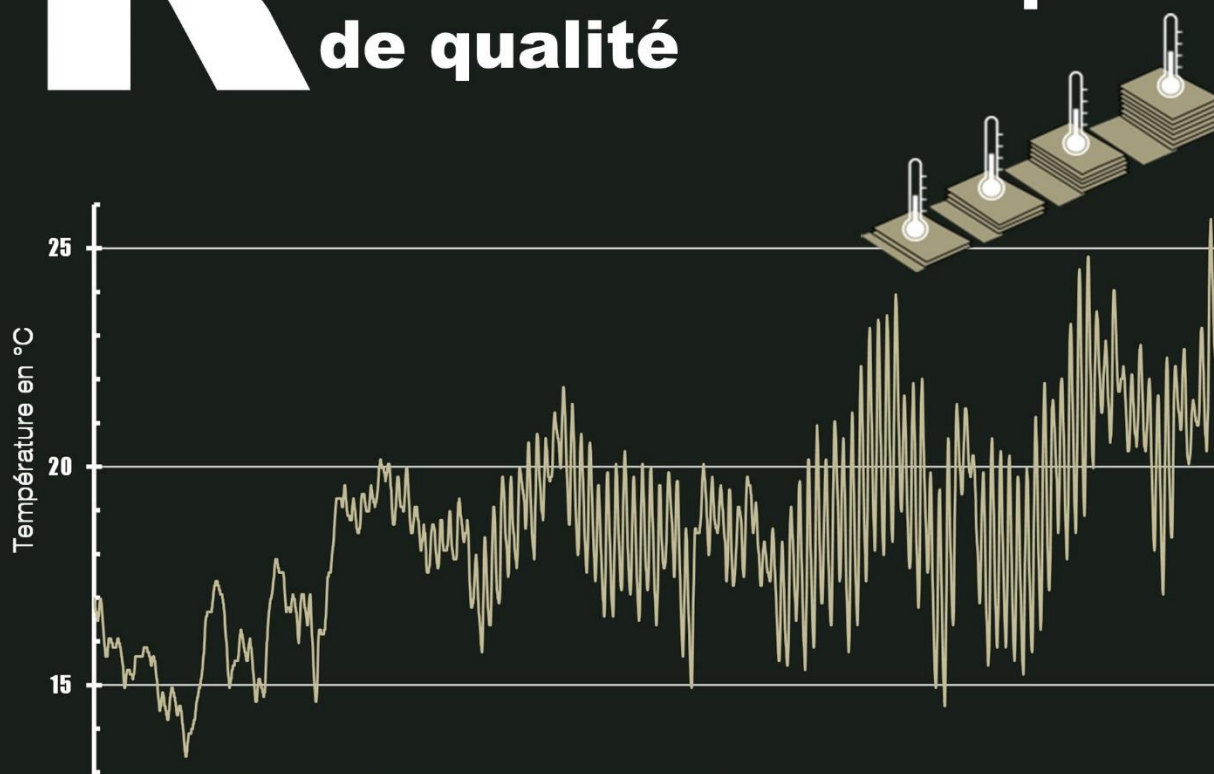




Agréée au titre de la protection de la nature - Loi du 10 juillet 1976

Groupe thermie bassin Adour Garonne

Récolter en cours d'eau des données thermiques de qualité



2022

Stéphane PETITJEAN
s.petitjean@peche19.fr

Fédération de la Corrèze pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique

33 bis, place Abbé Tournet 19000 TULLE- 05.55.26.11.55
contact@peche19.fr www.peche19.fr

Guide méthodologique

Le groupe de travail thermie du bassin Adour-Garonne regroupe les principaux producteurs de donnée thermie du bassin et les acteurs associés ayant un intérêt sur la problématique de la connaissance de la thermie du réseau hydrographique du quart Sud-Ouest :

- Direction Régionale de l'Environnement, de l'Alimentation et du Logement Occitanie représentant le Préfet coordonnateur du bassin Adour-Garonne
- Union des fédérations pour la pêche et à la protection du milieu aquatique du bassin Adour-Garonne
- Fédération de l'Aveyron pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique
- Fédération de la Corrèze pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique
- Office Français de la Biodiversité
- Agence de l'Eau Adour-Garonne

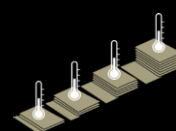
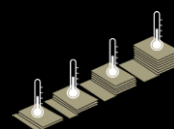


Table des matières

• A - Contexte de la création du groupe thermie Adour-Garonne	1
• B - Préconisations pour une récolte des données offrant une meilleure harmonisation	2
○ 1 - Pas de temps d'enregistrement	2
○ 2 - Enregistrement à heure pleine	2
○ 3 - Utilisation d'un référentiel horaire	4
• C - Préconisations générales pour le suivi de la station et des opérations de pose	5
○ 1 - Un renseignement nécessaire des informations sur la station	5
○ 2 - Des critères impératifs à renseigner pour le suivi des opérations	6
• D - Préconisations générales pour un mode de pose limitant les biais d'enregistrement	7
○ 1 - Choisir une station représentative et pérenne	7
○ 2 - Métrologie des appareils d'enregistrement	8
○ 3 - Protéger la sonde, empêcher toute exondation, enfouissement ou départ et l'abriter du rayonnement U.V.	9
• E - Préconisations pour un contrôle des données thermiques a posteriori	11
○ 1 - Confrontation des dates de pose, de relèvement et d'enregistrement	11
○ 2 - Contrôle visuel de la qualité des données et expertise du contrôleur	13
○ 3 - Identification des phases d'enfouissement et/ou d'exondation des sondes	16
○ 4 - Classification automatisée des températures horaires	18
○ 5 - Analyse automatique des températures horaires successives	18
○ 6 - Métrologie des appareils d'enregistrement	20
• F - Préconisations pour un export de données cohérentes à l'échelle du bassin versant Adour-Garonne	21
○ 1 - Qualification de la donnée contrôlée	21
○ 2 - Précision et résolution de la donnée enregistrée	21
○ 3 - Utilisation du fichier d'export unifié du bassin Adour-Garonne	22
• Bibliographie	23
• Annexes	



A - Contexte de la création du groupe thermie en continu Adour-Garonne

Très tôt, dès 1998, les collectivités piscicoles ont compris que la température était un paramètre fondamental dans la compréhension du fonctionnement des milieux aquatiques et dans l'observation de perturbations anthropiques (Etangs, stations d'épuration, aires urbaines imperméabilisées et changement climatique). Les enregistrements en continu de la température se sont développés tout au long du début des années 2000 que ce soit au niveau du bassin, au niveau national, voire international (OUELLET et al., 2020). Au sein du réseau des associations régionales pêche Occitanie (ARPO), Nouvelle Aquitaine (ARPNA) et de l'union des fédérations du bassin Adour-Garonne (UFBAG), quelques fédérations ont rapidement fait remonter à l'agence de l'eau Adour-Garonne l'intérêt de structurer un réseau thermique cohérent à l'échelle du bassin permettant une coordination entre producteurs, une harmonisation des pratiques, la mise en place d'une démarche qualité et d'une bancarisation pérenne.

L'intérêt du suivi de ce paramètre dans un objectif de gestion et de préservation du milieu aquatique a également été partagé par l'OFB et les DREAL. Cela a pu se traduire au niveau national avec la mise en place du Réseau National Thermique (RNT) en 2008 porté par l'OFB ou au niveau régional avec des DREAL sur le réseau hydrométrique ou portant des analyses sur des thématiques spécifiques (étangs notamment). L'agence de l'eau Adour-Garonne coordonnant et portant les différents réseaux de suivi de la qualité de l'eau du bassin s'est montrée aussi très intéressée sur le sujet. Le suivi du paramètre température s'est avéré être un paramètre abiotique descriptif du milieu important à suivre et à prendre en compte.

À la lumière du besoin des acteurs du bassin, un groupe thermie Adour-Garonne s'est constitué en 2019. Piloté par la DREAL de bassin, il a pour objectif d'identifier les acteurs, recenser les pratiques de chacun, asseoir une instance de concertation et définir à terme une stratégie de surveillance et de valorisation du suivi de la thermie en continu. La DREAL de bassin a démontré, via une consultation portée en 2020 que les collectivités piscicoles, l'OFB, et la DREAL représentaient la très grande majorité des données produites, aux alentours de 80 à 90%. En parallèle, une note d'intention du bassin Adour-Garonne a été envoyée au Ministère de l'Écologie pour porter ce message au niveau national. En parallèle du travail mené en bassin, un projet national de reprise du RNT avec le développement d'un outil de bancarisation national est à l'étude.

Il a donc été décidé, dans le cadre de ce groupe thermie :

- De la rédaction et la diffusion d'une notice regroupant des préconisations pour la récolte des données, le suivi des matériels et l'export harmonisé des données permettant une homogénéisation à l'échelle du bassin Adour-Garonne,
- De la création d'un fichier d'export des données contrôlées et vérifiées permettant une bancarisation à l'Agence de l'Eau Adour-Garonne via FTP,
- De la définition d'une stratégie de surveillance au niveau du bassin.

La présente notice vise à harmoniser les pratiques sur le bassin Adour-Garonne dans une démarche qualité nécessaire à une bonne exploitation future des données d'enregistrement de la température en continu, notamment dans le cadre de la DCE et de l'observation des conséquences du changement climatique.

Il convient de rappeler que l'objectif du réseau de suivi pérenne de la température de l'eau sur le bassin Adour-Garonne doit se traduire par l'acquisition en continu, tout au long de l'année et dans un objectif de long terme (2050) de ce paramètre fondamental. Les études ponctuelles, les relevés saisonniers ne peuvent dès lors pas être intégrés dans ce réseau.

B-Préconisations pour une récolte des données offrant une meilleure harmonisation

1 - PAS DE TEMPS D'ENREGISTREMENT

L'objectif du suivi pérenne de température est d'observer les variations de ce paramètre fondamental à différentes échelles temporelles (journalier, hebdomadaire, mensuel, annuel, saisonnier etc.) sans limite de durée.

À cette fin, la littérature scientifique (HECK et al., 2018 ; CHANDRESIS et al., 2017 ; MAUGER et al., 2015 ; DUNHAM, 2005 ; voir figure 5 ci-contre) consacre le pas de temps horaire comme étant le bon compromis pour observer finement les variations à ces différentes échelles, y compris sur des gradients journaliers importants de plus de 10°C. Ce pas de temps limite grandement l'incertitude d'omettre les valeurs maximales et minimales journalières ce qui pourrait se traduire par la suite sur les métriques élaborées (moyennes journalières, gradients etc.)

Par ailleurs, l'inertie de la température de l'eau étant bien supérieure à celle de la température de l'air (d'un facteur 2 à 2,5 environ), les gradients sont suffisamment limités pour être observables avec un enregistrement horaire. Enfin, la capacité d'enregistrement des matériels actuels n'est plus limitante et permet souvent des enregistrements horaires sur plusieurs années de mission.

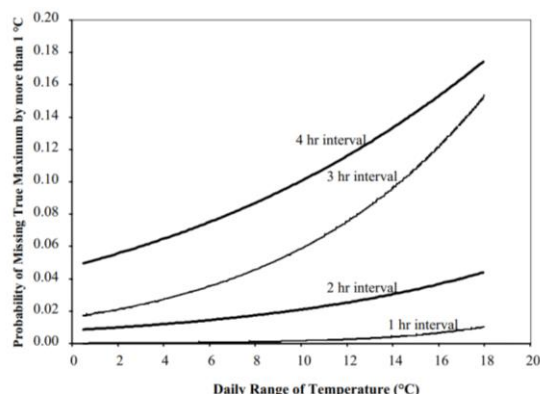
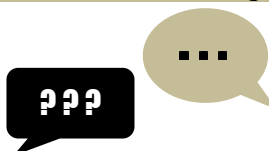


Figure 5—Probability of underestimating the maximum daily temperature by at least 1 °C in relation to daily range of temperature and sampling interval.

Préconisations du groupe thermie Adour-Garonne

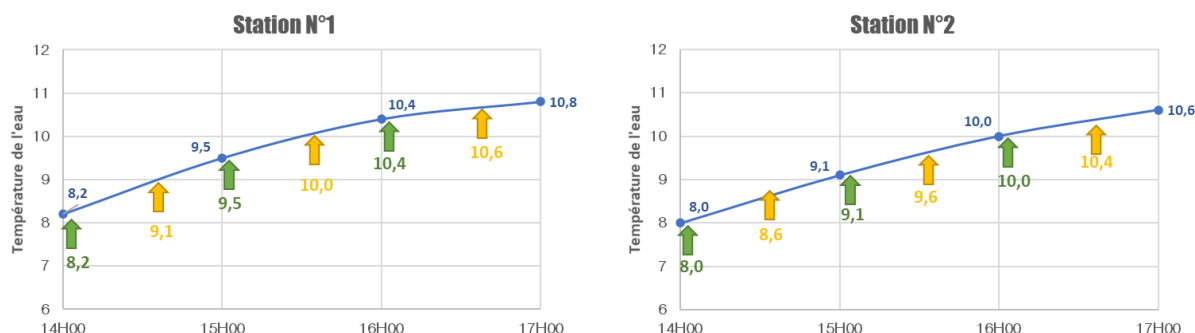


« Quel que soit le matériel adopté par le producteur de données, il est impératif que la programmation de l'enregistrement se fasse à un pas de temps horaire, c'est-à-dire un enregistrement par heure »

2 - ENREGISTREMENT À HEURE PLEINE

L'observation des pratiques de terrain à l'échelle du bassin montre différentes modalités de programmation de l'heure de lancement de l'enregistrement. Très souvent, l'heure d'enregistrement correspond à l'heure h de programmation de la sonde. Afin de pouvoir assurer une comparaison interstationnelle et interannuelle fiable, il est plus pertinent d'enregistrer à heures pleines afin de supprimer les biais de comparaison à l'échelle locale mais aussi à l'échelle du bassin. En effet, l'analyse des chroniques de données disponibles (GUILMET - FDAAPPMA 12, DURBEC - FDAAPPMA 12 et PETITJEAN - FDAAPPMA 19, comm. Pers.) montre que la comparaison interstationnelle et interannuelle de données enregistrées à des heures différentes induit un biais non négligeable, notamment sur les périodes de gradient journalier élevé, au printemps et à l'automne.

Exemple : comparaison entre un enregistrement à 14H01-15H01 etc. (en vert) et à 14H39-15H39 etc. (en orange) pour deux stations à régime thermique non influencé) induisant un biais significatif dans l'analyse de la donnée.



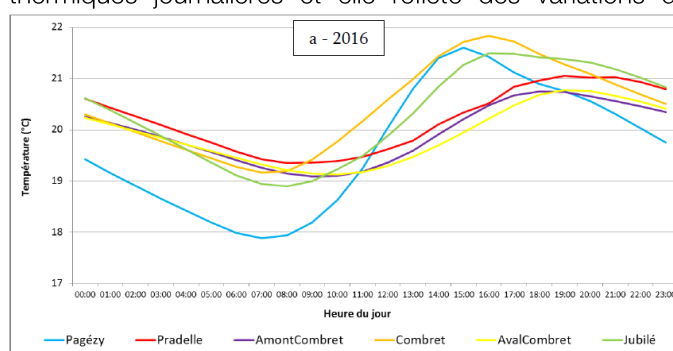
Comparaison de la différence entre la station N°2 et la station N°1		
Cas A : Si comparaison sur l'enregistrement sur les 2 stations à heure pleine (préconisé)	- 0,2 °C / - 0,4°C / - 0,4°C / - 0,2°C	« La station N°2 est légèrement plus froide que la station N°1 »
Cas B : Si comparaison de l'enregistrement de la station N°1 à 14H01-15H01 etc. avec l'enregistrement de la station N°2 à 14H39-15H39 etc.	+ 0,4°C / + 0,1°C / + 0,0 °C	« La station N°2 est globalement un peu plus chaude que la station N°1 »
Cas C : Si comparaison de l'enregistrement de la station N°1 à 14H39-15H39 etc. avec l'enregistrement de la station N°2 à 14H01-15H01 etc.	- 0,7 °C / - 0,9 °C / - 0,6°C	« La station N°2 est globalement beaucoup plus froide que la station N°1 »

La comparaison d'enregistrements à des heures différentes conduit à une erreur d'interprétation comme dans le cas B ou à un bon diagnostic dans le cas C avec une erreur de 200 %.

Toutefois il convient de noter que ce type de comparaison sur un pas de temps aussi faible n'est à considérer que dans des cas très précis (différence amont-aval d'une anomalie thermique par exemple : étude de l'impact d'un étang, d'une station d'épuration etc.). L'influence de l'heure d'enregistrement sur des indicateurs « plus globaux » dans le temps (moyenne, max sur x jours consécutifs...) est plus faible, voire négligeable.

L'acquisition de données à des heures identiques présente un intérêt pour l'analyse de données, par exemple pour comparer le comportement de plusieurs stations via la variabilité journalière moyenne. Cette variable est complémentaire des données thermiques journalières et elle reflète des variations de température causées par des phénomènes à une échelle spatiale plus fine (absence de ripisylve, retenues d'eau...).

Source : DURBEC M. – FDAAPPMA 12, 2016 Comparaison de six stations plus ou moins influencées par le rayonnement solaire. L'enregistrement à pas de temps horaire fixe permet une comparaison fine sur une échelle spatiale plus fine.



Préconisations du groupe thermie Adour-Garonne



...

« Au-delà du pas de temps horaire qu'il est impératif d'adopter, il est indispensable que la programmation de l'enregistrement se fasse à heure pleine (Ex : 15H00, 16H00 etc.). »

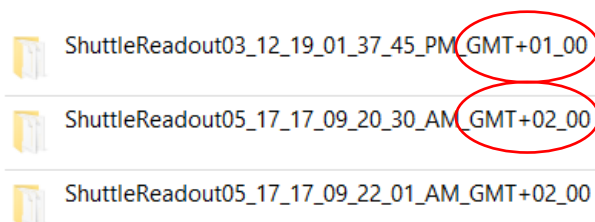
3 - UTILISATION D'UN RÉFÉRENTIEL HORAIRE

Le temps universel coordonné est l'échelle de temps adoptée comme base du temps civil international. Souvent dénommée UTC (acronyme anglais : Universal Time Coordinated), elle peut être utilisée, comme le référentiel GMT (acronyme anglais : Greenwich Mean Time) comme la référence dans les codes-temps des différents matériels autonomes d'enregistrement de température. La France métropolitaine est située sur le fuseau horaire UTC+1 (qui est aussi le fuseau horaire de référence au niveau européen). Or, le choix de la France, d'adopter une heure d'été et une heure d'hiver depuis 1974, a conduit à ne pas utiliser continuellement ce fuseau horaire de référence. Ainsi, l'heure d'été, correspondant à UTC+2, est utilisée entre le dernier dimanche de mars et le dernier dimanche d'octobre. Le fuseau UTC+1 est utilisé pour « l'heure d'hiver » le restant de l'année.

L'analyse des chroniques de données disponibles (GUILMET FDAAPPMA 12 et PETITJEAN FDAAPPMA 19, *comm. Pers.*) montre que la comparaison interstationnelle et interannuelle de données enregistrées à des fuseaux horaires différents induit un décalage d'analyse et donc un biais non négligeable en cas de longues chroniques. Ce paramètre influe également sur les données élaborées, notamment les moyennes journalières et les valeurs de référence (min, max, etc.)

Souvent, l'opérateur cale le code-temps de la sonde sur le code-temps de l'ordinateur où est installé le logiciel lors de la programmation de la mission. Le code-temps des ordinateurs sous Windows® ou iOS® « calent » leur code-temps sur le modèle à la française. Ainsi une campagne programmée le 30 juin, donnera des heures de programmation et d'export en UTC+2 à l'inverse d'une campagne programmée le 3 Novembre qui sera en UTC+1. Si la relève de la sonde a lieu au-delà de la période du changement d'heure (ce qui est de plus en plus fréquent avec les nouveaux matériels à relève annuelle), il est possible d'observer un décalage d'une heure dans les code-temps.

Exemple des fichiers d'export de plusieurs campagnes d'une même sonde HOBO sur une station. On observe qu'une campagne a été programmée et exportée en UTC+1 et les autres en UTC+2 ce qui demanda un post-traitement des codes temps (Source : FDAAPPMA 19)



ShuttleReadout03_12_19_01_37_45_PM_GMT+01_00

ShuttleReadout05_17_17_09_20_30_AM_GMT+02_00

ShuttleReadout05_17_17_09_22_01_AM_GMT+02_00

Si cette précaution n'a pas été prise au moment de la programmation, l'opérateur doit impérativement renseigner le fuseau horaire utilisé pour la mission lors de l'export des données. Il est possible que pour certains matériels (IB Cod, certains modèles de Tinytag) cette référence ne soit pas précisée. Il faut alors que l'opérateur renseigne lui-même l'information en observant la date de programmation de la mission et la date de début de la chronique de récolte de la donnée. Si elle a eu lieu entre le dernier dimanche de mars et le dernier dimanche d'octobre, alors les données sont en UTC+2. Sinon, elles sont en UTC+1.

Préconisations du groupe thermie Adour-Garonne



« Au-delà du pas de temps horaire à enregistrement à heure pleine, il est impératif de connaître le fuseau horaire utilisé et d'adopter, lors de la programmation, le fuseau horaire UTC+1 (ou GMT +1) correspondant à l'heure d'hiver. S'il s'avérait impossible de choisir le fuseau horaire lors de la programmation, les données relevées devront alors être redressées et exprimées en UTC +1 avant tout export ou transfert de donnée à un tiers. »

C - Préconisations générales pour le suivi de la station et des opérations de pose

Au-delà de la qualité de la programmation des campagnes de suivi, des conditions de pose et du contrôle *a posteriori* des données, le retour d'expérience des producteurs de donnée thermique en continu depuis vingt ans est qu'il est impératif d'assurer un suivi fin et précis des opérations de pose.

1 - UN RENSEIGNEMENT NÉCESSAIRE DES INFORMATIONS SUR LA STATION

Voici ci-dessous, les informations essentielles qu'il est impératif de renseigner sur chaque station de suivi. Nous invitons chaque producteur de données à se référer au dictionnaire des données du Sandre sur l'enregistrement des données en continu.

- Nom de la structure productrice de la donnée
- Nom de la personne en charge du suivi de cette station
- Coordonnées de la personne en charge du suivi de cette station
- Type d'entité hydrographique (Code SANDRE 796) : Inconnu – Plan d'eau – Cours d'eau
- Nom du cours d'eau
- Affluent de (facultatif)
- Nom du site
- Code interne de la station : de type BASSIN_RIVIERE_SITE_NUMERO (sans accent, ni espace, ni caractères spéciaux)
- Code SANDRE (si existant)
- Commune N°1 et commune N°2 de la station de suivi
- Coordonnées LAMBERT 93 X et Y
- Schéma descriptif du site, de la localisation de la pose et photographies contextualisantes
- Position de la sonde : rive droite - rive gauche - chenal
- Faciès morphodynamique dans lequel la sonde a été posée (Code SANDRE 53) : Mouille – Plat lentique – Plat courant – Radier – Rapide – Escalier – Cascade – Chute
- Profondeur au moment de la pose/relève (en m)
- Support de fixation (Racine, bloc, fer, chaîne, lest etc.)
- Eclairage du lieu de pose de la sonde (Code SANDRE 500) : Ombrage complet, Très ombragé, Ombragé, Peu ombragé, Eclairé, Très éclairé
- Matérialisation de la localisation de la sonde (Bombe, martelage, repère, autre)
- Remarques aidant à la localisation

Voici quelques données qu'il est conseillé de connaître sur la station de suivi pour des analyses interstationnelles ultérieures ; Ces données sont facilement récupérables grâce à un SIG :

- Distance à la source (en km)
- Superficie du bassin versant topographique (en km²)
- Superficie du bassin versant hydrologique réel (en km²)
- Pente (en ‰)
- Contexte hydrogéologique au droit de la station (Code SANDRE 353) : inconnu – milieu poreux – milieu fissuré – milieu karstique
- Contexte hydrogéologique du bassin versant (Code SANDRE 353) : inconnu – milieu poreux – milieu fissuré – milieu karstique
- Conductivité à 25°C (en µS.cm²)
- Largeur moyenne à l'étiage (en m)

- Largeur moyenne de plein bord (en m)
- Continuité de la ripisylve (582) : dépourvu de ripisylve – ripisylve isolée – ripisylve espacée régulière – Bosquets éparses – Ripisylve semi-continue – Ripisylve continue ;
- Régime hydrologique : (Pluvial, pluvio-nival etc.)
- QMNA₅ mesuré (en m³.s⁻¹)
- QMNA₅ modélisé (en m³.s⁻¹) (débits de référence IRSTEA)
- Module interannuel (en m³.s⁻¹) si connu
- Persistance hydrologique (Code SANDRE 773) : sec – éphémère – intermittent – permanent – inconnue
- Observations sur la station (zone karstique, inversion typologique, anomalie thermique en amont etc.)
- Observations sur les tronçons en amont de la station (absence de ripisylve, plans d'eau etc.)

2 - DES CRITÈRES IMPERATIFS À RENSEIGNER POUR LE SUIVI DES OPÉRATIONS

Pour assurer la partie suivie du matériel, nous préconisons impérativement la tenue d'un carnet de suivi des enregistreurs de température pour chaque station codifiée individuellement regroupant (pour chaque numéro de campagne d'enregistrement) les paramètres suivants :

- Nom de la personne en charge de la pose
- Type de matériel utilisé
- Numéro individuel du matériel utilisé (exemple : numéro de série du capteur)
- Numéro individualisé interne à la structure
- Date de pose (JJ/MM/AAAA)
- Heure de pose (HH : MM : SS)
- Profondeur au moment de la pose (en m)
- Support de fixation (Racine, bloc, fer, chaîne, lest etc.)
- Situation hydrologique au moment de la pose/relève (Code SANDRE 1725) : inconnu – étiage – étiage sévère – étiage normal - moyennes eaux – hautes eaux
- Classe de vitesse au moment de la pose/relève (Code SANDRE 278) : vitesse < 5 cm.s⁻¹ ; 5 cm.s⁻¹ < vitesse < 25 cm.s⁻¹ ; 25 cm.s⁻¹ < vitesse < 75 cm.s⁻¹ ; vitesse > 75 cm.s⁻¹
- Ombrage du lieu de pose de la sonde (Total, Moyen, Faible, Nul)
- Matérialisation de la localisation de la sonde (Bombe, martelage, repère, autre)
- Remarques concernant la pose et aidant à la localisation + schéma
- Date de début d'enregistrement (JJ/MM/AAAA)
- Heure de début d'enregistrement (HH : MM : SS)
- Nom de la personne en charge de la relève
- Date de relève (JJ/MM/AAAA)
- Heure de relève (HH : MM : SS)
- Sonde présente à la relève (OUI/NON)
- Profondeur au moment de la relève (en m)
- Remarques concernant la relève
- Nettoyage de la sonde (OUI-NON)
- Remplacement de la sonde (si OUI, préciser le numéro individuel de sonde)
- Remplacement de la pile (OUI-NON)
- Autre maintenance réalisée
- Etat de l'enregistrement (arrêt, poursuite avec la sonde (relance), poursuite avec une autre sonde)
- Contrôle métrologique (Date, résultat de conformité, dérive)
- Actions à faire au prochain passage

Chaque fichier d'export doit être individualisé sous format .CSV ou à défaut sous format .XLS selon le modèle suivant : CODE_STATION_Datedepose_Numerosonde. (sans accent, ni espace, ni caractères spéciaux)

D - Préconisations générales pour un mode de pose limitant les biais d'enregistrement

Ici, seules quelques préconisations générales, ne se voulant pas exhaustives, sont présentées pour aider l'opérateur à la pose de ses enregistreurs de température.

1 - CHOISIR UNE STATION REPRÉSENTATIVE ET PÉRENNE

Le réseau pérenne d'observation en continu des températures de l'eau en Adour-Garonne vise à constituer des chroniques longues de données à enregistrement à pas de temps horaire afin :

- D'observer les conséquences du changement climatique sur le réseau hydrographique et les altérations possibles sur le fonctionnement des milieux aquatiques,
- D'observer l'évolution de l'état des milieux aquatiques du bassin Adour-Garonne dans le cadre de la surveillance des masses d'eau DCE,
- De comprendre le lien entre la physico-chimie (ici la thermie) et la biologie à l'aide des autres réseaux existants (poissons, invertébrés, diatomées).

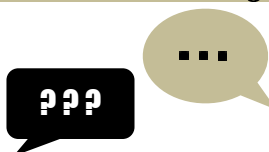
La mise en place d'un réseau de stations de mesure nécessite une réflexion préalable afin de définir l'implantation des stations. La connaissance fine du terrain de la part de l'opérateur est primordiale pour :

- Éviter de sélectionner une zone naturellement soumise à des variations importantes de morphologie du lit mineur (hors épisode hydrologique exceptionnel) pouvant conduire à la perte de la sonde. Les zones de lit en tresse ou les secteurs à mobilité forte sont donc à proscrire pour la pose des enregistreurs de température dans le cadre d'un réseau pérenne.
- Éviter l'enregistrement de conditions thermiques atypiques (rejet direct de station d'épuration, exutoire de centrale hydroélectrique etc.). Si l'étude de ces sites est tout à fait légitime (et désormais assez documentée dans la littérature), elle n'entre pas dans le cadre d'un réseau pérenne d'observation.

La recherche de la représentativité pour le choix de la station est tout à la fois un travail primordial et exigeant. Le producteur de la donnée devra tout d'abord se rapprocher des autres producteurs pour éviter de « doubler » une sonde existante (sauf dans des cas spécifiques visant à vérifier la variabilité de la qualité de la donnée). Une fois le bassin versant représentatif choisi, le choix du secteur de pose est fondamental. L'opérateur privilégiera :

- De se rapprocher d'une station des réseaux existants si elle est présente
- Un tronçon de pente homogène et représentatif,
- Un faciès stable hydromorphologiquement (plat ou profond (relatif) < 1m),
- La proximité d'un repère visuel fixe (Pont, bâtiment etc.)
- Un secteur homogène dénué d'apport d'affluents significatifs, d'influence d'apport de nappe, de rejets à proximité immédiate de la sonde. Ces paramètres semblent particulièrement influençant sur les grands cours d'eau notamment (DUNHAM, *op. cit.*),
- Un secteur ombragé (voir paragraphe suivant).

Préconisations du groupe thermie Adour-Garonne



« La **bonne représentativité** d'une station pérenne de suivi de la température **tient à la fois à la qualité de la préparation au bureau** (représentativité sur le bassin, à l'échelle du tronçon etc.) **qu'à la qualité et l'adaptabilité du poseur sur le terrain.** »

2 - MÉTROLOGIE DES APPAREILS D'ENREGISTREMENT

Très tôt, les différents producteurs de donnée ont observé des dérives, voire des erreurs de mesures de la part des sondes d'enregistrement. Si ces erreurs, observées ponctuellement, ne sont pas fondamentalement problématiques (elles restent souvent inférieures à 1°C), le faible gradient thermique des milieux aquatiques continentaux du quart sud-ouest (environ 30°C maximum) conduit à ce que ces erreurs potentielles puissent prendre une part non négligeable dans la mesure. De plus, les faibles températures hivernales augmentent *de facto*, la part de l'incertitude dans la valeur mesurée.

La thermométrie est la science de la mesure de la température et fait partie intégrante de la métrologie. Avant toutes choses, tous les instruments utilisés (capteurs et instruments de référence) doivent être identifiés de manière unique, permanente et présente sur l'instrument lui-même. Cette identification peut être soit réalisée à l'aide d'une codification interne et reportée sur l'instrument (le système d'identification physique doit être robuste pour tenir la durée de vie de l'appareil), soit par l'intermédiaire du numéro de série de chacun des instruments, très souvent présent sur l'instrument.



Source : DUNHAM et al., 2005. Chaque matériel d'enregistrement de température (ici deux sondes différentes HOBO U22 et Pendant) sont identifiées par un numéro unique qu'il convient de renseigner dans les fiches de suivi des campagnes d'enregistrement.

Dans le cadre de la démarche « *qualité* », mise en place par le groupe thermie Adour-Garonne, il

est possible de garantir les résultats d'enregistrement des sondes selon deux méthodes :

- Un étalonnage périodique COFRAC des sondes d'enregistrement
- La mise en place d'une surveillance interne via un protocole standardisé à l'aide de thermomètres de référence (étalonné COFRAC)

La FDAAPPMA 12 a mis en place, très tôt, un protocole qualité en interne (GUILMET, comm. Pers.). A ce jour, la quasi-totalité des capteurs présente des écarts en deçà de la précision des modèles utilisés (Tinytag : +/- 0.5°C, Hobo : +/- 0.2°C) ce qui peut permettre de rassurer les producteurs de données sur la dérive et les défauts de ces appareils. Toutefois, il est possible d'observer des écarts relativement constants par rapport aux appareils témoin (0.7-0.8°C) c'est-à-dire supérieurs à l'erreur de mesure. En appliquant ces protocoles de contrôle, il est donc possible de conserver ou de mettre au rebus certaines sondes dans le pool matériel.

Le contrôle interne peut être réalisé soit dans un bain thermostaté ou à minima homogène (à la température de travail des capteurs entre 15 et 25°C), soit dans un milieu eau + glace (en équilibre) permettant d'obtenir 0°C. Ensuite il s'agit d'observer les écarts entre les valeurs des capteurs et celle de la sonde de référence. Les écarts devant être inférieurs aux erreurs maximales tolérées, définies par une norme, par une réglementation ou une prescription propre au gestionnaire du parc d'instruments de mesure.

Deux exemples de protocole sont présentés en annexe.

3 - PROTÉGER LA SONDE, EMPÊCHER TOUTE EXONDATION ET ENFOUISSEMENT OU DÉPART ET L'ABRITER DU RAYONNEMENT U.V.

La pose d'une sonde d'enregistrement de température est soumise à plusieurs aléas qu'il convient de limiter dans le cadre d'un réseau pérenne :

- Vandalisme ou dégradation involontaire : afin de s'en protéger, l'opérateur doit procéder à la mise en protection de la sonde (chaîne inox, cadenas etc.). Le plus souvent, une dissimulation sous berge est la plus efficace des solutions pour lutter contre cet aléa. L'adossement au système d'enregistrement d'une plaque d'information est utilisé par certaines structures et permet (parfois) de récupérer la sonde dégradée involontairement.
- Enfouissement ou exondation : les deux principales difficultés rencontrées par les poseurs de système d'enregistrement sont l'enfouissement de la sonde dans le substrat, mais surtout l'exondation en période estivale. S'il est impossible de prévenir complètement ces événements naturels, quelques conseils peuvent limiter ces désagréments. Il est conseillé d'assurer une protection supplémentaire à l'enregistreur de température, en l'insérant dans un élément PVC par exemple. Il n'existe pas un matériel de pose universel, l'imagination des poseurs n'a d'ailleurs pas de limite (voir photos ci-dessous). Celui-ci doit toutefois répondre à des enjeux de protection aux UV (épaisseur du PVC ou ombrage), de protection à l'écrasement (solidité du PVC) et bien évidemment de laisser les écoulements d'eau libres. Une pose libre à l'aide de câbles gainés est possible sous contrainte de connaître parfaitement le site de pose (choix de la zone la plus stable, profondeur de pose supprimant le risque d'exondation etc.). Pour éviter tout phénomène d'exondation, les sondes doivent être lestées dans les zones de profond (toutefois inférieure à 1 mètre). Une pose au-dessus du fond permet d'éviter le plus souvent un enfouissement de la sonde.

Voici une revue non exhaustive de quelques systèmes de poses recensés dans la littérature :



Sources :

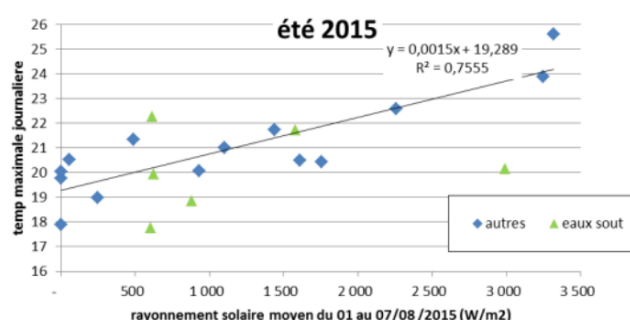
1 et 2 : FDAAPPMA 19 (outil de pose filtre adapté hydrolowtech)
 3 : DUMOUTIER et al., 2007
 4 : DUNHAM et al., 2005
 5 : www.gemindataloggers.com

6 : ISAAK et al., 2013
 7 : Auteur inconnu - U.S. Environmental Protection Agency, 2014
 8 : HARRIS, 2014
 9 : FDAAPPMA 19

N.B : dans le cas, très particulier, d'équipement de sites soumis à un marnage important (grandes retenues hydroélectriques par exemple), la sonde de température seule ne suffit pas. Un couplage avec un capteur de pression est indispensable pour connaître la profondeur instantanée associée à la valeur de température. Par ailleurs, pour prévenir toute dégradation ou vol du matériel, la pose dans les zones d'interdiction au grand public est préconisée (interdiction de navigation par exemple).

Afin d'éviter tout départ de la sonde lors des crues (et aussi un vandalisme « poussé »), et au-delà de la protection physique déjà cité, il est préconisé d'ancrer la sonde en berge (câblage gainé, chaîne inox etc.).

La protection aux rayonnements directs U.V. est essentielle. La littérature insiste sur cet aspect (TONOLLA et al., 2019, CHANDESRIS et al., 2017 ; CHANDESRIS et al., 2017 ; CAISSIE, 2006), notamment en période estivale, et insiste sur le fait d'installer la sonde pour limiter les biais d'enregistrements et ses éventuelles dérives.



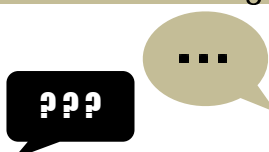
Source : CHANDESRIS et al., 2017

Pour améliorer la comparaison interannuelle et interstationnelle, il est donc impératif de disposer, *a minima*, les systèmes d'enregistrement dans des tronçons boisés à l'abri du rayonnement direct du soleil.

Il est préconisé d'insérer le dispositif d'enregistrement dans un boîtier de protection aux rayonnements U.V. de type « tube en PVC ». Certains dispositifs sont équipés de protection contre les chocs en caoutchouc et peuvent faire office de protection aux UV.

N.B : dans le cas, très particulier, des zones tourbeuses ou des estives sans ripisylves, nous préconisons la mise en place de la sonde dans une sous-berge, à l'abri complet du rayonnement U.V.

Préconisations du groupe thermie Adour-Garonne



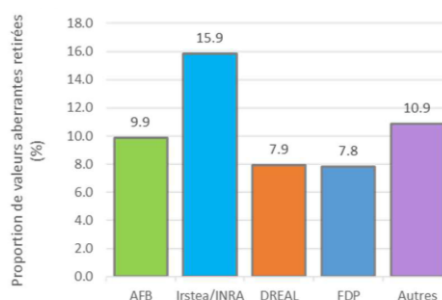
« Pour limiter les biais, améliorer la qualité de la donnée récoltée et permettre une bonne comparaison interannuelle et interstationnelle, l'opérateur devra poser la sonde d'enregistrement à l'abri du rayonnement solaire direct (c'est-à-dire en zone boisée et dans un tube PVC) et des regards indiscrets (sonde camouflée). La sonde sera mise en place à l'aide d'un système lesté, permettant un écoulement permanent autour de l'enregistreur, limitant les dommages involontaires ou volontaires, câblé en berge et évitant l'exondation (faciès plat ou profond < 1 m de profondeur) et l'enfouissement (> 10 cm du fond) »

E - Préconisations pour un contrôle des données thermiques *a posteriori*

Les différents travaux de synthèse bibliographique (CHANDESRI, *op. cit.*, GUILMET, 2012), les études spécifiques au sujet (BEAUFORT et al., 2020 ; BEAUFORT, 2015) ainsi que le retour des producteurs de données thermiques (FAGOT, 2019 ; FAGOT, 2018) ont tous démontré que le contrôle *a posteriori* de la qualité des données récoltées était un élément essentiel pour une exploitation ultérieure de qualité.

Le projet national TIGRE (BEAUFORT et al., *op. cit.*) a d'ailleurs montré que :

- sur 2701 stations françaises testées, seules 5,1 % étaient dénuées d'erreurs. La quasi-totalité des chroniques d'enregistrement de données nécessite un contrôle *a posteriori* pour améliorer la qualité du jeu de données.
- Dans le jeu de données des stations comportant des erreurs, la proportion de valeurs aberrantes variait entre 7% et 16 % du jeu total de données brutes. Lorsque les producteurs de données utilisent les préconisations de programmation, de pose et un processus de qualification *a posteriori*, ce taux peut tomber à 0 %. Le taux de valeurs aberrantes varie donc en fonction des producteurs de données et de leurs pratiques de contrôle interne (voir graphique ci-dessus – Source : BEAUFORT, *op.cit.*).



En pratique, ces valeurs aberrantes sont de trois ordres :

- Enregistrements de température d'air au moment des manipulations de la sonde (pose, remplacement, relève etc.)
- Exondation et/ou enfouissement durant l'enregistrement
- Dérive de la sonde et/ou erreurs d'enregistrement

L'analyse de l'application de filtres de contrôle automatisés simplifiés permet d'améliorer la qualité de la donnée en passant de 7 % à moins de 2-3 %, voire de les supprimer totalement dans certains cas (PETITJEAN, *comm. Pers.*).

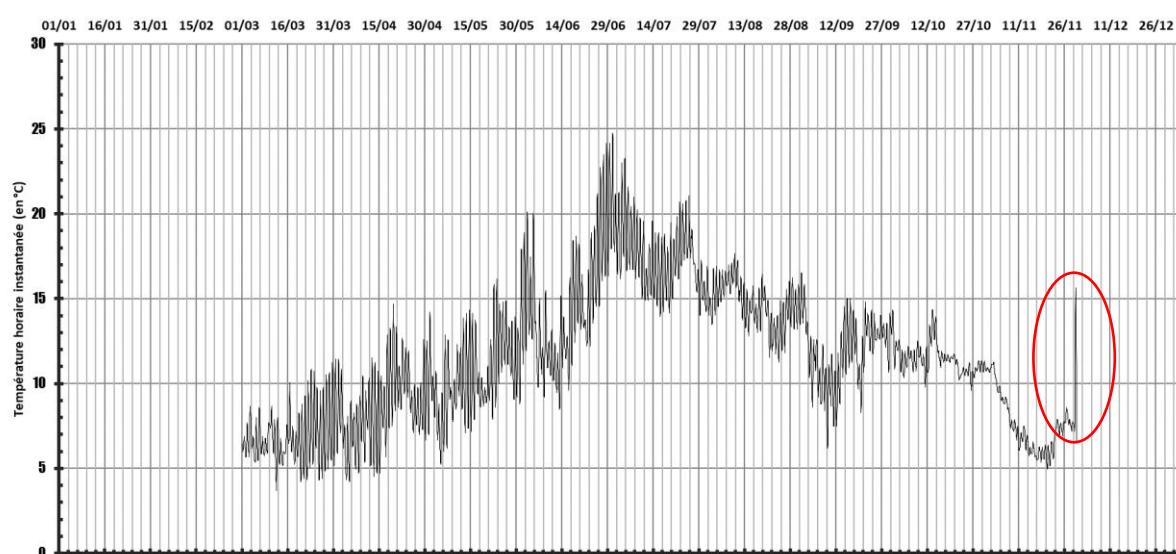
Le groupe thermie Adour-Garonne rappelle ainsi son attachement à la qualité de la donnée produite et à la mise en place impérative de procédures de contrôles automatisées et manuelles.

1 - CONFRONTATION DES DATES DE POSE, DE RELÈVE ET D'ENREGISTREMENT

La première erreur majeure observée sur les jeux de données concerne les « queues » de plage d'enregistrement, c'est-à-dire la période de pose et de relève/relance de la programmation. En effet, la programmation se déroulant très majoritairement au bureau, il est fréquent que des températures d'air soient enregistrées entre la programmation et la mise à l'eau de la sonde d'enregistrement. Il est donc primordial :

- Au moment de la première pose d'un enregistreur sur une station de suivi pérenne (aucune sonde déjà présente) : programmer une date fixe à 00H00 UTC+1 postérieure à la date prévisionnelle de pose. *Par exemple, si la première pose doit avoir lieu entre le 12 et le 20 avril, programmer par exemple le démarrage de l'enregistrement le 25 avril à 00H00 UTC+1.*

- Au moment de la relève/relance d'une sonde existante : si une sonde enregistre, dispose d'une pile suffisante et que vous prévoyez une simple décharge/relance de la sonde, ne faites pas de relève/relance de sonde à proximité d'une heure pleine, pouvant conduire à l'enregistrement d'une valeur de température d'air au moment où l'opérateur retire la sonde de l'eau. *Par exemple, si vous arrivez sur le site de la station à 14H55 pour relever la sonde et la relancer, vous devez attendre que l'enregistrement de la donnée à 15H00 ait eu lieu pour procéder à la relève/relance, ce qui vous évitera d'avoir une donnée aberrante au milieu du jeu de données.*
- Au moment du remplacement sur la station de suivi d'une sonde existante par une autre sonde neuve : programmer le début d'enregistrement de la nouvelle sonde avant la période prévisionnelle de pose 00H00 (UTC+1) et noter avec précision l'heure de relève de l'ancienne sonde et l'heure de pose de la nouvelle sonde. *Par exemple, si le remplacement de la sonde doit avoir lieu entre le 12 et le 20 avril, programmer par exemple le démarrage de l'enregistrement le 10 avril à 00H00 UTC+1 et noter impérativement la date et l'heure de relève de l'ancienne sonde et l'heure de pose de la nouvelle sonde.*



Source : PETITJEAN S. – FDAAPPMA 19, 2021 La Vienne au Moulin de Lhuguet en 2019 : on note l'enregistrement de la température de l'air au moment de la relève (passage de 7°C à 15°C à l'heure de relève notée par l'opérateur)

Dans tous les cas, les dates de poses, de relève et des dates de lancement d'enregistrement doivent être scrupuleusement renseignées par l'opérateur. Au-delà du suivi nécessaire du matériel, une fiche de suivi de ces opérations est indispensable pour assurer le contrôle *a posteriori*.

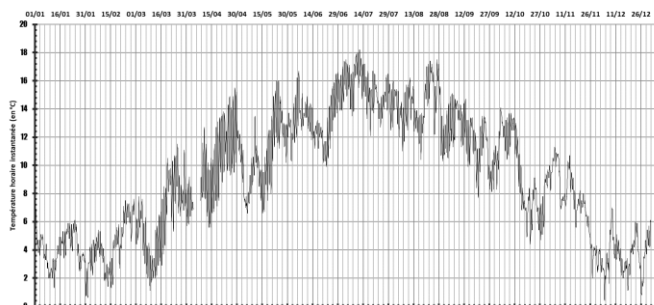
Préconisations du groupe thermie Adour-Garonne



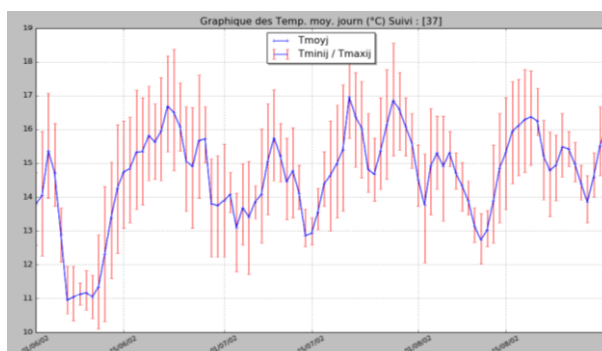
« Pour assurer une qualité de contrôle *a posteriori*, le groupe thermie préconise un suivi indispensable des dates et heures de manipulation (pose, relève, remplacement) des enregistreurs de température. De plus, lors de la première pose de la sonde, il est préconisé de démarrer l'enregistrement à 00H00 UTC+1 après le jour de pose. Pour le remplacement d'une sonde il est préconisé de démarrer l'enregistrement à 00H00 UTC+1 avant le jour de pose. Enfin, les manipulations lors de la relève/relance ne doivent pas avoir lieu autour d'une heure pleine. »

2 - CONTRÔLE VISUEL DE LA QUALITÉ DES DONNÉES ET EXPERTISE DU CONTRÔLEUR

Le premier des contrôles à réaliser est de faire une analyse visuelle de la courbe des températures horaires successives et/ou des températures moyennes journalières pour identifier des plages problématiques d'exondation ou d'enfouissement.



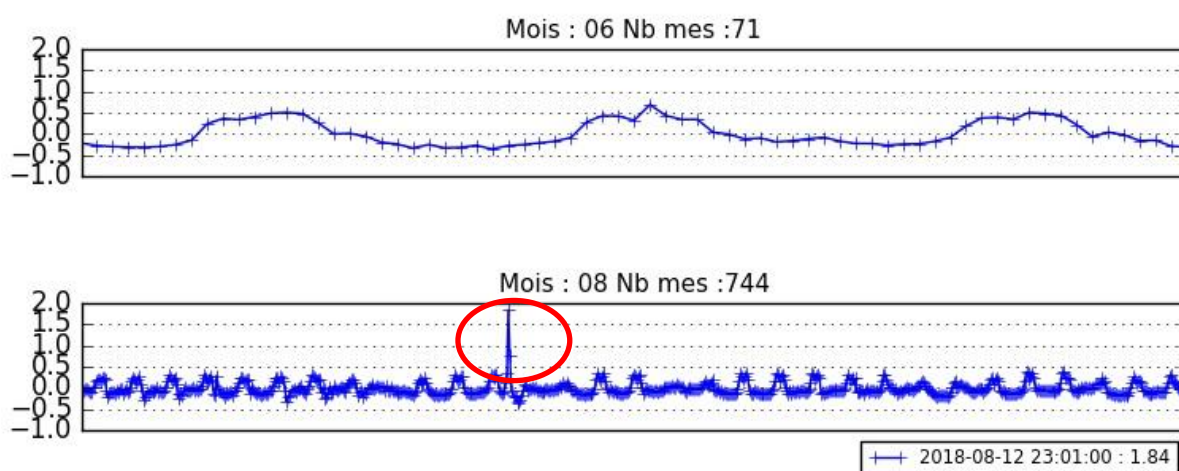
Source : PETITJEAN S. – FDAAPPMA 19, 2011.
Un exemple d'outil de qualification de la validité de la donnée :
Le graphique de température horaire instantanée



Source : GUILMET M. – FDAAPPMA 12, 2017. Un exemple d'outil de qualification de la validité de la donnée :
le graphique des températures moyennes journalières

Si la chronique des données est longue, le graphique des températures horaires instantanées est peu lisible. Il est plus aisé de faire des graphiques sur une période mensuelle par exemple et de représenter non pas les températures horaires instantanées mais les écarts entre deux valeurs successives

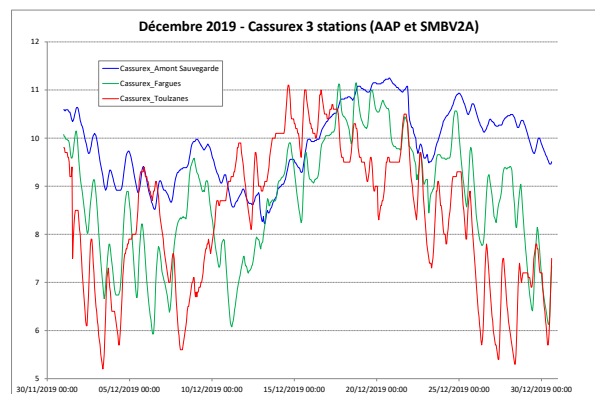
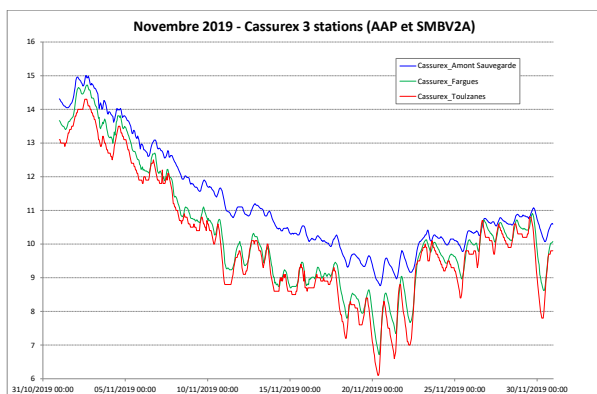
Suivi N° 1455 / Ecart entre deux val. successives (mesures valides)



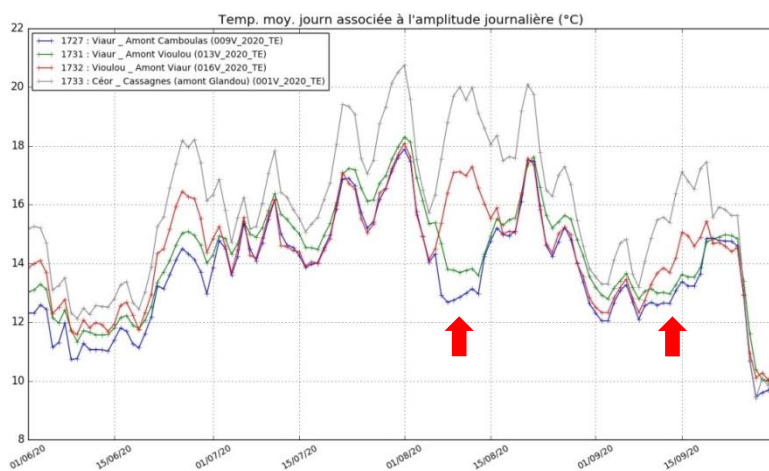
Source : GUILMET M. – FDAAPPMA 12, 2021. Un exemple d'outil de qualification de la validité de la donnée :
le graphique des températures horaires successives exportées grâce à l'outil SIGMAP 12

Le contrôle des températures moyennes journalières est surtout intéressant en comparant plusieurs stations entre elles, sur des cours d'eau de taille similaire, proches géographiquement et avec un régime hydrologique du même type. Cela permet de voir des aberrations dans l'allure générale de la courbe ou de rechercher des facteurs explicatifs afin de discriminer un dysfonctionnement de matériel d'une réelle variation de la température du milieu (voir exemples ci-dessous).

N.B : Cette comparaison est toutefois vite fastidieuse s'il faut la faire « manuellement » (copier-coller de résultats sous Excel, visualisation de graphique papier etc.) mais prend tout son intérêt si l'outil de bancarisation le prévoit, avec choix multiple fixé par l'utilisateur.



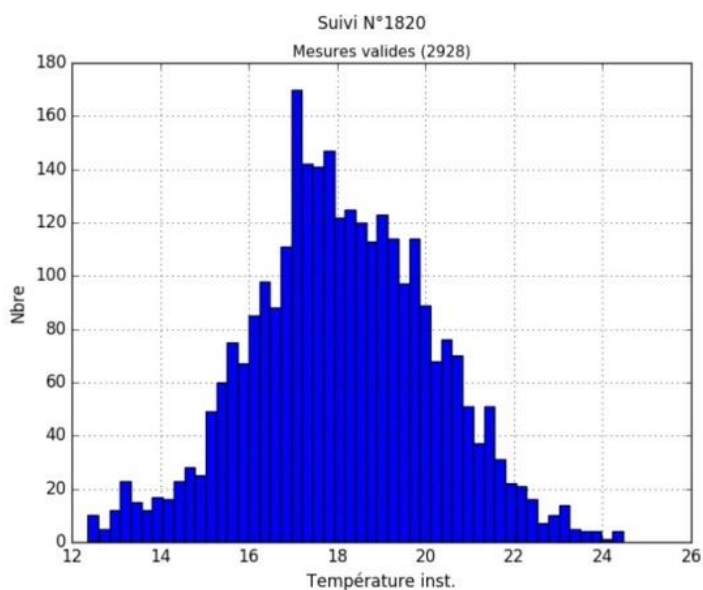
Source : GUILMET M. – FDAAPPMA 12, 2021. Un exemple d'observation de dysfonctionnement d'une sonde par comparaison des températures moyennes journalières entre trois stations : le Cassurex à Toulzanes en Décembre 2019



Source : GUILMET M. – FDAAPPMA 12, 2021. Un exemple d'observation d'effet visible de lâchers d'eau de soutien d'étiage réalisés sur le Vieur du 06/08 au 13/08 et du 09/09 au 18/09 (via les eaux de fond plus froides du barrage hydroélectrique de Pont-de-Salars) en 2020

L'étude de l'histogramme de la distribution des températures mesurées horaires brutes permet un autre contrôle visuel possible qui peut montrer rapidement la présence de valeurs aberrantes extrêmes. L'utilisation des courbes de valeurs mini et maxi journalières est aussi un bon indicateur.

Source : GUILMET M. – FDAAPPMA 12, 2021. Un exemple de contrôle de données brutes via un histogramme de distribution des températures mesurées horaires.



Le groupe souhaite enfin rappeler l'importance de l'expertise territoriale du contrôleur des données pour une analyse efficace et une qualification des données satisfaisante. La bonne connaissance du terrain, de la station de pose, des conditions météorologiques, hydrauliques et des différentes perturbations anthropiques potentielles présentes lors de la campagne d'enregistrement est indispensable pour ce travail de vérification, de contrôle et de qualification.

La personne en charge du contrôle doit s'aider de toutes les données en sa possession : comparaison interstationnelle, comparaison interannuelle, observation des régimes hydrologiques, des événements météorologiques marquants, des perturbations anthropiques situées à proximité etc.

Préconisations du groupe thermie Adour-Garonne

???

...

« Pour assurer une qualité de contrôle a posteriori, le groupe thermie préconise, autant que faire se peut, que la contrôleuse ou le contrôleur de la donnée soit la même personne que celle qui s'est occupée de poser la sonde. Le premier des contrôles à mener est un contrôle visuel sur le graphique des températures horaires instantanées, celui des températures moyennes journalières et sur l'histogramme de distribution des températures horaires. La personne en charge du contrôle doit s'aider de tous les éléments en sa disposition (hydrologie, autre station à proximité etc.). »

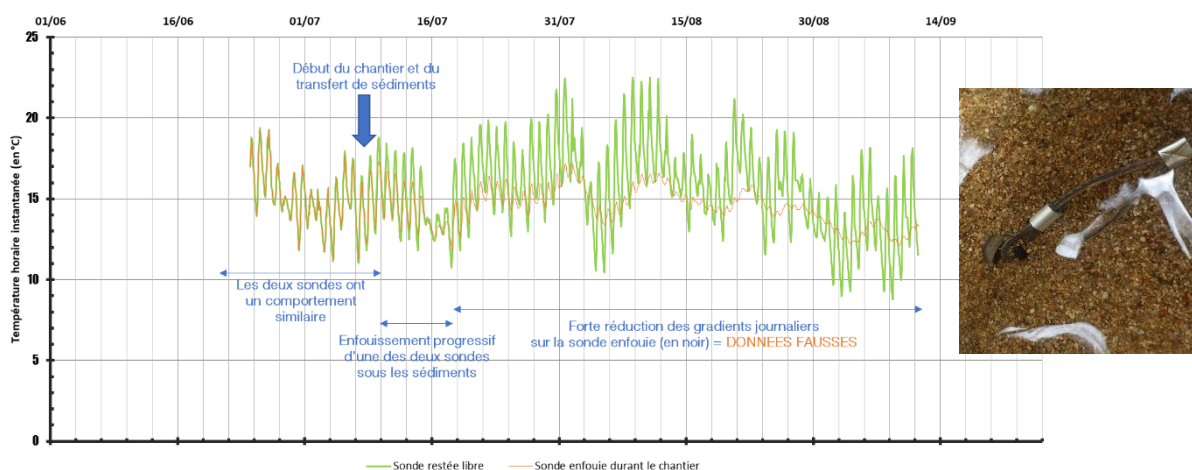


3 - IDENTIFICATION DES PHASES D'ENFOUISSEMENT ET/OU D'EXONDATION DES SONDES

Ces évènements se caractérisent par une brusque augmentation des gradients de température horaire (exondation) ou une brusque diminution (enfouissement) mais conservant généralement la tendance d'évolution du régime thermique. Quelques exemples sont présentés dans les paragraphes suivants.

- **Cas N°1 : ENFOUISSEMENT ESTIVAL.**

Ici, un suivi de l'impact d'un chantier de dérasement d'étang a conduit l'opérateur à poser deux sondes de températures à l'aval des travaux. Ce chantier estival a induit un fort départ de sédiments sur le tronçon qui a conduit à un rééquilibrage du lit mineur avec une rehausse du fond du lit mineur. Une des deux sondes, située sur le fond du lit mineur, s'est donc retrouvée enfouie sous les sédiments après le début du chantier alors que l'autre, située plus dans la colonne d'eau a continué à bien enregistrer la température de l'eau. On observe nettement les conséquences de cet enfouissement : une forte diminution des gradients journaliers (divisés par 5 environ).



Source : PETITJEAN S. – FDAAPPMA 19, 2021

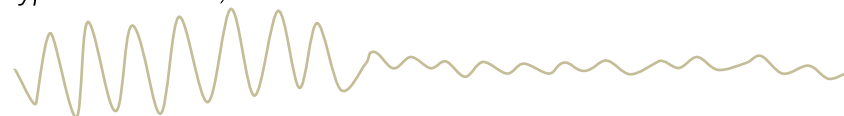
N.B 1 : Attention, les enfouissements hivernaux, consécutifs à une remobilisation du lit mineur en raison d'un évènement hydrologique majeur (crue dépassant la crue décennale) sont plus difficilement détectables, car en ces périodes, les gradients journaliers naturels de la température de l'eau sont plus faibles.

N.B 2 : Attention, les gradients journaliers peuvent être très faibles sur les cours d'eau en système karstique alimentés par des résurgences importantes, sans lien avec un enfouissement du capteur.

Préconisations du groupe thermie Adour-Garonne



« Visuellement, un enfouissement de sonde se traduit par une très forte réduction des gradients journaliers de la température de l'eau ; le contrôleur des données doit donc être attentif à ce type de courbe, notamment en été »

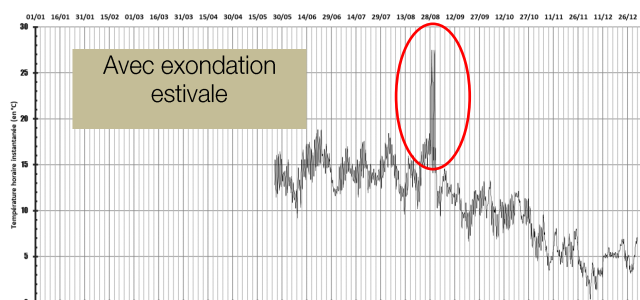


« Les enfouissements hivernaux doivent être contrôlés si un évènement hydrologique significatif a eu lieu (crue supérieure à la décennale). »

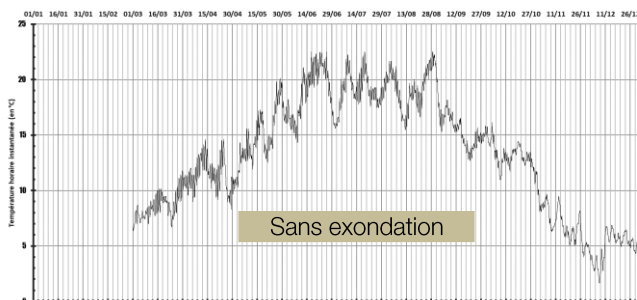
- **Cas N°2 : EXONDATION.**

Visuellement, une exondation se traduit par une brusque augmentation des valeurs instantanées et du gradient journalier sur une période délimitée. Par définition, sauf cas particulier, ces exondations sont limitées dans le temps et assez facilement identifiables visuellement. Dans la très grande majorité des cas (hors étiage hivernal sur les zones montagneuses, voir éclusées en aval de sites de production d'hydroélectricité), ces exondations ont lieu durant l'étiage, c'est-à-dire entre juin et octobre. Une vigilance accrue doit avoir lieu sur ces périodes de récolte de donnée.

N.B : Un couplage avec une station limnimétrique est toujours intéressant pour vérifier ces épisodes. La



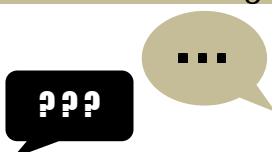
Source : PETITJEAN S. – FDAAPPMA 19, 2021 La Corrèze à Combeserre en 2017 : on note une exondation de 60 heures (cerclée en rouge) sur le graphique puis la remise en eau de la sonde suite à un orage estival



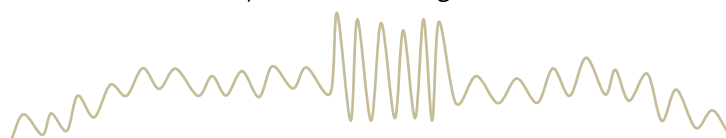
Source : PETITJEAN S. – FDAAPPMA 19, 2021 La Vézère à Uzerche en 2018 : on note visuellement l'absence de période d'exondation

pose d'un piège photographique avec des captures horaires à heures pleines permet un contrôle *a posteriori*.

Préconisations du groupe thermie Adour-Garonne



« Visuellement, une **exondation de sonde** se traduit par une très forte augmentation des températures instantanées et des gradients journaliers de type « secousse sismique » ; le contrôleur des données doit donc être attentif à ce type de courbe, notamment en période d'étiage »



« Le groupe préconise de s'adjoindre des aides au diagnostic comme une station limnimétrique et/ou un piège photographique à capture horaire »

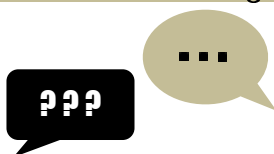
L'expertise du contrôleur, la vérification visuelle et combinée avec les informations de programmation, de pose et de relèvement sont donc essentielles. Elles ne sont toutefois pas infaillibles et doivent être combinées avec des filtres automatisés. En ce sens, BEAUFORT et al. (*op. cit.*), ont travaillé sur la conception et le test de huit filtres de contrôle automatisés à l'échelle française. Le retour d'expérience sur l'analyse de données du bassin conduit à utiliser principalement trois de ces filtres automatisés :

- Filtre de température instantanée
- Confrontation des températures horaires successives ($T^{\circ}_{H+1} - T^{\circ}_H$)
- Confrontation entre températures moyennes journalières sur deux jours successifs

4 - CLASSIFICATION AUTOMATISÉE DES TEMPÉRATURES HORAIRES

BEAUFORT et al. classifient les températures maximales instantanées observées en France pour chaque période mensuelle. Nous préconisons d'ajouter à ces critères un test de valeur instantanée inférieure à $-0,5^{\circ}\text{C}$ qui est impossible à observer sous nos latitudes (bien que les températures négatives ne soient pas impossibles à observer).

Préconisations du groupe thermie Adour-Garonne



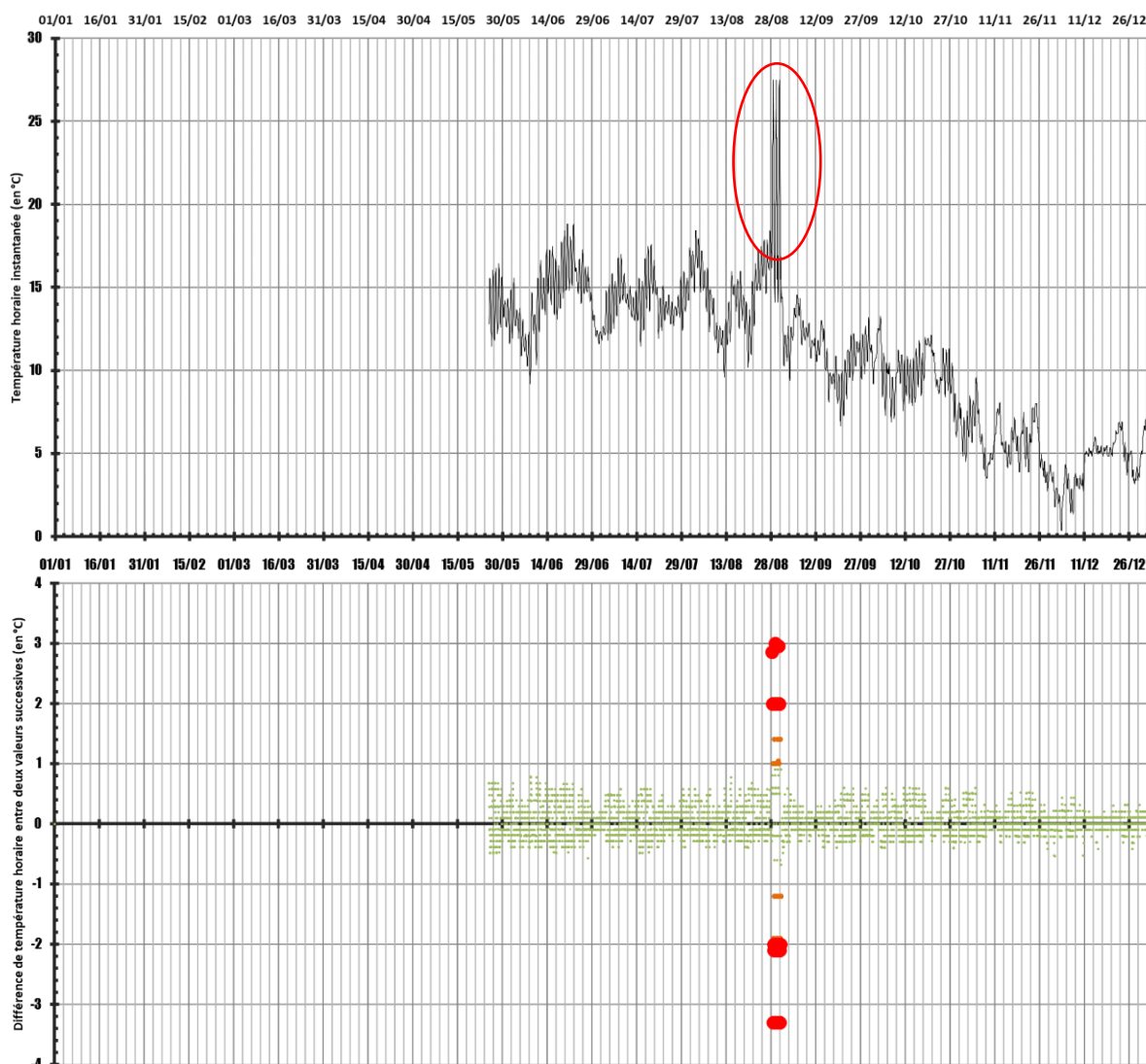
« Il est préconisé de considérer comme systématiquement fausse une donnée de température horaire instantanée inférieure à $-0,5^{\circ}\text{C}$ ou une donnée de température horaire instantanée supérieure à ces valeurs classées mensuellement :

- | | |
|------------------------------------|---------------------------------------|
| - Janvier : $> 14^{\circ}\text{C}$ | - Juillet : $> 32^{\circ}\text{C}$ |
| - Février : $> 15^{\circ}\text{C}$ | - Août : $> 33^{\circ}\text{C}$ |
| - Mars : $> 20^{\circ}\text{C}$ | - Septembre : $> 29^{\circ}\text{C}$ |
| - Avril : $> 24^{\circ}\text{C}$ | - Octobre : $> 28^{\circ}\text{C}$ |
| - Mai : $> 28^{\circ}\text{C}$ | - Novembre : $> 18^{\circ}\text{C}$ |
| - Juin : $> 30^{\circ}\text{C}$ | - Décembre : $> 17^{\circ}\text{C}$ » |

5 - ANALYSE AUTOMATIQUE DES TEMPÉRATURES HORAIRES SUCCESSIVES

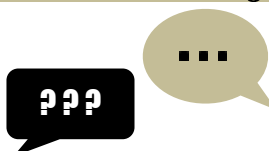
BEAUFORT et al. considèrent que lorsque la différence de température entre deux données horaires successives est supérieure à 2°C , la donnée est considérée comme douteuse ou fausse. Ce filtre de comparaison des températures horaires successives ($T^{\circ}_{H+1} - T^{\circ}_H$) a été adapté au territoire du bassin Adour-Garonne avec la classification suivante

- En dessous d' 1°C (ou -1°C) de différence, les données sont considérées comme assurément valides (couleur verte sur le graphique)
- Entre 1°C et 2°C (ou entre -1°C et -2°C) de différence, le contrôle est nécessaire (couleur orange)
- Entre 2°C et 5°C (ou entre -2°C et -5°C) de différence, la donnée est très fortement douteuse (couleur rouge)
- Au-delà de 5°C (ou en deçà de -5°C) de différence, les données sont considérées comme assurément fausses (couleur noire)



Source : PETITJEAN S. – FDAAPPMA 19, 2021. La Corrèze à Combeserre en 2017. L'utilisation du filtre automatique « Températures horaires consécutives » visuel indique automatiquement la plage de température où les données sont fausses (exondation).

Préconisations du groupe thermie Adour-Garonne



« Il est préconisé d'utiliser un filtre automatique de contrôle de deux températures horaires successives pour qualifier la donnée selon les modalités suivantes :

- Si $-1^{\circ}\text{C} < (T^{\circ}_{H+1} - T^{\circ}_H) < 1^{\circ}\text{C}$: donnée assurément validée
- Si $-2^{\circ}\text{C} < (T^{\circ}_{H+1} - T^{\circ}_H) < -1^{\circ}\text{C}$ ou $1^{\circ}\text{C} < (T^{\circ}_{H+1} - T^{\circ}_H) < 2^{\circ}\text{C}$: donnée à contrôler
- Si $-5^{\circ}\text{C} < (T^{\circ}_{H+1} - T^{\circ}_H) < -2^{\circ}\text{C}$ ou $2^{\circ}\text{C} < (T^{\circ}_{H+1} - T^{\circ}_H) < 5^{\circ}\text{C}$: donnée douteuse
- Si $(T^{\circ}_{H+1} - T^{\circ}_H) < -5^{\circ}\text{C}$ et $5^{\circ}\text{C} < (T^{\circ}_{H+1} - T^{\circ}_H)$: donnée assurément fausse »

6 - MÉTROLOGIE DES APPAREILS D'ENREGISTREMENT

Comme au moment de la préparation du lancement de la campagne, il est préconisé de s'assurer de la dérive éventuelle des enregistreurs en réalisant une campagne de vérification post-relève, reprenant les protocoles présentés en annexe. Le champ « contrôle métrologique », lié aux informations indispensables sur la campagne d'enregistrement, doit alors être renseigné. La date, la conformité (OUI/NON) et la dérive éventuelle doivent être renseignées.



F - Préconisations pour un export de données cohérentes à l'échelle du bassin versant Adour-Garonne

1 - QUALIFICATION DE LA DONNÉE CONTRÔLÉE

Les préconisations de ce guide visent à réduire, voire supprimer complètement, la présence de données fausses dans la base de données thermique du bassin Adour-Garonne. Une fois l'ensemble des filtres et contrôles appliqués, si des erreurs sont détectées, elles doivent faire l'objet d'une qualification dans la base de données basée sur la nomenclature Sandre : 0=indéfinissable, 1=correcte, 2=incorrecte, 3=incertaine, 4=non qualifiée (brute). Une donnée vide ou manquante est considérée comme *indéfinissable* (code 0). Ainsi, aucune donnée non contrôlée et non qualifiée ne doit faire l'objet d'un export vers l'agence de l'eau Adour-Garonne via FTP.

Préconisations du groupe thermie Adour-Garonne



« Pour assurer une homogénéité dans les données exportées, il est impératif que les données considérées comme mauvaises lors de l'application des différents process de contrôle préconisés, soient qualifiées comme fausse avant l'export vers la base de données bassin. Aucune donnée non contrôlée ne doit être exportée via FTP »

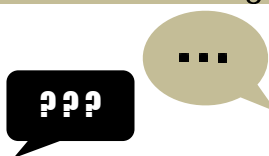
2 - PRÉCISION ET RÉOLUTION DE LA DONNÉE ENREGISTRÉE

La précision et la résolution des matériels est différente selon les modèles. Si la précision relève de la métrologie et de la calibration des outils de mesure (nous n'y reviendrons pas ici), elle doit apparaître sur chaque fichier d'export pour connaître l'écart type c'est à dire l'intervalle de confiance de la mesure exportée.

La résolution est indépendante de la précision et relève quant à elle des logiciels d'export de chaque matériel. Cette résolution s'étend de 1.10^{-1} à 1.10^{-3} au maximum selon les matériels. Pour homogénéiser la donnée et faciliter le traitement postérieur, il est préconisé d'adopter une résolution de 1.10^{-1} , commune à tous les matériels. Il est ainsi préconisé aux producteurs de données thermiques en continu d'appliquer un filtre automatique « *arrondi* » aux données où la résolution est supérieure à 1.10^{-1} .

Ce choix paraît d'autant plus pertinent qu'au moment de la rédaction de ce guide, aucun matériel présent sur le marché ne dispose d'une précision au-delà de 1.10^{-1} .

Préconisations du groupe thermie Adour-Garonne



« Pour assurer une homogénéité dans les données exportées, il est impératif qu'apparaisse dans le fichier d'export la précision de l'enregistreur de température et que les données exportées aient une résolution de 1.10^{-1} (à défaut, une valeur arrondie à 1.10^{-1}) »

3 - UTILISATION DU FICHIER D'EXPORT UNIFIÉ DU BASSIN ADOUR-GARONNE

L'objectif du réseau de suivi pérenne de température à l'échelle du bassin Adour-Garonne est de pouvoir réaliser des synthèses et des comparaisons interannuelles et interstationnelles. A cette fin, le producteur de données devra exporter ses données à l'Agence de l'Eau Adour-Garonne via FTP, selon les modalités définies par le groupe thermie. Une trame d'échange unifiée a été conçue par le groupe thermie du bassin Adour-Garonne en s'appuyant sur les travaux locaux des fédérations pour la pêche et la protection du milieu aquatique d'Aveyron et de Corrèze.

Elle est disponible à l'adresse suivante : <https://ftp.eau-adour-garonne.fr:8080/sharing/FiuGkV5q9>

Chaque fichier d'export doit être individualisé sous format .CSV ou à défaut sous format .XLS selon le modèle suivant : CODE_STATION_Datedepose_Numerosonde. (sans accent, ni espace, ni caractères spéciaux)

L'export de donnée devra comporter :

- Un fichier de suivi de la station, de la campagne et du capteur
- Le fichier reprenant la trame d'échange créée par le groupe thermie (cf. Annexe 3).



Bibliographie

Auteur inconnu – Système d'Administration Nationale des Données et Référentiels sur l'Eau (SANDRE), 2015. *Processus d'acquisition des données de température en continu – Présentation des données*, Thème : Eaux superficielles continentales, 16 p.

Auteur inconnu – Système d'Administration Nationale des Données et Référentiels sur l'Eau (SANDRE), 2015. *Processus d'acquisition des données de température en continu – Dictionnaire des données*, Thème : Eaux superficielles continentales, 68 p.

Auteur inconnu - U.S. Environmental Protection Agency (EPA), 2014. *Best Practices for Continuous Monitoring of Temperature and Flow in Wadeable Streams*. Global Change Research Program, National Center for Environmental Assessment, Washington, DC ; EPA/600/R-13/170F. Available from the National Technical Information Service, Springfield, VA, and online at <http://www.epa.gov/ncea>.

BEAUFORT A. – MOATAR F. – SAUQUET E., 2020. *Thermie en rivière : Analyse géostatistique et description de régime : Application à l'échelle de la France*, INRAE UR RiverLy, Université de Tours GéHCO, 63 pages + 53 pages d'annexes

BEAUFORT A., 2015. *Modélisation physique de la température des cours d'eau à l'échelle régionale : Application au bassin versant de la Loire*, TOURS : Université François Rabelais Ecole doctorale EMSTU E.A. 6293 GeoHydrosystemes Continentaux. Thèse

CAISSIE D., 2006. *The thermal regime of rivers : a review*, Freshwater Biology – 51, pp. 1389-1406

CHANDESRIIS A. – SOUCHON Y. – VAN LOOY K., 2017. *Température des cours d'eau. Littérature scientifique commentée*. 10.13140/RG.2.2.20106.21446., 85 p.

CHANDESRIIS A. – SOUCHON Y. – VAN LOOY K., 2017. *Température des cours d'eau. Revue bibliographique Cas d'étude en Bresse : Adaptation aux Changements Environnementaux Guide des bonnes pratiques pour les suivis de température*. 10.13140/RG.2.2.33292.05769., 81 p.

DUMOUTIER Q. - VIGIER L. - CAUDRON A., 2010. *Macro Excel d'Aide au Calcul de variables thermiques appliquées aux Milieux Aquatiques Salmonicoles*, MACMASalmo 1.0. Rapport SHL293.2010/ FDP74.10/03 disponible sur http://www.pechehautesavoie.com/telechargement1_bis.php?categ=5

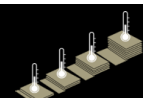
FAGOT J.-B., 2018. *Suivi de température. Réseau départemental du Jura. Guide d'utilisation*, Fédération du Jura pour la Pêche et la Protection des Milieux Aquatiques, 28 p.

FAGOT J.-B., 2019. *Réseau de suivi thermique des milieux aquatiques du Jura. 2016-2019*, Fédération du Jura pour la Pêche et la Protection des Milieux Aquatiques, 35 p.

GUILMET M., 2012. *Groupe de travail thermie. Synthèse*, Fédération de l'Aveyron pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique, Union des Fédérations du Bassin Adour-Garonne, 32 pages

HARRIS S., 2014. *Study Plan Stream Temperature Monitoring On Baranof and Chicagof Islands Southeast Alaska*. Southeast Alaska Long-term Monitoring Network (SALMoN) Sitka Conservation Society, 8 p.

HECK M.P. - SCHULTZ L.D. - HOCKMAN-WERT D. - DINGER E.C. - DUNHAM J.B., 2018. *Monitoring stream Temperatures - A guide for non-specialists : U.S. Geological Survey Techniques and Methods*, book 3, chap. A25, 76 p., <https://doi.org/10.3133/tm3A25>.



ISAAK D. J. - HORAN D. L. - WOLLRAB S. P., 2013. *A simple protocol using underwater epoxy to install annual temperature monitoring sites in rivers and streams*. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-314. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, 21 p.

MAUGER S. - SHAFTEL R. - TRAMMEL E.-J. - GEIST M. - BOGAN D., 2015. *Stream temperature data collection standards for Alaska : Minimum standards to generate data useful for regional-scale analyses*, Journal of Hydrology, Regional Studies, Volume 4, Part B, Pages 431-438.

OUELLET V. – SAINT-HILAIRE A. – DUGDALE S. – HANNAH D. – KRAUSE S. – OUELLET-PROULX S., 2020. *River temperature research and practice: Recent challenges and emerging opportunities for managing thermal habitat conditions in stream ecosystems*, Science of The Total Environment. 736. 139679. 10.1016/j.scitotenv.2020.139679.

TONOLLA D. – JUNGHARDT J. – ANTONETTI M. – DÖRING M., 2019. *Characterization of spatio-temporal thermal heterogeneity and riparian shading in the Glatt River using high-resolution thermal infrared and multispectral remote sensing*, 49 p. + annexes



1 – Protocole FDAAPPMA 12

Voici un protocole standardisé de contrôle des enregistreurs de température mis en place en routine par la FDAAPPMA 12 et réalisé avant et après pose en lien avec des suivis réalisés uniquement sur la période estivale.

Dans un local avec de faibles variations de température (garage semi-enterré dans un bâti en pierre), un jeu de capteurs à tester est installé dans un bac contenant environ 1 m³ d'eau. Une programmation horaire à heure pleine est utilisée. Le début des mesures de contrôle a lieu plusieurs jours après la pose des capteurs dans le bac. Trois appareils sont utilisés pour la lecture des données horaires ponctuelles pour le contrôle des capteurs :

- Un thermomètre ASPIN à mercure de haute précision (-5 ; +25°C ; pas de mesure : 0.1°C)
- Un thermomètre avec une sonde PT100 avec certificat de calibration (précision +/- 0.1°C)
- Une sonde de température (technologie thermistance) issue d'un appareil multi-paramètres (oxygène, conductivité, pH, température ; utilisation de la sonde donnant le résultat le plus proche de la valeur observée avec le thermomètre à mercure)

Le suivi des mesures horaires ponctuelles (à heure pleine) sur les trois appareils de contrôle a lieu sur une quinzaine de jours (10 mesures notées). A la fin des quinze jours, les capteurs à tester sont retirés du bac d'eau, relevés, téléchargés et les mesures enregistrées par les capteurs à tester sont comparées avec celles notées pour chaque appareil témoin et l'écart par rapport à la moyenne des trois appareils de contrôle utilisés est calculé.

Le résultat de cette comparaison conduit :

- Soit à la remise en service du capteur,
- Soit à la prise en compte d'une correction,
- Soit au rebus de l'appareil.

2 – Protocole « *DUNHAM* »

Voici un autre protocole standardisé de contrôle des enregistreurs de température (DUNHAM, *op. cit.*).

JOUR N°1 :

- 1- Remplissez une glacière aux 3/4 avec de l'eau à température ambiante et placez-la dans une pièce à température ambiante stable à température contrôlée). Ceci sera le bain chaud.
- 2- Lancez les enregistreurs à tester ainsi que le thermomètre étalon
 - a. Choisir un pas de temps d'enregistrement de 10 s
 - b. Définissez un départ différé sur une heure du jour suivant pour lancer la vérification de l'étalonnage. Assurez-vous qu'il y a suffisamment de temps pour installer le bain froid (voir l'étape 4).
 - c. Créez un tableau de travail de vérification de l'étalonnage pour enregistrer les mesures de base du processus d'étalonnage
 - d. Enregistrez le numéro de série et la tension de la batterie au moment du lancement sur la feuille de travail de vérification de l'étalonnage
- 3- Regroupez cinq enregistreurs avec un lest (type plomb de pêche)
- 4- Plongez les enregistreurs de données lancés et fournis dans le bain chaud et laissez tremper toute la nuit avec le couvercle de la glacière ouvert

Serial#	CalibVoltage	CalibDate	CalibMeanWarmDiff	CalibMeanCoolDiff
10768077	3.57	7/26/2016	0.068	0.011
10768078	3.54	7/26/2016	0.057	0.084
10768079	3.57	7/26/2016	0.019	0.000
10768080	3.57	7/26/2016	0.043	0.055

Figure 2.1. Example of a Calibration Check Worksheet.



JOUR N°2 :

- 1- Environ 3 heures avant que les enregistreurs de données ne soient programmés pour commencer l'enregistrement, remplissez deux glacières aux 3/4 environ de glace pilée et ajoutez de l'eau froide jusqu'à ce que la glace soit complètement immergée dans l'eau. Fermez les couvercles et placez les glacières dans la même pièce à température contrôlée (température de l'air stable). Celles-ci formeront le bain de refroidissement et le froid.
- 2- Après l'heure de démarrage différée définie à l'étape 1 du JOUR N°1, commencez à mélanger l'eau dans le bain chaud en soulevant doucement une extrémité de la glacière du sol. Répétez ce mélange / levage environ toutes les 20 secondes pendant 30 minutes. Le contrôle d'étalonnage à chaud est terminé.
- 3- Retirez les enregistreurs de données du bain chaud, plongez-les dans le bain de refroidissement et fermez le couvercle. Le bain de refroidissement est utilisé pour abaisser la température des enregistreurs de données de la température ambiante à environ 0 ° C. Laissez les enregistreurs de données dans le bain de refroidissement pendant 30 minutes.
- 4- Retirez les enregistreurs de données fournis du bain de refroidissement et plongez-les dans le bain froid.
- 5- Mélangez l'eau dans le bain froid en soulevant doucement une extrémité de la glacière du sol. Répétez ce mélange / levage environ toutes les 20 secondes pendant 30 minutes. Le contrôle d'étalonnage à froid est terminé.

- 6- Décharger les données des enregistreurs de température. Créer un graphique avec les données des enregistreurs à tester. Assurez-vous que les données du thermomètre de référence soient incluses dans ce graphique.
- 7- Identifier une période pendant le bain chaud supérieure ou égale à 15 minutes (90 enregistrements consécutifs) lorsque les enregistreurs de données enregistrent des températures très constantes. Le but du contrôle d'étalonnage est de rechercher des enregistreurs de données qui sont différents les uns des autres et de l'enregistreur étalon. Cette comparaison doit être faite lorsque tous les enregistreurs de données enregistrent les températures de manière très homogène.
- 8- Identifiez une période pendant le bain froid supérieure ou égale à 15 minutes (90 enregistrements consécutifs) pendant laquelle les enregistreurs de données enregistrent des températures très cohérentes.
- 9- Calculez la température moyenne de chaque enregistreur de données pendant cette période de 90 enregistrements consécutifs pendant l'étalonnage à chaud.
- 10- Calculez la différence entre la température moyenne de l'enregistreur étalon et la température moyenne de chaque enregistreur de données individuel. Reportez cette valeur sur le tableau de suivi.
- 11- Calculez la température moyenne de chaque enregistreur de données pendant cette période de 90 enregistrements consécutifs pendant l'étalonnage à froid.
- 12- Calculez la différence entre la température moyenne de l'enregistreur étalon et la température moyenne de chaque enregistreur de données individuel. Reportez cette valeur sur le tableau de la fiche de suivi.
- 13- Diagnostiquez les enregistreurs de données avec des mesures inexactes en identifiant les enregistreurs de données avec un CalibMeanWarmDiff ou un CalibMeanCoolDiff qui est en dehors de la tolérance spécifiée par le fabricant.

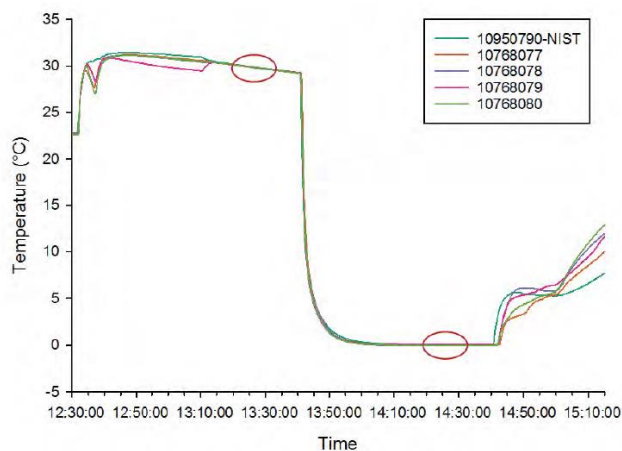


Figure 2.14. Graph showing temperature over time for five Onset U22 data loggers. During this calibration check, data loggers were placed in a warm bath before moving to a cool-down and then a cold bath. Periods of 15 minutes (90 consecutive records) with highly consistent temperatures are highlighted by red ovals.

La vérification de la dérive se fait en comparant la campagne d'étalonnage avant pose avec la campagne d'étalonnage après-pose. La dérive des mesures de température se produit lorsque les vérifications d'étalonnage avant et après le terrain ne sont pas égales.

Le résultat de cette comparaison conduit :

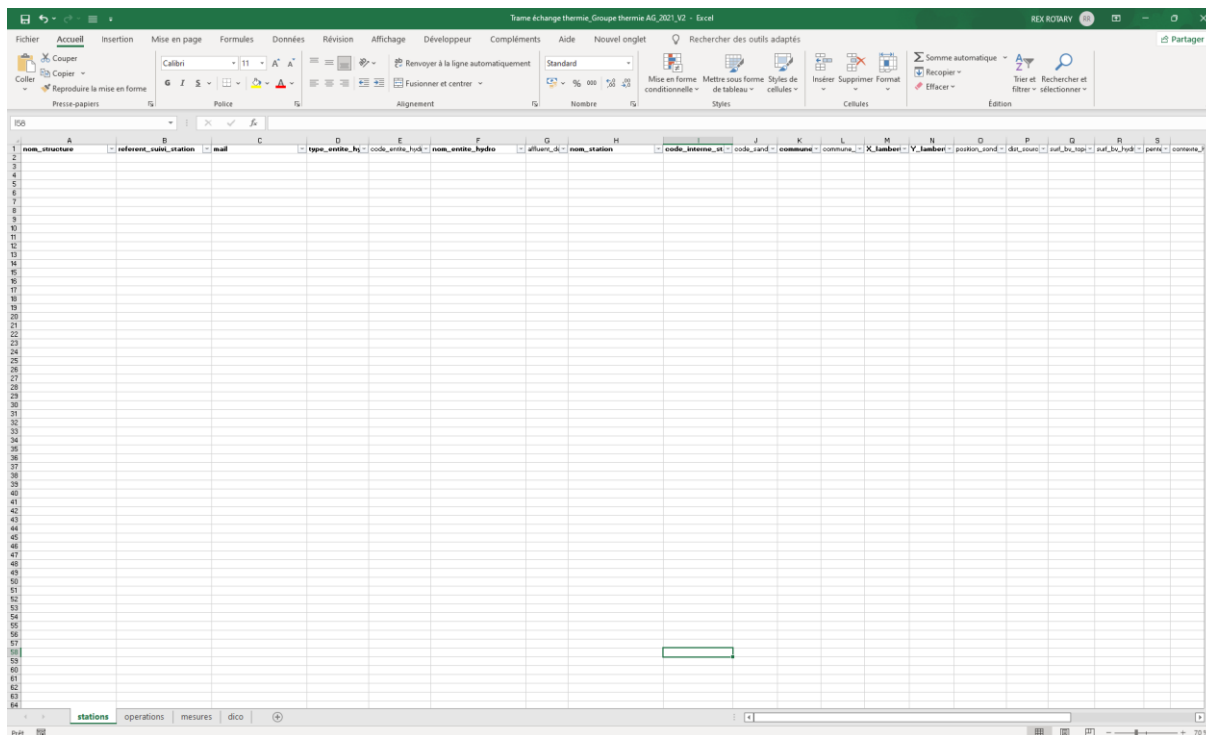
- Soit à la remise en service du capteur,
- Soit à l'ajustage du capteur (si possible),
- Soit à la prise en compte d'une correction,
- Soit au rebus de l'appareil.

2 – Trame d'échange unifiée du bassin Adour Garonne

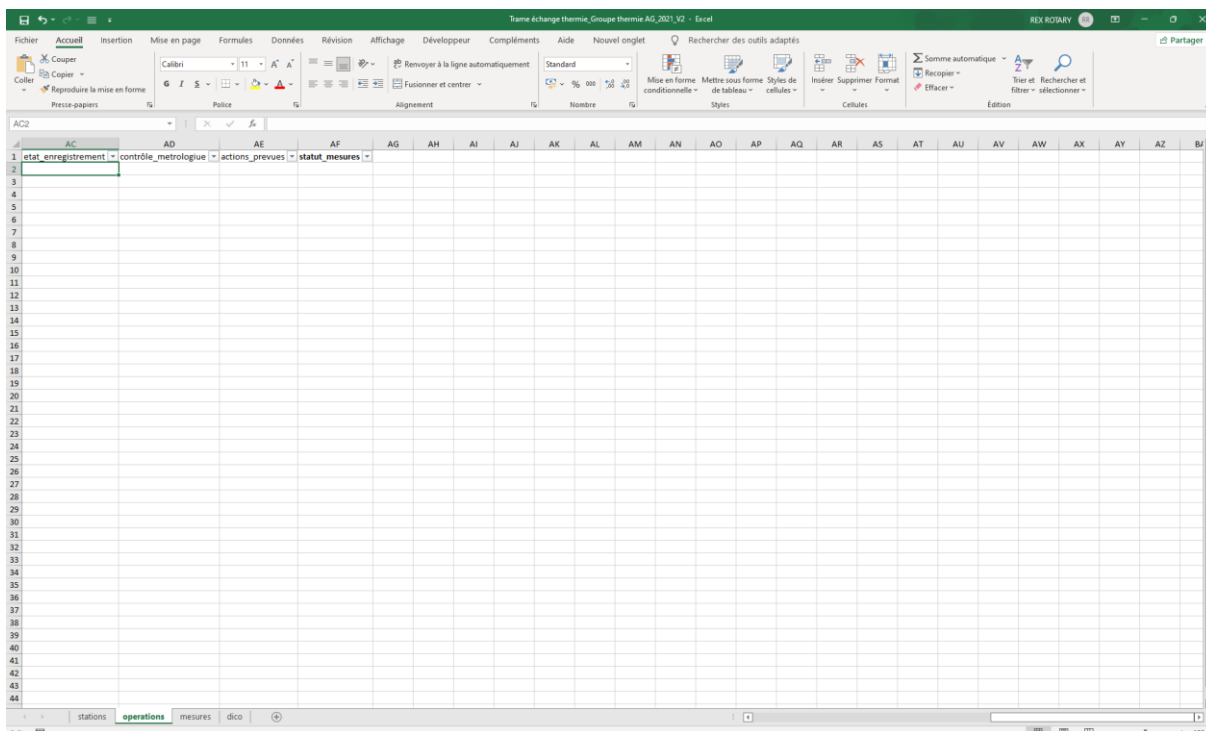
Disponible en téléchargement à l'adresse suivante :

<https://ftp.eau-adour-garonne.fr:8080/sharing/FiuGkV5q9>

Onglet « Stations » :



Onglet « Opérations » :



Onglet « Mesures » :

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y
1	code_interne_station	numerie_sonde	date_mesure	heure_mesure	mesure	qualification																			
2																									
3																									
4																									
5																									
6																									
7																									
8																									
9																									
10																									
11																									
12																									
13																									
14																									
15																									
16																									
17																									
18																									
19																									
20																									
21																									
22																									
23																									
24																									
25																									
26																									
27																									
28																									
29																									
30																									
31																									
32																									
33																									
34																									
35																									
36																									
37																									
38																									
39																									
40																									
41																									
42																									
43																									
44																									

Onglet « Dico » :

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	onglet	champ	définition	exemple					
2	stations								
3		nom_structure	Nom de la structure productrice de la donnée (abréviation identifiée auprès de l'AEAG)	FDPMA12					
4		referent_suit_station							
5		mail							
6		type_entite_hydro	Type d'entité hydrologique: rivière - canal - lac - autre						
7		code_entite_hydro	Code Carthage						
8		nom_entite_hydro							
9		affluent_de							
10		nom_station							
11		code_interne_station	Code interne de la station de mesure	par exemple du type "bassin_riviere_site_numero"					
12		code_sandre							
13		commune_1							
14		commune_2							
15		X_lambert93							
16		Y_lambert93							
17		position_sonde							
18		dist_source							
19		surf_bv_topo							
20		surf_bv_hydro							
21		pente							
22		contexte_hydrogeol_station							
23		contexte_hydrogeol_bv							
24		conductivite							
25		largeur_moy_etiage							
26		largeur_moy_pb							
27		continuite_ripisylve							
28		regime_hydro							
29		qmnas_mesure							
30		qmnas_modele							
31		module							
32		persistance_hydro							
33		observ_station							
34		observ_amont							
35									
36	operations								
37		code_interne_station	Code interne de la station de mesure						
38		type_materiel							
39		numerie_sonde	Numéro de série de la sonde						
40		numero_interne							
41		referent_pose							
42		date_pose							
43		heure_pose							
44		prof_pose							



Plus de renseignements :

Fédération de la Corrèze pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique

33 bis, place Abbé Tournet 19000 TULLE- 05.55.26.11.55
contact@peche19.fr www.peche19.fr