.7 – Distribution horizontale des sondes du sol (protocole ICOS, 2015).

Pour les sites ICOS de niveau 2, au moins deux plots de mesures doivent être installés. Dans chaque plot, deux profils sont mis en place : un profil complet et un profil additionnel pour prendre en compte la variabilité spatiale des variables mesurées, notamment celle du flux de chaleur dans le sol.

Pour le profil complet, seront installées (Fig. 3.8 a) :

- 5 sondes de températures : -2 cm, -5 cm, -10 cm, -25 cm et -60 cm,
- 3 sondes de teneur en eau du sol : -5 cm, -10 cm et -25 cm,
- 1 sonde de flux de chaleur dans le sol : -5 cm,
- une sonde du niveau de la nappe d'eau.

Des ajustements peuvent être fait selon les contraintes de chaque sites. Dans tous les cas, les profondeurs devront être notées dans le fichier log des variables (cf chapitre 1, dossier Log 1). La dernière sonde de température devrait être installée en dessous du niveau de nappe le plus bas. Les sondes ne sont pas nécessairement alignées. Il serait préférable de les installées en diagonale.

Pour le profil additionnel, seront installées (Fig. 3.8 b) :

- 3 sondes de températures : -2 cm, -5 cm et -10 cm,
- 1 sondes de teneur en eau du sol : -5 cm,
- 1 sonde de flux de chaleur dans le sol : -5 cm,

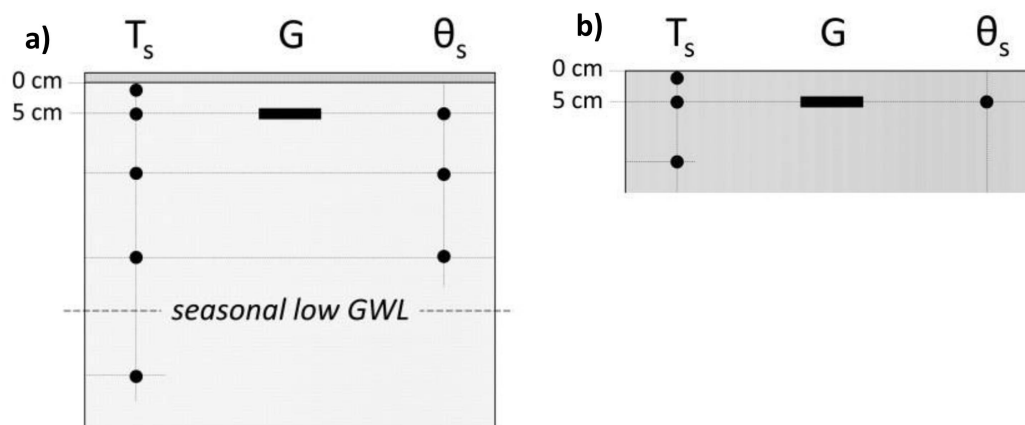


FIGURE 3.8 – Distribution verticale des sondes du sol dans le profil complet (a) et additionnel(b ; protocole ICOS, 2015).

### 3.16.2 Mesures dans l'atmosphère

## 3.17 Bibliographie



# Chapitre 4

## Hydrologie

S. Gogo, S. Binet, L. Bernard-Jannin...

### 4.1 Cadre et objectif des mesures

Les tourbières étant des zones humides, la connaissance de leur fonctionnement hydrologique est essentielle pour comprendre le système dans sa globalité. Les mesures du niveau de la nappe d'eau (ou Ground Water Level, GWL) et du débit à l'exutoire sont les variables obligatoires pour comprendre ce fonctionnement. Couplées avec des mesures météorologiques, elles permettent l'établissement du bilan hydrique. De plus, l'hydrologie, en influençant la teneur en eau du sol, va déterminer l'intensité des processus biogéochimiques à l'origine des flux de GES : la respiration s'effectue de manière optimale dans une gamme de teneur en eau volumique du sol d'environ 30 à 80 % et la méthanogénèse ne s'effectue qu'en conditions anaérobique. Dans ce cas, la profondeur de la nappe d'eau (Ground Water Depth, GWD) est la variable la plus indiquée car elle informe de l'épaisseur de la zone aérobie.

**Les objectifs de ces mesures sont :**

- Déterminer le bilan hydrique de chaque site
- Fournir des données pour calibrer/valider des modèles hydrologiques
- Fournir des données pour calibrer/valider des modèles de flux de GES

## 4.2 Organisation des équipements

### 4.2.1 Nombre de stations d'acquisition

**Stations intra-tourbière** Dans chaque site, en dehors des profils météo-sol, au moins un piézomètre équipé d'un capteur automatique est demandé. Cette station est notée #006. Au maximum, 10 piézomètres intra-tourbières (en dehors des profils météo-sol) peuvent être installés et seront notés de #007 à #015. Les données provenant de ces stations permettront d'évaluer le stock d'eau dans la tourbière et ses variations.

**Stations exutoire** La mesure du débit à haute fréquence à l'exutoire est estimé grâce à une courbe de tarage (relation entre le niveau de l'eau à l'exutoire et le débit) et la mesure en à haute fréquence du niveau de l'eau à l'exutoire. Une station d'acquisition avec sa sonde peut être installée, mais en fonction des caractéristique du site, plusieurs sondes peuvent être utilisées (e.g. cas de Landemarais) avec au maximum 5 sondes. Ces stations seront notées de #016 à #020.

## 4.3 Les variables

### 4.3.1 Liste et abréviations des variables cibles

Les variables cibles concernées par ce chapitre sont :

- **GWL** = niveau de la nappe d'eau dans la tourbière par rapport à une référence fixe (ground water level)
- **GWD** = niveau de la nappe d'eau par rapport au haut des sphaignes (ground water depth)
- **Q** = débit à l'exutoire

Pour rappel, les détails des informations concernant les noms de fichier, le type de variables et leur code sont disponibles dans le chapitre 1.

### 4.3.2 Définition

**Le niveau de la nappe d'eau** Cette variable est l'altitude de la surface de la nappe d'eau libre (GWL dans Fig 4.1). Elle est calculé en connaissant l'altitude d'un point de référence noté  $A_{ref}$  sur la figure 4.1 (e.g. point IGN),

en y soustrayant la distance entre le capteur de pression et le point de référence (noté L sur la figure 4.1) et en ajoutant l'épaisseur de la lame d'eau mesurée entre le capteur et le haut de la nappe (noté H sur la figure 4.1). Un point IGN étant très rarement disponible auprès de la tourbière, un autre point de référence dont il faudra estimer l'altitude et dont on s'assura qu'il ne fluctue pas pourra servir de référence.

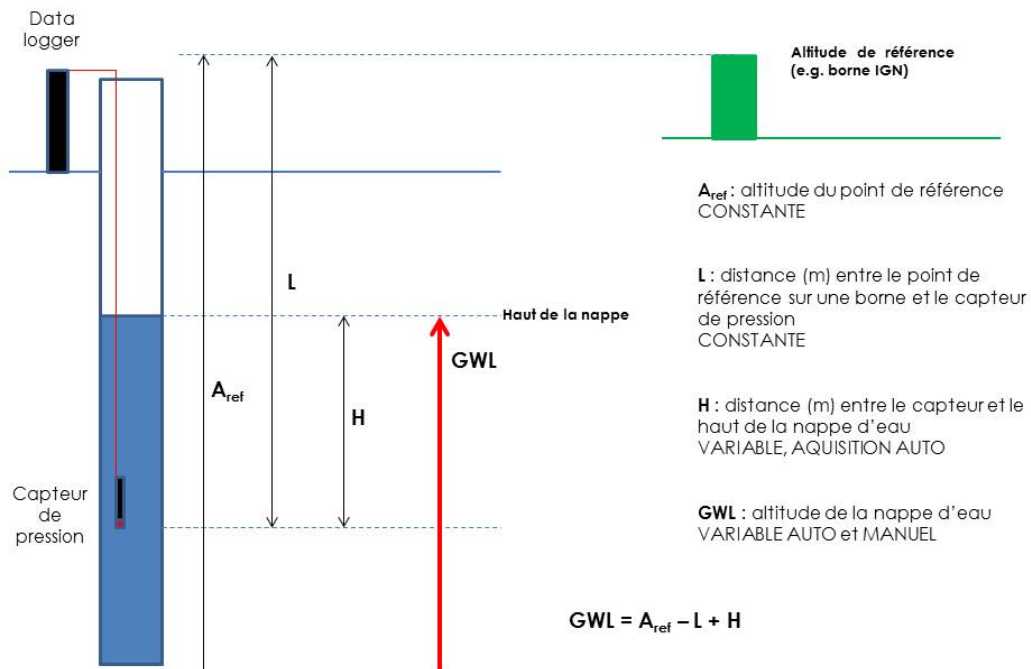


FIGURE 4.1 – Schéma des mesures permettant d'obtenir des niveaux de la nappe d'eau.

**La profondeur de la nappe d'eau** Cette variable est la distance algébrique entre le haut des sphaignes (ou la surface du sol quand il n'y a pas de sphaignes) et la surface de la nappe d'eau libre (GWD dans Fig 4.2). Elle est positive quand l'eau est au dessus des sphaignes . Elle est négative quand l'eau est en dessous des sphaignes (cas le plus fréquent). Pratiquement, le piézomètre dépasse du tapis de sphaignes et lors des mesures manuelles, 2 mesures sont réalisées : 1) la distance entre le haut du piézomètre et la nappe d'eau ( $d_{nappe}$  dans Fig 4.1) et 2) la distance entre le haut du piézomètre et le haut des sphaignes ( $d_{ref}$  dans Fig 4.1)). La différence donne la profondeur de nappe ( $GWD_{manuel}$ ). Le capteur mesure l'épaisseur de la tranche d'eau (H, Fig. 2). De la distance L (Fig. 2) entre le haut du piézomètre et le capteur, on retranche l'épaisseur H et  $d_{ref}$  pour obtenir la GWD automatique.

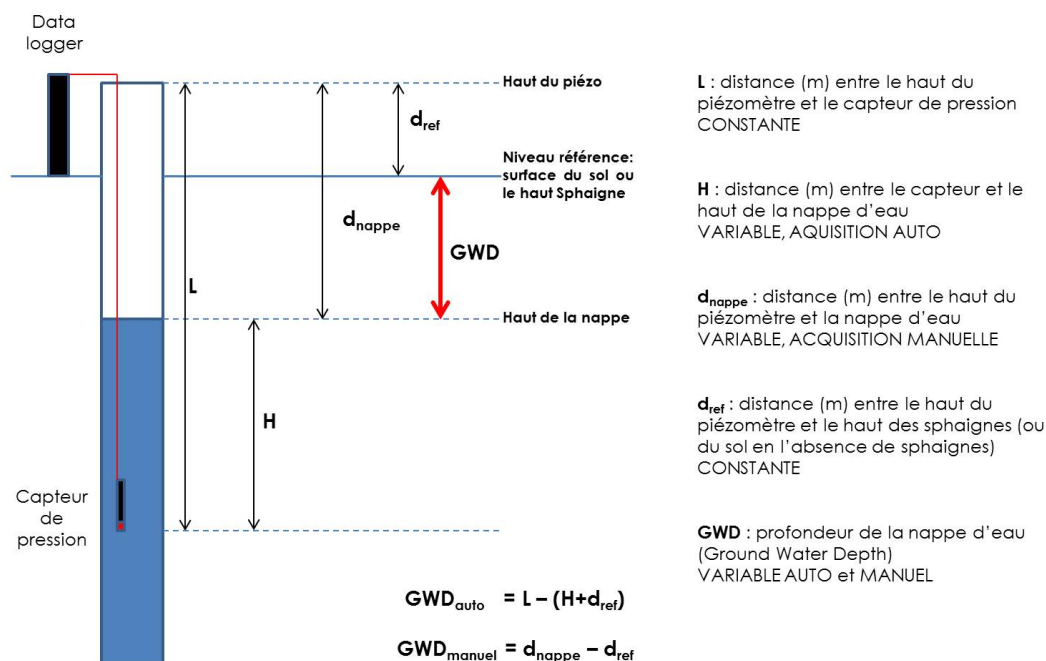


FIGURE 4.2 – Schéma des mesures permettant d’obtenir des niveaux de la nappe d’eau.

**Le débit à l’exutoire** C’est le volume d’eau sortant à l’exutoire de la tourbière par unité de temps. Même si une sortie d’eau principale est généralement présente, il existe le plus souvent de multiples sorties d’eau plus petites, du fait que les tourbières se développent en général sur des zones plates. Les mesures de débit sont réalisées dans la sortie principale.

## 4.4 Le capteur de pression

### 4.4.1 Modèles de capteurs

Les membres du SNO Tourbières s’engage à tendre vers une uniformisation du parc analytique. Compte-tenu des contraintes inhérente à chaque site et à la jouvence des appareils, cette uniformisation est théorique. Cependant, le souci d’avoir des équipements identiques doit être présent pour une meilleur comparaison entre site et gestion des équipements et des données (un équipement différent dans chaque site pour une même variables implique des fournisseur différents, avec des caractéristiques techniques différentes, des

données brutes différentes, etc...). Pour rappel, la fréquence d'acquisition est de une mesure toute les 30 minutes.

A ce jour, les capteurs les plus utilisés sur nos sites sont les sondes OTT (modèle Orpheus mini) et Schlumberger (modèle mini Diver). A l'exutoire, la mesure de pression de la sonde EXO2 utilisée pour la fluorescence et la turbidité peut-être utilisée si elle possède un capteur de pression.

#### **4.4.2 Principe de mesure et unité**

La mesure du niveau d'eau est réalisée à partir d'une mesure de la pression hydrostatique de la colonne d'eau grâce à une cellule de pression relative. Pour les sondes OTT, la cellule de mesure dispose de la pression atmosphérique via un tube capillaire localisé dans le câble de la sonde et en contact avec l'air ambiant. Grâce à cette compensation, la sonde n'enregistre que les variations de pression liées aux variations de la hauteur de la colonne d'eau. Pour les sondes Schlumberger, un capteur de pression atmosphérique indépendant doit être installé.

Le niveau de la nappe d'eau est exprimée en mètre (m).

#### **4.4.3 Positionnement du capteur**

Pour les mesures intra-tourbières, un piézomètre crépiné et bouché à son extrémité inférieure est enfoncé dans la tourbe, si possible jusqu'au substratum. Il est important de s'assurer que le piézomètre n'est pas connecté avec la nappe d'eau sous-jacente à la tourbière. Il est recommandé de recouvrir le haut du piézo avec un couvercle. La sonde de mesure de pression est placée dans le piézomètre à un niveau suffisamment bas pour pouvoir enregistrer les niveaux de nappe pendant les sécheresses. Des ajustement doivent être fait si le niveau d'eau descend en dessous du capteur et notifié dans les dossier log.

S'il n'y a qu'une station d'acquisition, elle doit être placée au centre de la zone d'étude. Si plusieurs station sont installées, il est recommandé de justifier leur emplacement dans les métadonnées correspondantes.

Pour la mesure à l'exutoire, le capteur peut être installé dans un piézomètre crépiné est planté dans le lit du cours d'eau à l'exutoire ou installé horizontalement. De même que pour les sondes dans la tourbière, le capteur de niveau d'eau à l'exutoire doit être capable d'enregistrer les sécheresses.

#### 4.4.4 Maintenance du capteur

A chaque collecte de données, l'installation est vérifiée pour détecter tout problème apparent.

Des mesures aberrantes peuvent provenir d'une cellule de mesure encrassée. Pour nettoyer le capteur de pressions, sortez le capteur du piézomètre, dévissez le bouchon de protection noir. Nettoyez avec précaution le capteur à l'eau avec un pinceau ou une brosse. Rincez abondamment avec de l'eau claire la sonde de pression, revissez le capuchon noir et replacez la sonde dans le tube. Si une telle maintenance est réalisée, elle doit être consignée dans le fichier log correspondant.

### 4.5 Elaboration des variables cibles

#### 4.5.1 Ground Water Level - GWL

La variable mesurée par le capteur est une hauteur de colonne d'eau ( $H$  dans Fig. 4.1). Pour connaître le niveau de la nappe d'eau GWL, il est nécessaire de connaître la distance entre le capteur et un point de référence. Comme mentionné plus haut, le haut des sphaignes sert de référence. Cette distance étant variable, une référence intermédiaire est utilisée : le haut du tube du piézomètre. Le niveau de la nappe d'eau est calculé en retranchant de la distance entre le haut du piézomètre et la sonde ( $L$  sur le figure 4.1, mesurée à l'installation de la sonde et constante), la distance entre le haut du piézomètre et le haut des sphaignes et la hauteur de la colonne d'eau  $H$  (Fig. 4.1).

Certains de ces calculs peuvent être programmés. Cependant, du fait de la croissance des végétaux, de l'accumulation de litière et du gonflement de la tourbe, une correction de la dérive est souhaitable en réalisant des mesures manuelles de niveau de la nappe d'eau (GWLm). Ce calcul étant difficilement automatisable, il est réalisées par l'expert.

Dans la base de données, les données en sortie de capteur ( $H$ ) sont injectées au moins une fois par an dans le dossier "fichiers annuels" des dossiers "data brutes" des différents sites (cf section 2.3.2) par l'expert responsable de l'hydrologie de chaque site (cf flux de données 2.3.1, cas 2). Les données de niveau de la nappe d'eau (GWL) sont placés dans le dossier "fichiers annuels" des dossiers "data corrigées" des différents sites (cf section 2.3.2). Les actions réalisées sur les données brutes sont consignées dans le log correspondant. Le nom des fichiers sera basé sur la nomenclature décrite au chapitre 1.

### 4.5.2 Ground Water Depth - GWD

La variable mesurée par le capteur est une hauteur de colonne d'eau ( $H$  dans Fig. 4.1). Pour connaître le niveau de la nappe d'eau GWL, il est nécessaire de connaître la distance entre le capteur et un point de référence. Comme mentionné plus haut, le haut des sphaignes sert de référence. Cette distance étant variable, une référence intermédiaire est utilisée : le haut du tube du piézomètre. Le niveau de la nappe d'eau est calculé en retranchant de la distance entre le haut du piézomètre et la sonde ( $L$  sur le figure 4.1, mesurée à l'installation de la sonde et constante), la distance entre le haut du piézomètre et le haut des sphaignes et la hauteur de la colonne d'eau  $H$  (Fig. 4.1).

Certains de ces calculs peuvent être programmés. Cependant, du fait de la croissance des végétaux, de l'accumulation de litière et du gonflement de la tourbe, une correction de la dérive est souhaitable en réalisant des mesures manuelles de niveau de la nappe d'eau (GWLm). Ce calcul étant difficilement automatisable, il est réalisées par l'expert.

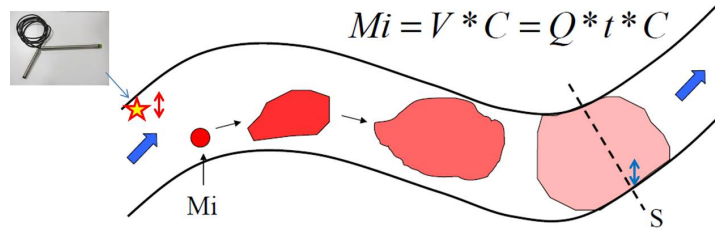
Dans la base de données, les données en sortie de capteur ( $H$ ) sont injectées au moins une fois par an dans le dossier "fichiers annuels" des dossiers "data brutes" des différents sites (cf section 2.3.2) par l'expert responsable de l'hydrologie de chaque site (cf flux de données 2.3.1, cas 2). Les données de niveau de la nappe d'eau (GWL) sont placés dans le dossier "fichiers annuels" des dossiers "data corrigées" des différents sites (cf section 2.3.2). Les actions réalisées sur les données brutes sont consignées dans le log correspondant. Le nom des fichiers sera basé sur la nomenclature décrite au chapitre 1.

### 4.5.3 Débit à l'exutoire - $Q$

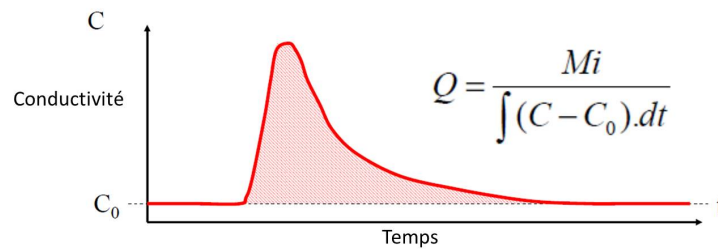
Le débit est obtenu à partir de la relation qui le lie à la hauteur d'eau dans le canal de l'exutoire. Cette hauteur d'eau est enregistrée à haute fréquence. En réalisant des mesures ponctuelles de débit et en mesurant simultanément la hauteur d'eau, on peut réaliser une courbe de tarage qui permettra de transformer les hauteurs d'eau en débit. La mesure de débit couramment employée dans le réseau est la méthode du débit au sel (Fig. 4.2). En amont d'un point de mesure où la conductivité électrique est mesurée, une masse connue de sel est injectée dans le cours d'eau. La conductivité est enregistrée à haute fréquence. Une fois le panache de sel passé (retour à une conductivité de base), la mesure est stoppée. L'intégration de la conductivité avec le temps donne une estimation du débit (Fig. 4.2).

A partir du débit mesuré avec la méthode au sel et la hauteur de la colonne

- Q : Mesure du débit par méthode au sel



- $M_i$  = Masse de sel (NaCl) injecté connu [g]
- $V$  = volume [L]
- $C$  = concentration (conductivité) [ $\text{g L}^{-1}$ ]
- $t$  = temps [s]
- $Q$  = débit [ $\text{L s}^{-1}$ ]
- $H_m$  : hauteur eau au niveau de la mesure de débit [mm]
- $H_s$  : hauteur mesurée en continu par la sonde piézo [mm]



Source: adaptation, Unité de mesures et d'expertises, EDF

FIGURE 4.3 – Schéma des mesures du débit au sel.

d'eau à l'exutoire au moment de la mesure, il est possible de réaliser une courbe de tarage (Fig. 4.3). La relation physique entre ces deux paramètres et sa représentation mathématique sont connues. Il est alors possible de déterminer les paramètres d'une fonction. En injectant les mesures à hautes fréquences de hauteur de la colonne d'eau dans la fonction paramétrée précédemment (spécifique à chaque site), il sera possible d'obtenir des données de débit  $Q$  à haute fréquence (Fig. 4.3).

Dans la base de données, les données en sortie de capteur ( $H$ ) sont injectées au moins une fois par an dans le dossier "fichiers annuels" des dossiers "data brutes" des différents sites (cf section 2.3.2) par l'expert responsable de l'hydrologie de chaque site (cf flux de données 2.3.1, cas 2). En plus des données à hautes fréquences des hauteurs d'eau, un fichier contenant les résultats de la courbe de tarage sera placé également dans les fichiers de données brutes au moins une fois par an. Ces fichiers auront pour nom : "FR\_XXX\_tarage\_YY", avec XXX pour le code du site et YY pour l'année de mesure. Le nom des lignes



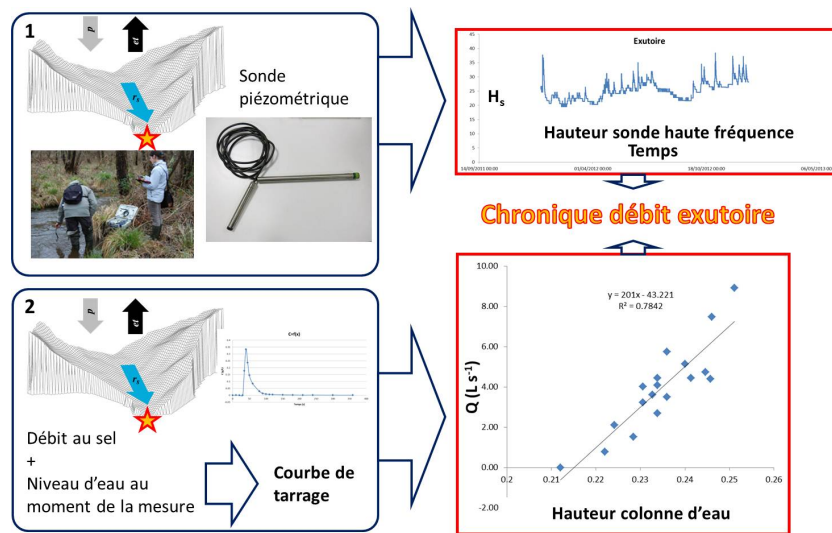


FIGURE 4.4 – Calcul des chroniques de débit à partir des hauteur de la colonne d'eau à haute fréquence et de la courbe de tarrage.

devra se conformer au format décrit au chapitre 1. Les données de débit à l'exutoire (Q) sont placées dans le dossier "fichiers annuels" des dossiers "data corrigées" des différents sites (cf section 2.3.2). Les actions réalisées sur les données brutes sont consignées dans le log correspondant. Le nom des fichiers sera basé sur la nomenclature décrite au chapitre 1. Le numéro de la station pour la variable GWL permettra de savoir s'il s'agit de données provenant de l'intérieur de la tourbière où de son exutoire.

# Chapitre 5

## Mesures de flux de carbone par eddy-covariance

S. Gogo

### 5.1 Cadre et objectif des mesures

## 5.2 Organisation des équipements

### 5.2.1 Nombre de station d'acquisition

### 5.2.2 installation des stations

## 5.3 Les variables : mesures, nomenclature, et capteurs

### 5.3.1 Nombre et fréquence

### 5.3.2 Nomenclature et codes

## 5.4 Mesures de la vitesse et direction du vent en 3D

### 5.4.1 Principe de mesure et unité

### 5.4.2 Positionnement du capteur

### 5.4.3 Calibration et dérive du capteur

## 5.5 Mesure des flux de CO<sub>2</sub>

### 5.5.1 Principe de mesure et unité

### 5.5.2 Positionnement du capteur

### 5.5.3 Calibration et dérive du capteur

## 5.6 Mesure des flux de CH<sub>4</sub>

### 5.6.1 Principe de mesure et unité

### 5.6.2 Positionnement du capteur

### 5.6.3 Calibration et dérive du capteur

## 5.7 Mesure des flux d'H<sub>2</sub>O

### 5.7.1 Principe de mesure et unité

### 5.7.2 Positionnement du capteur

### 5.7.3 Calibration et dérive du capteur



## 5.8 Maintenance de la station

### 5.8.1 LI-7200RS (CO<sub>2</sub> et H<sub>2</sub>O)

#### Toutes les 2 semaines

En théorie (manuel d'utilisation), certaines des actions de cette section devraient être réalisées à une fréquence plus élevée (une fois par jour ou quelques jours, toute les semaines). Comptes tenu de la distance des sites, ces actions de maintenance seront réalisées au moins toute les 2 semaines (en début de mesures en tout cas).

Vérifier les performances de l'instrument en vérifiant les valeurs mesurées :

- Température de l'air
- Pression
- Température sonic
- Point de rosée
- Concentrations des gaz
- Covariances et flux

Vérifier les performances de l'instrument en vérifiant les informations diagnostiques :

- Force du signal
- Température du détecteur
- Température du boîtier du chopper
- Thermocouples

Si une baisse de la force du signal est observée, l'optique doit être nettoyée (voir paragraphe nettoyage du parcours optique ci-dessous). La fréquence de cette action dépend de l'environnement de mesure. Dans le cas de nos sites de tourbières (air relativement pur), cette fréquence devrait être basse (mais reste à définir avec la pratique et peut varier d'un site à l'autre).

En fonction des conditions du milieu, le filtre situé juste après l'entrée d'air peut se boucher assez rapidement. Ce filtre est de type Swagelok FW-2 (entièrement en acier inoxydable). Il peut être réutilisé et nettoyé plusieurs fois (voir paragraphe nettoyage du filtre Swagelok FW-2 ci-dessous).

### Chaque mois

- Vérifier le zéro
- Faire un point de calibration et noter la valeur du  $S_c$
- Télécharger les données
- Vérifier les câbles (dommages, serrage des colliers)
- Vérifier les tubes (dommages, noeud)

Avec l'expérience, la fréquence de la réalisation du zéro et du point de calibration pourra être ajustée.

### Chaque 6 mois

Si l'instrument est dans un environnement humides, il faut remplacer les produits chimiques se trouvant dans l'analyseur (à vérifier avec Licor si cela doit être effectivement fait à cette fréquence).

### Chaque année

Remplacer les produits chimiques se trouvant dans l'analyseur si cela n'a pas été fait tous les 6 mois.

Nettoyer/remplacer les filtres si nécessaire.

### Tous les 2 ans

Vérifier la calibration avec au moins gaz de calibration supplémentaire et/ou retourner l'appareil chez Licor pour check complet (à vérifier, mais je crois que cette dernière action est obligatoire dans ICOS).

### Nettoyage du parcours optique

Le parcours optique doit être nettoyé régulièrement en fonction des caractéristiques de l'environnement de mesures. Pour ce faire, le banc optique doit être ouvert en dévissant les 2 vis se trouvant sur la tête du capteur et en la tirant vers le haut (Fig. 5.1). Le banc optique peut ainsi être retiré (removable optical bench sur la Fig. 5.1). Les fenêtres optiques (optical windows sur Fig. 5.1) peuvent être nettoyées avec du détergent doux ou du lave-glace avec un chiffon de nettoyage sans peluche. Le banc optique peut être lavé avec du savon doux et de l'eau. Le banc optique est constitué d'un insert en PVC. Par conséquent, il ne faut **jamais utiliser d'acétone, de l'eau de javel ou une brosse métallique pour nettoyer le banc optique.**



FIGURE 5.1 – Faire glisser la tête du capteur (partie à droite de la photo) pour permettre de sortir le banc optique.

### nettoyage du filtre Swagelook FW-2

- utiliser de l'air comprimé filtré (300 kPa, air grade zéro ou azote ultra pure) pour souffler les particules les plus grandes dans la direction inverse du flux d'air
- placer le filtre dans un bain a ultrasons pendant 2 heures avec du détergent de laboratoire dilué dans le l'eau déionisée ou ultra-pure
- rincer avec de l'eau distillée dans le sens opposé du flux d'air, puis dans le sens du flux d'air
- utiliser de l'air comprimé filtré (200 kPa, air grade zéro ou azote ultra pure) pour souffler les particules les plus grandes dans la direction inverse du flux d'air, puis dans le sens du flux d'air
- rincer une nouvelle fois aux ultrasons avec de l'eau distillée pendant une heure et souffler à l'air comprimé (300 kPa) dans la direction inverse du flux d'air, puis dans le sens du flux d'air
- laisser sécher pendant 24h dans un endroit propre et sec
- inspecter visuellement l'entrée et la sortie du filtre pour détecter toute trace de corrosion (si corrosion, remplacer le filtre)

## Fusible

L'alimentation du LI7200RS est protégé par un fusible localisé en bas à gauche dans le boîtier. Le remplacer si nécessaire (5A fast blow, 125V, 5x20mm ; 439-04214).

## Remplacement des thermocouples

Des thermocouples avec un fil fin sont localisés à l'entrée et à la sortie de l'air. Ils mesurent la température de l'air entrant et sortant. S'ils sont cassés, il faut les remplacer de la manière suivante :

- Dégager le banc optique comme décrit précédemment
- Utiliser une clé Allen 7/64 pour enlever les 8 vis du banc optique (Fig. 5.2)
- Enlever le l'ensemble portant le thermocouple (Fig. 5.3)
- Mettre un nouveau thermocouple en faisant attention 1) à bien mettre les broches de connections et 2) à ce que les 2 joints toriques soient bien en place
- Remonter le tout



FIGURE 5.2 – Faire glisser la tête du capteur (partie à droite de la photo) pour permettre de sortir le banc optique.

## Nettoyer la prise d'air et le filtre

Après avoir démonter l'élément au bout du tube assurant la prise de l'échantillon d'air (Fig. 5.4), soufflez dedans ou passez de l'eau. L'embout peut être

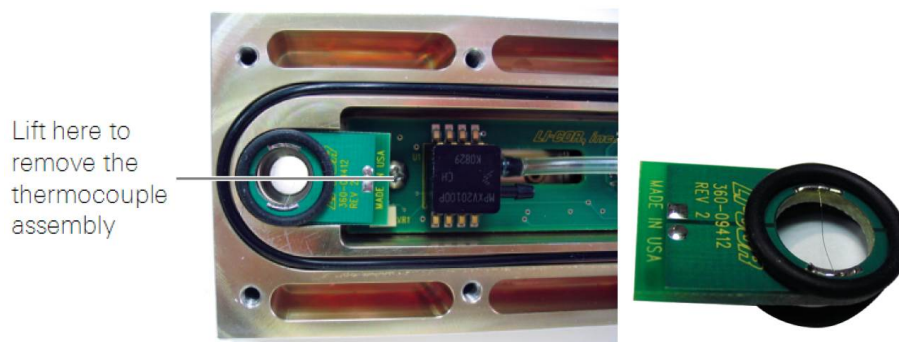


FIGURE 5.3 – Faire glisser la tête du capteur (partie à droite de la photo) pour permettre de sortir le banc optique.

laver dans de l'eau bouillante ou aux ultrasons. Le filtre (screen sur le Fig. 5.4) n'a pas vocation à être retiré pendant le nettoyage. Si cependant, il doit être enlevé, le faire avec petit tournevis avec beaucoup de précaution pour ne pas endommager l'embout

Plus le filtre sera rempli de poussière, plus le module de flux va utiliser d'énergie. Par conséquent, le meilleur indicateur d'un filtre bouché est un changement du besoin d'électricité. En cas de changement du filtre, notez le flux (en %). Avec le temps, comparez cette valeur avec la valeur initiale. **Il faut laver le filtre avant que le flux dépasse 90 %.** Le filtre peut être lavé dans un bain d'eau avec des ultrasons, soufflé ensuite avec de l'air comprimé

### 5.8.2 LI-7700 (CH<sub>4</sub>)

#### Changement du dessicant

Le dessicant se trouvant dans l'élément supérieur du LI700 doit être changé une fois par an. Ceci peut être vérifié dans le cadre "Calibration" de la fenêtre principale, où la valeur "Optics RH" doit être autour de zéro. Si l'indicateur est rouge, quand la valeur d'"Optics RH" est supérieure à 30 %, le dessicant doit être changé.

#### Les miroirs

Bien que les miroirs supérieur et inférieur soient très résistants, il est préférable de les traiter comme des optiques sensibles. Ne pas mettre trop de pression

lors du nettoyage des miroirs. S'ils sont couverts de poussières, laver les miroirs avec un chiffon propre mouillé avec de l'eau ou un liquide lave vitre. Le réservoir pour le lavage automatique peut être rempli de liquide pour pare-brises. Si l'encrassement est faible, de l'eau du robinet peut suffire.

## **Thermocouples**

Si nécessaire, changez le thermocouple (9977-038) comme suit :

- Déconnecter l'alimentation pour éteindre le LI7700
- dévisser les 2 vis dans la partie supérieure qui maintiennent le thermocouple
- Récupérer le thermocouple
- Mettre le nouveau sans forcer et en s'assurant que la pointe est dirigée vers l'intérieur de la cellule de mesure
- Remettre les vis, remettre, l'alimentation connecter le LI7700 et vérifier la mesure de température

## **Le fusible**

Idem section précédente (5A fast blow, 125V, 5x20mm ; 439-04214)

### **5.8.3 LI-7200-101 (module de flux pour le LI7200)**

## **Le fusible**

Pour changer le fusible, dévissez le capuchon et le remplacer (5A fast blow, 125V, 5x20mm ; 439-04214).

## **Le filtre**

Plus le filtre sera sale, plus le module aura besoin d'énergie pour maintenir le bon flux d'air. Le filtre peut être changé (301-10382) ou lavé avec de l'eau ou de l'air comprimé.