ONEMA
Office national de l'eau
et des milieux aquatiques

Cemagref
Sciences, eaux & territoires

Partenariat 2011 – Action 4 : hydrologie des étiages, Sous-action 4.2

Hydrologie des étiages :

typologie des cours d'eau temporaires et cartographie nationale

Rapport Final

T.Datry, T. Snelder*, E. Sauquet, H. Pella, C. Catalogne & N. Lamouroux

Cemagref Lyon
* NIWA, Nouvelle Zélande

Février 2012

Contexte de programmation et de réalisation

Ce projet est une sous-action (4.2) de l'action 4 concernant l'hydrologie des étiages. Dans un contexte de réchauffement climatique et d'accroissement des besoins en eau, il s'agit de faire un premier pas vers une quantification systématique des assèchements en France métropolitaine, à partir des données disponibles dans la Banque Hydro. De plus, des capteurs de présence-absence d'eau ont été testés de manière à mettre éventuellement en place des réseaux à large échelle de suivis des assèchements complémentaire à ce qui est en train d'être testé à l'ONEMA (cf. ONDE).

Les auteurs

Datry Thibault
Chargé de recherche
Thibault.datry@cemagref.fr
Lyon

Snelder Ton
Chargé de recherche
ton.snelder@niwa.co.nz
Christchurch, Nouvelle Zélande

Sauquet Eric
Chargé de recherche
eric.sauquet@cemagref.fr
Lyon

Pella Hervé
Ingénieur d'étude
Herve.pella@cemagref.fr
Lyon

Catalogne Clotaire
Doctorant
Clotaire.cataogne@cemagref.fr
Lyon

Lamouroux Nicolas
Directeur de recherche
Nicolas.lamouroux@cemagref.fr

Les correspondants

Onema : *Pascal Maugis*

Cemagref : *Thibault Datry*

Droits d'usage :	*Accès libre*
Couverture géographique :	*France*
Niveau géographique [un seul choix] **:**	*National*
Niveau de lecture [plusieurs choix possibles] **:**	*Professionnels, experts*
Nature de la ressource :	*Document*

Hydrologie des étiages : typologie des cours d'eau temporaires et cartographie nationale

Rapport final

T.Datry, T. Snelder, E. Sauquet, H. Pella, C. Catalogne & N. Lamouroux

Tables des matières

1) Contexte et réflexions préalables----------P4

2) Sélection des données hydrologiques----------P5
3) Calculs des indices de temporalité----------P6
4) Cartographie nationales des CETs----------P6
5) Modélisation des assèchements----------P8

5.1) ***Réseau et prédicteurs utilisés*****----------*****p8***
5.2) Procédures**----------*****p10***
5.3) Résultats et conclusions**----------*****p11***

6) Test des capteurs de présence-absence d'eau----------P17

6.1) Description du matériel**----------*****p17***
6.2) Sites de test**----------*****p18***
6.3) Résultats**----------*****p20***
6.4) Conclusions**----------*****p24***

7) Références----------P26
8) Synthèse opérationnelle ----------P30
9) Annexes----------P34

1) Contexte et réflexions préalables

Les cours d'eau temporaires (CETs) sont très répandus en France et à travers le monde. Ils sont particulièrement sensibles au changement climatique et à la demande croissante en eau (Larned et al., 2010 ; Datry et al., 2011a). Jusqu'à présent, ces cours d'eau ont bien souvent été ignorés aussi bien par les gestionnaires que par les scientifiques (Stanley et al., 1994 ; Larned et al., 2010), mais une récente évaluation des CETs aux USA montre à quel point ceux-ci peuvent être nombreux. En effet, pas moins de 3 200 000 km de rivières intermittentes ont été recensés aux USA, représentant au moins 59% du linéaire total des cours d'eau (Nadeau & Rains, 2007). En France, une interrogation de la Banque Hydro suggère que de nombreux cours d'eau subissent des assecs.

Le nombre et la longueur des CETs sont amenés à s'accroître en réponse au réchauffement climatique et à la demande croissante de nos besoins en eaux. Les analyses disponibles de chroniques de débits ont révélé des tendances de déclin dans plusieurs région du monde (Zhang et al., 2005 ; Cigizoglu et al., 2005 ; Giuntoli & Renard, 2010). De plus, les scénarios des modèles climatiques prédisent une décroissance globale des débits moyens, notamment dans la moitié Sud de la France, ainsi qu'une forte augmentation des sécheresses (Arnell, 1999 ; Jones et al., 2001 ; Sauquet & Haond, 2003 ; Boé et al., 2010). D'autres études suggèrent que la sévérité de l'intermittence dans les cours d'eau va s'accroître dans les régions subissant une tendance vers l'assèchement, et que des cours d'eau pérennes vont petit à petit devenir temporaires (Bernard et al., 2005 ; Stromberg et al., 2005 ; Rupp et al., 2008).

Pourtant, malgré ce contexte, les CETs restent négligés dans les politiques et les législations liées à la gestion de l'eau. Ainsi, ni la Clean Water Act aux USA, ni la Loi sur l'Eau de 2006 ou la Directive Cadre Européenne ne reconnaît spécifiquement l'existence de CETs (Larned et al., 2010 ; Datry et al., 2011a). En France, les assèchements sont principalement considérés comme des indicateurs de tension sur la ressource (RDOE : Réseau Départemental d'Observation des Etiages), voire comme des déclencheurs de crise (ROCA : Réseau d'Observation des Crises d'Assecs ; les deux réseaux étant maintenant unifiés au sein de ONDE, l'Observatoire National des Etiages). De plus, aucun outil d'évaluation de l'état écologique des CETs n'est actuellement disponible. Cette négligence est sans aucun doute le reflet de notre manque de connaissances concernant les CETs, que ce soit dans leur importance quantitative, leur fonctionnement écologique ou leur biodiversité.

Durant de nombreuses années, la biodiversité des cours d'eau temporaires a été étudiée en comparaison de celle de cours d'eau pérennes adjacents (e.g., Williams & Hynes, 1977; Boulton & Laker, 1988; Dieterich & Anderson, 2000). Ces comparaisons ordinales ont permis de mettre en évidence une forte variabilité des réponses biologique à l'intermittence. Ainsi, la diversité en invertébrés benthiques des CETs peut être plus forte (e.g., Dieterich & Anderson, 2000), égale (e.g., Legier & Talin, 1973; Santos & Stevenson, 2011) ou plus faible (e.g., Meyer & Meyer, 2000; Bonada et al., 2007) que celle des cours d'eau pérennes adjacents. Cette forte variabilité s'explique notamment par le fait que l'intermittence se mesure comme toute autre variable hydrologique, et se décline en métriques telles que la fréquence ou la durée des assèchements. Or, les communautés biologiques répondent de manière graduelle à ces variations d'intermittence. Le nombre de travaux reportant des relations quantitatives linéaires comme non-linéaires entre des communautés biologiques et la fréquence et durée des assèchements est en effet en constante augmentation (Datry et al., 2011a). Ces deux variables décrivant l'intermittence influencent toutes les communautés biologiques, que ce soient les invertébrés benthiques et hyporhéiques (Meyer and Meyer, 2000; Datry et al., 2007 ; Arscott et al., 2010 ; Datry 2012), les commauntés piscicoles (Davey & Kelly,

2007), la végétation (Stromberg et al., 2005 ; 2009) ou les communautés d'arthropodes des zones rivulaire (McCluney & Sabo, 2011). La durée des assèchements influence les traits de résistance des espèces (capacité à survivre aux assèchements par le biais d'adaptations physiologiques ou comportementales, Williams 2006), alors que la fréquence des assèchements influence leurs traits de résilience (capacités à re-coloniser le cours d'eau après la remise en eau, Williams 2006). Des assèchements longs et peu fréquents n'auront donc pas les même effets sur les communautés que des assèchements courts mais répétés. En conclusion, l'état actuel des connaissances montre qu'il est nécessaire de mesurer les assèchements dans le temps et l'espace. En effet, les relations quantitatives intermittence~écologie suggèrent fortement que les évaluations du fonctionnement écologique, de la biodiversité et de l'état écologique des CETs soient effectués au regard des caractéristiques des assèchements. Cela implique donc de déterminer les durées et les fréquences d'assèchement des sites de prélèvements, de suivis ou d'études.

L'objectif du présent projet était de contribuer à améliorer nos connaissances quant à l'importance des CETs en France métropolitaine. Pour cela, trois étapes ont été réalisées. Tout d'abord, nous avons cartographié les CETs à partir de données hydrologiques de la Banque Hydro qui ont été choisies après expertise (de la qualité, de la disponibilité et de la représentativité hydrologique des mesures). Ensuite, un travail de modélisation a été réalisé de manière à tester s'il était possible d'extrapoler les risques d'assèchements en fonction des données géographiques, géologiques et climatiques des bassins versants. Pour cela, nous avons utilisé les couches SIG du Réseau Hydrographique Théorique (RHT, Pella et al., sous presse), et modélisé la distribution des fréquences et durées d'assèchement sur l'ensemble du RHT. Enfin, nous avons testé sur le terrain l'utilisation de capteurs de présence d'eau, dans la perspective d'améliorer les réseaux de suivi des assèchements à large échelle.

2) Sélection des données hydrologiques

Les données hydrologiques utilisées dans ce projet proviennent toutes de la Banque Hydro (http://www.hydro.eaufrance.fr/). Sur les ~3500 stations disponibles, une sélection a été effectuée de manière à travailler sur des données solides (Sauquet & Catalogne, 2011). Les critères suivants de sélection ont été imposées aux données: (i) pas d'influence significative de l'homme sur les débits (barrages, réservoirs, prélèvements), (ii) très bonne qualité métrologique de mesures (i.e. vérification des « vrais 0 ») et (iii) au moins 35 ans de données disponibles entre 1975 et 2009. Pour guider cette sélection, des interprétations qualitatives des données disponibles (e.g., recherche d'influence des réservoirs et prélèvements en amont des stations hydrométriques), ainsi que des analyses des séries de données pour détecter d'éventuels profils temporels anormaux ou suspicieux ont été effectuées. Au final, 628 stations hydrométriques ont été retenues et les séries temporelles de débits journaliers de ces stations ont constitué la base des analyses de ce projet.

3) Calculs des indices de temporalité

Pour chaque station hydrométrique retenue, deux variables annuelles liées aux assèchements ont été calculées. Il s'agit de la durée totale annuelle d'assèchement (nombre total de 0 sur l'année, DUR, en nombre de jour) et la fréquence annuelle d'assèchement (nombre dans l'année de périodes avec des 0 consécutifs, FREQ, en nb.). A partir de ces variables, des séries temporelles de DUR et FREQ ont pu être constituées pour chacune des stations hydrométriques retenues. A partir de ces séries temporelles, 2 indices synthétiques ont été calculés ; *m*DUR (en jours) et *m*FREQ (en assecs par an), les moyennes interannuelles de DUR et de FREQ pour chaque série. A noter qu'aucune station retenue ne montre d'assèchements hivernaux.

Sur les 123 stations présentant des assèchements, *m*DUR varie de 1 à 128 jours, avec une moyenne de 15,1 $\pm$ 19,5 jours et une médiane de 7,4 jours. *m*FREQ varie de 0,01 à 7,5 assec par an, avec une moyenne de 0,6 + 0,9 et une médiane de 0,3 assec par an. *m*DUR et *m*FREQ sont faiblement corrélés ($r = 0.19$, $p = 0.03$).

4) Cartographie nationale des CETs

A partir des stations hydrométriques retenues et des indices calculés, deux cartes ont été réalisées.

La première représente les 628 stations hydrométriques retenues: en bleu les stations pérennes (505), en jaune les stations présentant des assèchements (123) (**Fig. 1**). Cette distinction s'est faite sur la base de la présence-absence de 0 dans les séries de débit des différentes stations. Cette carte montre d'abord une répartition plutôt homogène des stations hydrométriques retenues sur l'ensemble du territoire métropolitain, à l'exception de la Corse pour laquelle aucune station n'a été retenue. Ensuite, les stations présentant des assèchements sont clairement présentes dans toutes les régions de France. Ce résultat va à l'encontre de ce qui est généralement supposé en France, à savoir que les cours d'eau qui s'assèchent sont l'apanage des seules régions méditerranéennes. Au total, 20 % des stations retenues montrent des assèchements. Sachant que la distribution des stations hydrométriques est fortement biaisée vers les cours d'eau pérennes, notamment du fait de leur destination initiale liée à des enjeux de gestion (lutte contre les inondations à proximité des villes, navigabilité sur les grands cours d'eau, mais peu sur les questions d'étiages et les petits cours d'eau), cette carte met fortement en évidence l'importance numérique des cours d'eau temporaires en France.

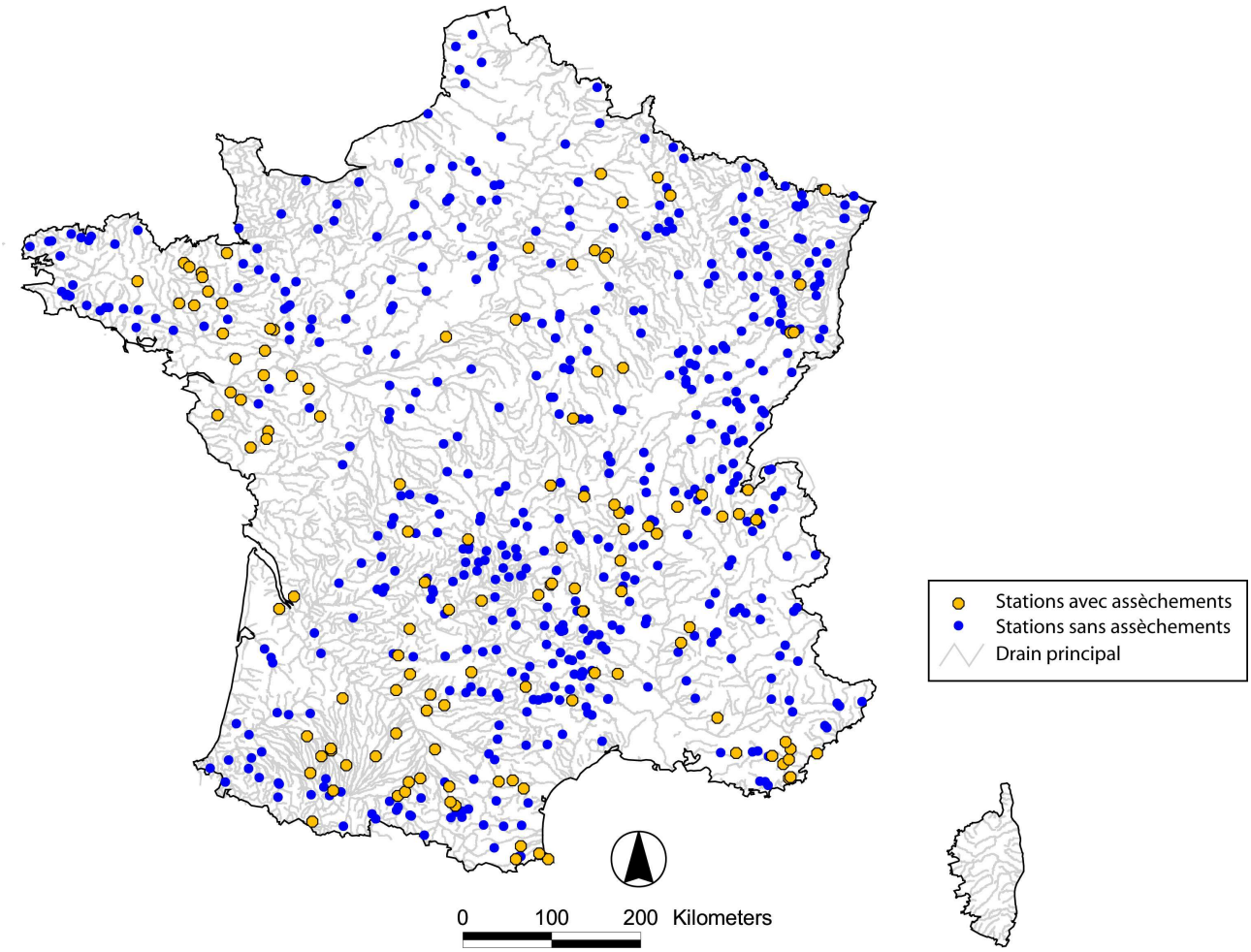


Figure 1. Stations hydrométriques retenues sans assèchements (bleu) et avec assèchements (jaune) sur le drain principal français.

La seconde carte représente les même 628 stations retenues, mais les stations présentant des assèchements ont été classées en 3 catégories (**Fig. 2**). Ces catégories, basées sur la fréquence (mFREQ) et la durée (mDUR) annuelles moyennes des assèchements pour chaque station, permettent en effet de rendre compte de « types » d'assèchements différents (**Fig. 3**).

- La catégorie 1 (41 stations) représente les stations avec des assèchements peu fréquents (<1 fois tous les 2 ans), et très courts (<1 jour).
- La catégorie 2 (40 stations) représente les stations avec des assèchements peu fréquents (<1 fois tous les 2 ans), mais longs (> 5 jours).
- La catégorie 3 (42 stations) représente les stations avec des assèchements fréquents (>1 fois par an) et longs (> 5 jours).

Les 3 catégories semblent être distribuées de manière homogène et aléatoire sur le territoire français ; il n'existe pas de structuration spatiale évidente de ces catégories (**Fig. 2**). Ceci suggère qu'il sera difficile de distinguer des types d'intermittence différents en fonction des contextes climatiques en France, contrairement à ce que nous aurions pu penser initialement.

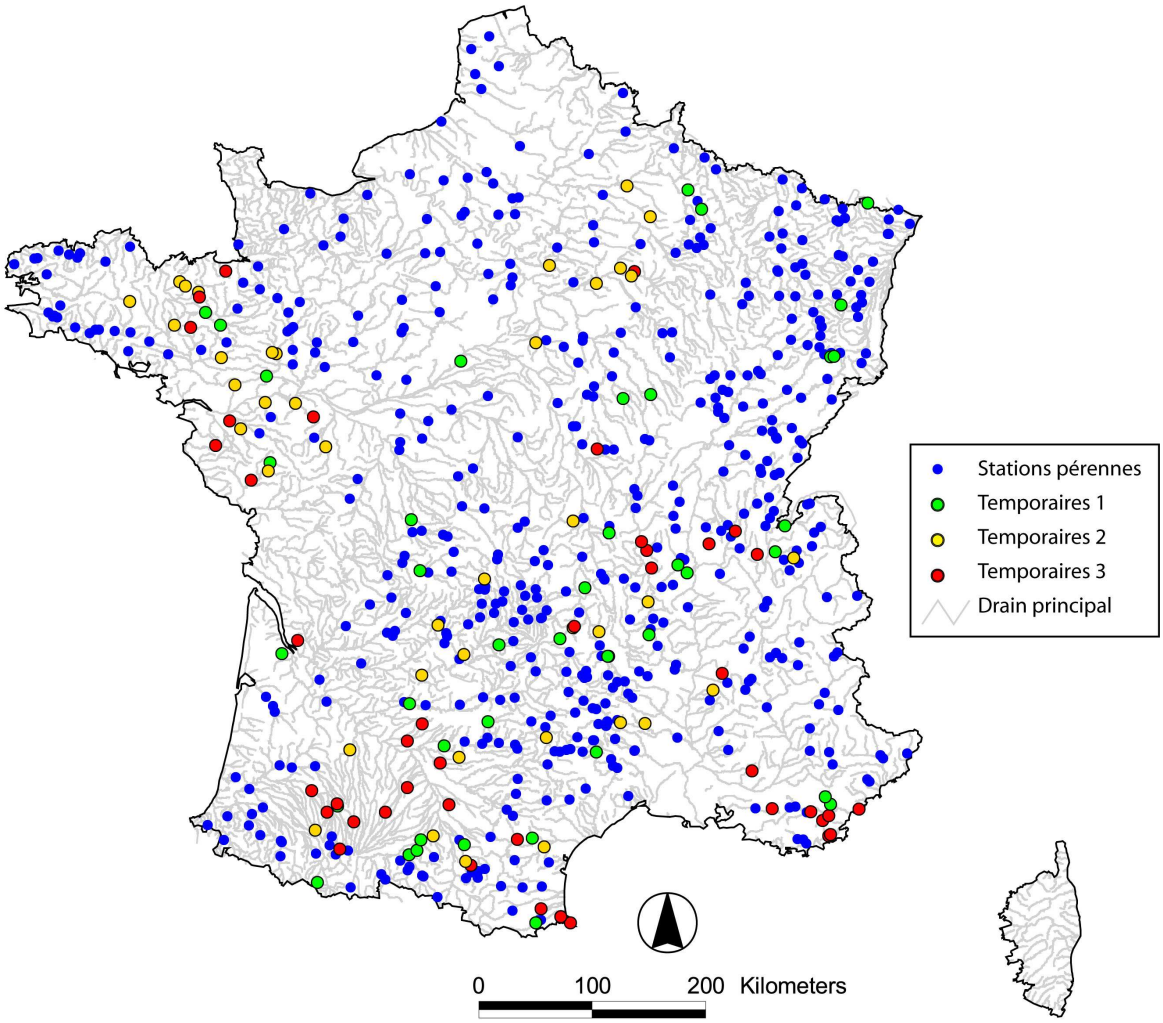


Figure 2. Stations hydrométriques retenues sur le drain principal français : sans assèchements (bleu) et avec assèchements selon les 3 catégories basées sur la fréquence et la durée moyennes des assèchements.

5) Modélisation des assèchements

5.1. Réseau et prédicteurs utilisés

Le réseau hydrographique sur lequel les assèchements ont été modélisés est le RHT développé par Pella et al. (sous presse) à partir d'un modèle numérique de terrain (MNT) d'une résolution spatiale de 50 m. Il comprend ~115 000 arcs jointifs et orientés d'une longueur moyenne de 2.5 km. Pour chacun de ces arcs, de nombreuses caractéristiques de bassin sont disponibles, tels que la surface drainée, la pente moyenne, la géologie dominante du bassin, les précipitations ou les températures par exemple (Pella et al., sous press). Les caractéristiques de bassin ont été dérivés du RHT et de différentes couches SIG décrivant le climat, la topographie et la géologie de la France. En particulier, les données de Météo-France sur la période 1961-1990 ont été utilisées pour obtenir les

températures et précipitations en tout point du réseau (Bénichou et Le Breton, 1987). Les caractéristiques géologiques ont été dérivées d'une carte géologique BRGM 1:1 000 000 définissant 22 catégories et comprenant ~18 000 polygones d'une superficie moyenne de 40 km^2. Cette carte a été convertie en deux couches de manière à quantifier pour chacune des 22 catégories géologiques, une valeur de dureté (i.e., un indicateur de la résistance à l'érosion) et de perméabilité (Pella et al. 2004).

La liste de l'ensemble des prédicteurs utilisés est disponible dans le Tableau 1. L'aire (*Area*) et le coefficient de forme du bassin (distance au point le plus éloigné en amont divisé par l'aire du bassin, *Shape*) ont été calculés depuis le RHT directement. Les moyennes du bassin pour chaque couche climatique ont été utilisées pour déterminer *Rain*, *Tmin* et *Tmax* (Tableau 1). La pente moyenne de chaque segment du bassin (*Slope*) a été obtenue à partir du MNT. La densité de drainage (*Drain*) a été obtenue à partir de la couche BD Carthage en divisant la longueur cumulée des arcs d'un bassin par sa surface. La dureté (*Hard*) et la perméabilité (*Perm*) moyennes ont été calculées à partir de la base de données du RHT. Enfin, ont été calculée les proportions de catégories géologiques incluant la craie (*Chalk*), le calcaire (*Lime*) et les dépôts alluviaux (*Alluv*).

Tableau 1. Les 13 prédicteurs issus des caractéristiques des bassins versants du RHT utilisés dans la modélisation des assèchements. La moyenne, le min et le max (entre parenthèse) pour chaque prédicteurs est indiquée à la fois pour les stations (données utilisées pour caler les modèles) et pour le RHT (domaine dans lequel le modèle a été extrapolé).

Prédicteur	*Description*	*Stations*	*RHT*
MinT	**Température minimum moyenne du bassin en Janvier (℃).**	**-1, (-12 ; 5)**	**-0.5, (-15 ; 7)**
MaxT	**Température maximum moyenne du bassin en Juillet (℃).**	**24, (11 ; 31)**	**24, (9 ; 32)**
AnnRain	**Précipitations annuelles moyennes (mm).**	**1030, (606 ; 2060)**	**944, (507 ; 2536)**
SumWinRain	**Différence entre les précipitations moyennes hivernales (Décembre, Janvier et Février) et estivales (Juin, Juillet et Août) divisées par les précipitations annuelles moyennes**	**0.1, (-0.1 ; 0.2)**	**0.1, (-0.2 ; 0.3)**
Area	**Superficie du basin (km^2).**	**1010, (3 ; 108893)**	**684, (3 ; 117500)**
Slope	**Pente moyenne du bassin (m/km).**	**15, (1 ; 75)**	**11, (0 ; 103)**
Drain	**Densité moyenne de drainage du bassin (km/km^2).**	**1, (0 ; 2.7)**	**0.9, (0 ; 3.3)**
Hard	**Dureté moyenne du bassin.**	**3.9, (1 ; 5)**	**3.5, (0 ; 5)**
Perm	**Perméabilité moyenne du bassin.**	**2, (1 ; 4)**	**2.3, (0 ; 4)**
Allu	**Proportion des surfaces alluvionnaires du bassin.**	**0.06 (0 ; 0.97)**	**0.09 (0 ; 1)**
Chalk	**Proportion de terrain crayeux du bassin.**	**0.17 (0 ; 1)**	**0.15 (0 ; 1)**
Lime	**Proportion de terrain calcaire du bassin.**	**0.03 (0 ;0.99)**	**0.05 (0 ; 1)**
Shape	**Distance à la tête du basin divisée par sa superficie (km/km^2 * 10^3).**	**0.18 (0.01 ; 0.8)**	**0.3 (0 ; 3.5)**

5.2. Procédures de régionalisation

La procédure de modélisation est une régionalisation des assèchements à des secteurs géographiques non-contigus, à partir d'une classification des stations hydrométriques en régimes pérennes et temporaires. Tout d'abord, sur la base des prédicteurs, un modèle statistique de classification a été calibré pour déterminer la probabilité de chaque station hydrométrique à appartenir à une des deux classes (avec ou sans assèchements). Ensuite, ce modèle a été utilisé pour assigner chaque arc du RHT à la classe pérenne ou temporaire. De la même manière, et sur les stations présentant des assèchements seulement, des modèles de régression statistique ont été calibrés aux valeurs log-transformées de *m*DUR et *m*FREQ. Ces modèles ont ensuite été utilisés pour tous les arcs du RHT pour prédire *m*DUR et *m*FREQ. Enfin, un dernier modèle statistique de classification a été calibré pour déterminer la probabilité de chaque station hydrométrique à appartenir à une des trois catégories de stations présentant des assèchements (i.e., 1, 2 ou 3, **Fig. 2**).

Ce sont des modèles Random Forests (RF) qui ont été utilisés pour prédire la probabilité d'être temporaire, tout comme les valeurs de *m*DUR et *m*FREQ (Breiman, 2001 ; Cutler et al., 2007). En bref, un modèle RF comprend un ensemble d'arbres de classification et de régression (CART). CART découpe les observations en groupes qui minimisent l'erreur de réponse, c'est à dire soit le taux de mauvaise classification dans le cas d'une procédure de classification, soit le carré moyen de l'erreur dans un contexte de régression- sur la base d'une série de règles binaires construites à partir des prédicteurs (Breiman et al. 1984). Les modèles CART ont plusieurs avantages incluant le fait d'être exempt d'hypothèses sur la distribution des variables ou le fait de pouvoir prendre en compte des relations non linéaires. Toutefois, un seul arbre de régression a le défault (i) de ne pas chercher la structure optimal de l'arbre et (ii) d'être très sensible à de petits changements de données d'entrée (Hastie et al., 2001). Ces limites sont réduites dans le cas des modèles RF (Breiman, 2001).

Nous avons utilisé 500 arbres, ce qui correspond aux valeurs recommandées (Cutler et al, 2007). La structure des modèles RF peut ensuite être examinée en utilisant des mesures d'importance et des graphes de dépendance partielle. Les mesures d'importance permettent de déterminer la contribution relative d'un prédicteur, tandis que les graphes de dépendance partielle permettent de visualiser la contribution marginale d'un prédicteur sur la réponse (Breiman, 2001 ; Friedman & Meulman, 2003). Bien que ces graphes ne soient pas la représentation exacte des effets de chaque prédicteur, particulièrement s'il y a des interactions ou si les prédicteurs sont très fortement corrélés, ils sont très utile à l'interprétation des modèles RF (Friedman & Meulman, 2003). Les modèles RF ne produisent pas de seuil de significativité pour l'inclusion d'une variable dans le modèle. Ainsi, des prédicteurs peuvent avoir des valeurs d'importance positives même si leur exclusion du modèle ne réduit pas forcément sa performance. Pour tester l'importance des prédicteurs, nous avons utilisé la procédure de réduction de variable de Svetnik et al. (2004).

Enfin, nous avons utilisé des procédure de jack-knife pour estimer les intervalles de confiance des estimations de *m*DUR et *m*FREQ. Les performances de chaque modèle ont été évaluées à l'aide de régressions linéaires entre valeurs prédites et observées des indices (Kobayashi & Salam, 2000). Nous avons ensuite testé si la pente et l'ordonnée à l'origine de ces régressions étaient différentes de 1 et 0, respectivement. Les performances des modèles ont été évaluées par le coefficient de détermination (r^2), le biais décrit par la moyenne de la différence entre les valeurs observées et prédites, et la précision caractérisée par la racine carrée de l'erreur (RMSE).

5.3. Résultats et conclusions

Modèle de probabilité d'être temporaire

L'analyse en validation croisée sur les 628 stations de l'échantillon montre que le modèle de la probabilité de chaque station hydrométrique d'être temporaire ou pérenne a un taux de mauvaise classification de 64 et 4 %, respectivement. Les 6 prédicteurs les plus importants sont dans l'ordre d'importance, *Rain*, *Tmin*, *Tmax*, *Shape*, *Area* et *Winsumrain* (**Fig. 3**). Les graphes de dépendance partielle indiquent que la probabilité d'être temporaire augmente avec *Tmax*, *Tmin*, et *Shape* et diminue avec l'augmentation de *Rain*, *Winsumrain* et *Hard* (**Fig. 3**).

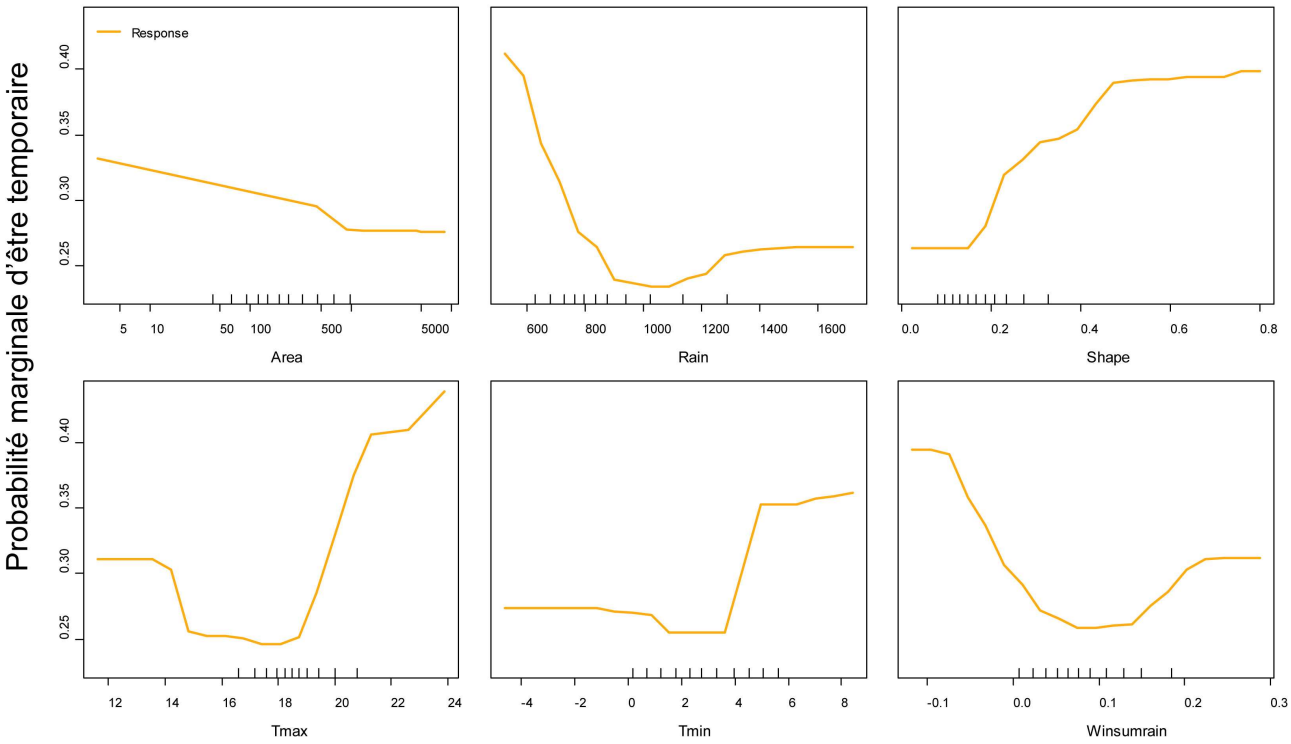


Figure 3. Graphe de dépendance partielle pour les 6 prédicteurs les plus significatifs du modèle de probabilité d'être temporaire ou pérenne.

La régionalisation à tout le RHT de la probabilité d'être temporaire indique que 23,5 % des arcs devraient être temporaires, représentants un linéaire de 66 557 km sur un total de 283 638 km formant le RHT (**Fig. 4**). Les régions méditerranéennes et la façade atlantique ont de nombreux arcs prédits comme temporaires ; ces régions sont aussi celles susceptibles d'avoir un climat futur plus chaud et sec ou de montrer des comportements hydrologiques particuliers (Giundoli & Renard, 2010).

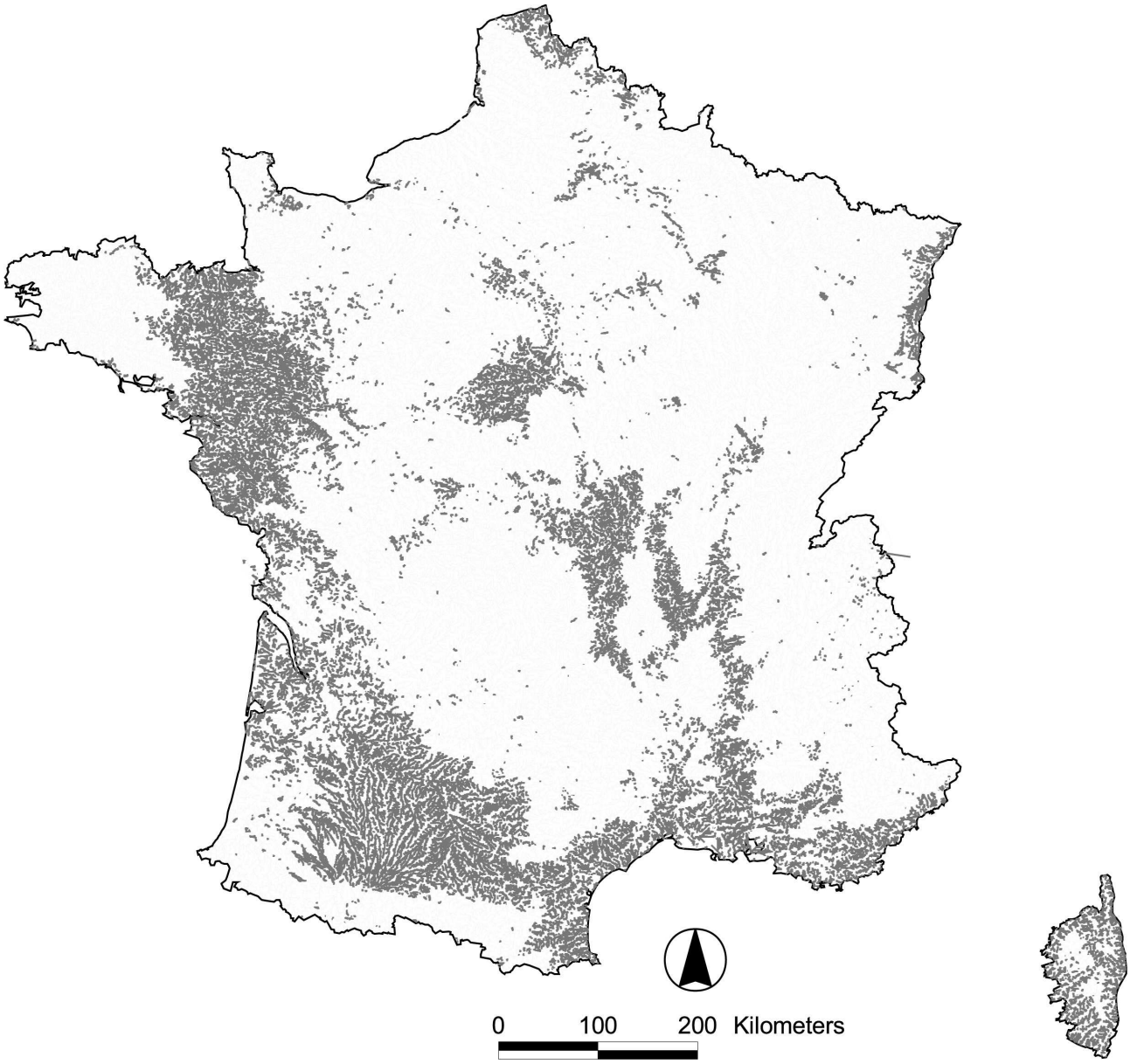


Figure 4. Arcs du RHT prédits comme temporaires par le modèle de probabilité d'être temporaire.

*Modèles estimant m*DUR *et m*FREQ

La performance du modèle estimant *m*DUR est de 0.33, avec une précision (RMSE) de 0.44 (**Tableau 2**). Les 6 prédicteurs les plus importants sont dans l'ordre d'importance, *Tmin*, *Winsumrain*, *Chalk*, *Perm*, *Slope* et *Rain*. Les graphes de dépendance partielle indiquent que *m*DUR augmente avec *Tmin*, *Winsumrain*, *Chalk* et *Perm* et diminue avec l'augmentation de *Rain* et de *Slope*. Les régions expérimentant les assèchements les plus longs sont prédites comme étant la côte méditerranéenne, caractérisée par des étés chauds et secs et des hivers doux, ainsi que la région des tables calcaires présentant une forte perméabilité, la présence de craie et de faibles pentes (**Figure 5**).

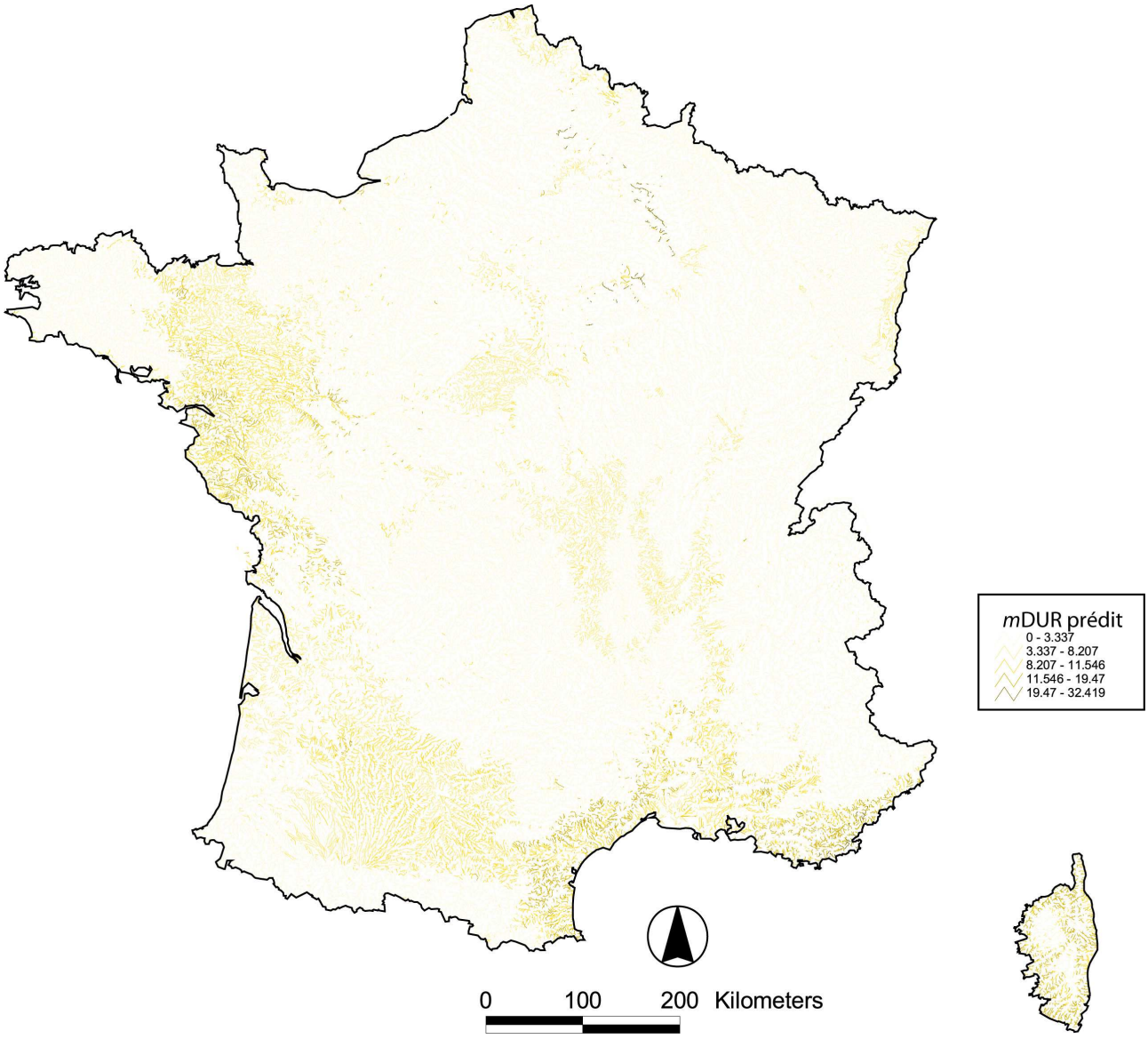


Figure 5. *m*DUR (en jours) prédit sur l'ensemble des arcs du RHT.

Tableau 2. Performances, RMSE et biais des modèles RF estimant *m*DUR et *m*FREQ.

	mFreqZERO	mDurZERO
n	123	123
r^2	0,31	0,33
RMSE	0,53	0,44
biais	0,01	0

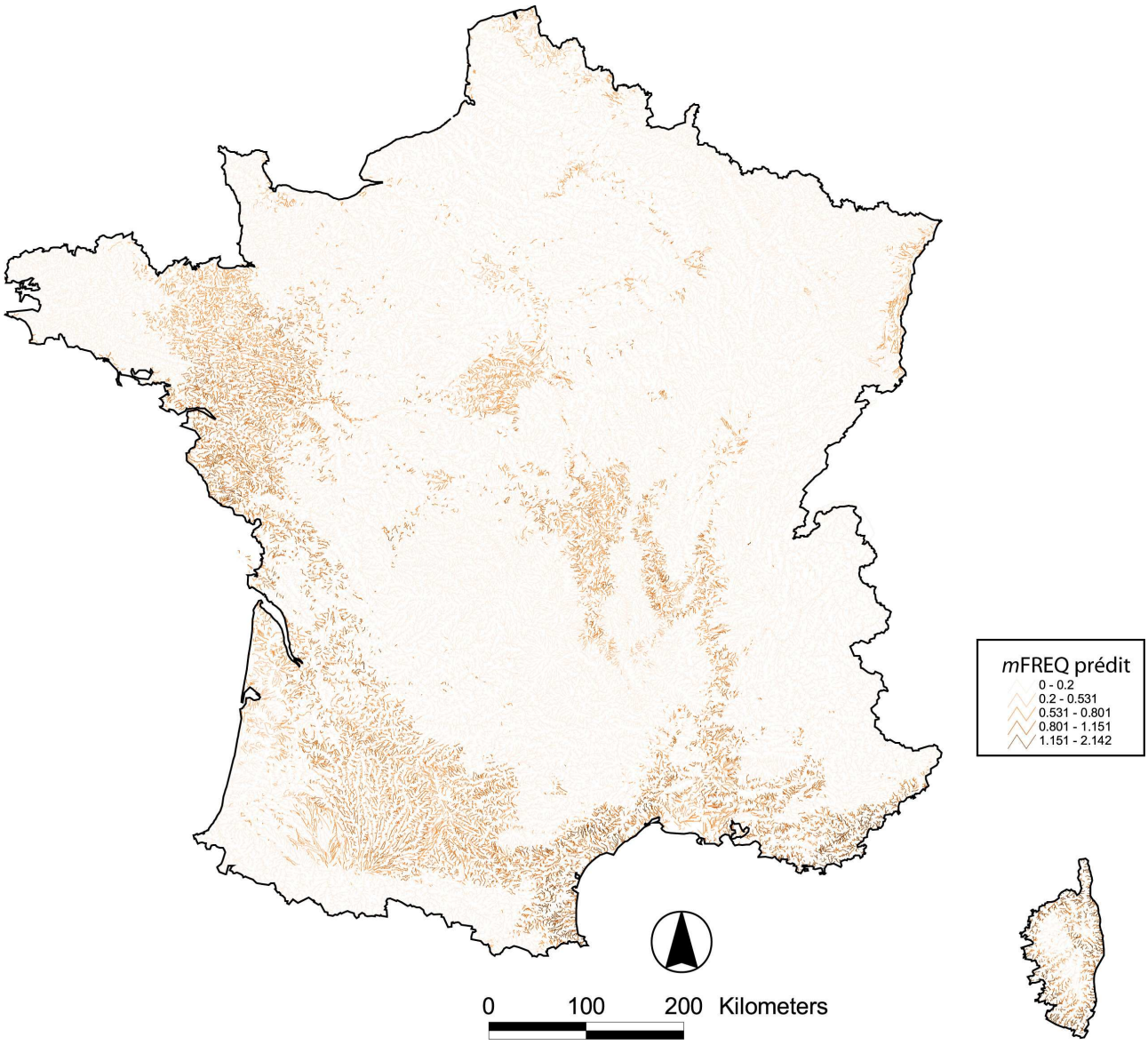


Figure 6. *m*FREQ (en assecs par an) prédit sur l'ensemble des arcs du RHT.

La performance du modèle estimant *m*FREQ est de 0.31, avec une précision (RMS3) de 0.53 (**Tableau 2**). Les 6 prédicteurs les plus importants sont dans l'ordre d'importance, *Area*, *Tmax*, *Tmin*, *Drain*, *Rain*, et *Slope*. Les graphes de dépendance partielle indiquent que *m*FREQ augmente avec *Tmax* et *Tmin*, et diminue avec l'augmentation de *Area*, *Rain*, *Slope* et *Drain*. Les régions expérimentant les assèchements les plus fréquents sont prédites comme étant la côte méditerranéenne, caractérisée par des étés chauds et secs et des hivers doux (**Fig. 6**).

Modèles de probabilité d'appartenir à une des 3 catégories de sites présentant des assèchements

Le modèle de la probabilité de chaque arc d'appartenir à une des 3 catégories de stations présentant des assèchements a un taux de mauvaise classification moyen de 50%, incluant une erreur de 56%, 52% et 42% pour les catégories 1, 2 et 3, respectivement. Les 6 prédicteurs les plus importants sont dans l'ordre d'importance: *Area*, *Tmin*, *Shape*, *Tmax*, *Rain* et *Drain* (**Fig. 7**). La catégorie 1

(assèchements peu fréquents et courts) est la plus probable dans les grands bassins avec d'importantes précipitations, une faible densité de drainage, des étés frais et des hivers chauds et une bassin de petite forme (i.e., rond). La catégorie 2 (assèchements peu fréquents et longs) est la plus probable dans les grands bassins avec de faibles précipitations, une forte densité de drainage, des températures fraîches et de forme de bassin rondes. Enfin, la catégorie 3 (assèchements fréquents et longs) est la plus probable dans les petits bassins avec peu de précipitations, de fortes températures et une forme élongée.

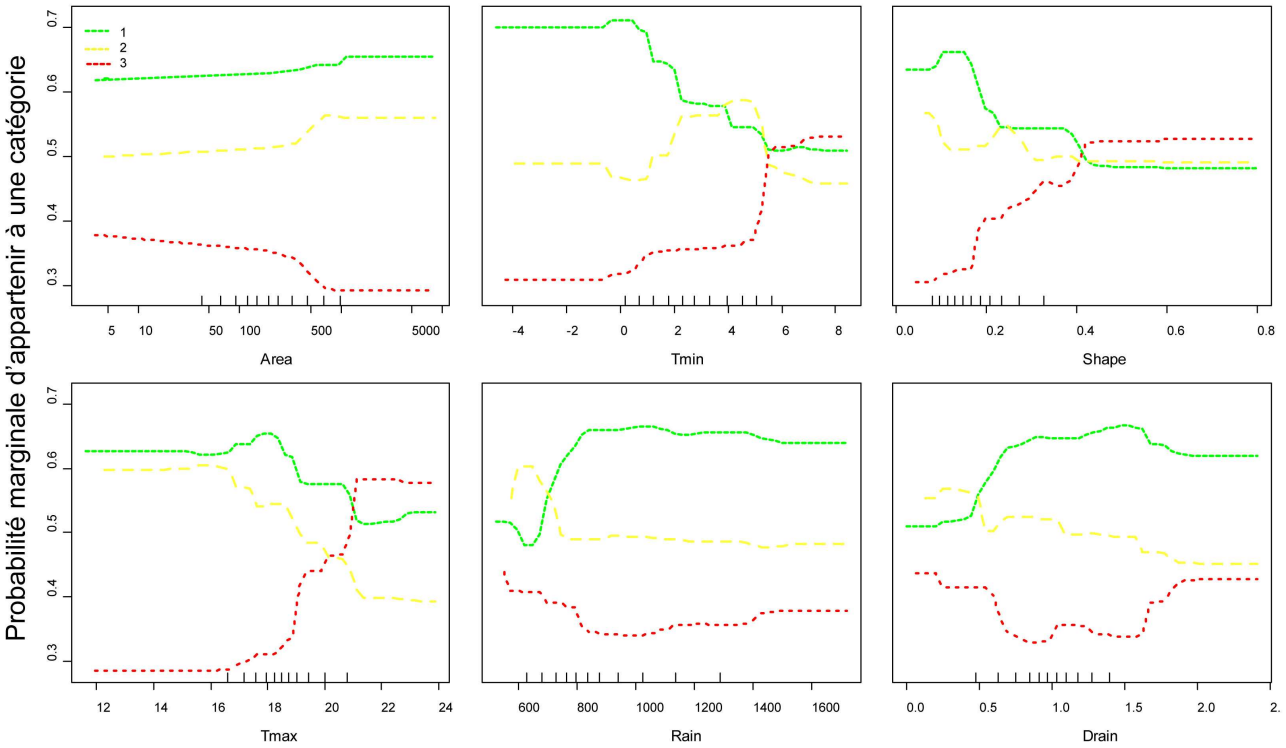


Figure 7. Graphes des dépendances partielles pour les 6 prédicteurs les plus significatifs du modèle de probabilité d'appartenir à une catégorie de stations présentant des assèchements. 1) assèchements peu fréquents et courts, 2) assèchements peu fréquents et longs et 3) assèchements fréquents et longs.

Conclusions

Les CETs sont très répandus en France. Une station hydrométrique sur cinq retenue dans ce projet présente des assèchements dans sa chronique de débit. Après régionalisation de la présence possible d' assèchements, ce taux est de 23,5 % sur tout le linéaire considéré (RHT). Sachant que la plupart des petits cours d'eau ne sont pas du tout équipés en station de jaugeage, que les cours d'eau plus grands mais asséchés de manière fréquente ne le sont pas non plus, ces % sont sans doute sous-estimés. De plus, de nombreux éléments laissent penser que les assèchements vont être de plus en plus nombreux, durables et fréquents dans les années à venir (Datry et al., 2011a). Or, la durée et la fréquence des assèchements contrôlent la biodiversité et les processus écologiques dans les CETs (Datry et al. 2007 ;2010 :2011a ;2011b; Datry & Larned, 2008 ; Arscott et al. 2010 ; Chester & Robson 2011, Datry, 2012). Il est donc indispensable de mettre en place des réseaux de suivis adaptés à la surveillance des assèchements de manière à les mesurer et les prédire. De la même manière que les crues font désormais l'objet de suivis très complets (http://www.vigicrues.gouv.fr/), il serait intéressant de développer ce type de suivis pour les assèchements.

Les CETs ne sont pas l'apanage des régions méditerranéennes. Des assèchements se produisent dans toute la France, quelle que soit la région concernée. De plus, il ne semble pas que les types d'assèchement soient structurés spatialement. Par exemple, les assèchements fréquents et longs, typiquement méditerranéens, ne sont pas cantonnés aux seules régions méditerranéennes. Cela signifie que les mécanismes conduisant aux assèchements sont sans doute assez généraux, qu'ils soient en lien avec le climat (i.e., précipitations et températures), la géologie (i.e., type de substrat) ou l'hydrogéologie (i.e., les échanges nappe-rivières).

Contrairement à d'autres caractéristiques des régimes hydrologiques (Snelder et al., 2009), les assèchements semblent être difficilement prédictibles en utilisant des procédures de régionalisation. Les taux de mauvaise classification des différents modèles sont élevés. Par exemple, dans 64 %, le modèle ne peut pas prédire l'existence d'assèchements sur une station hydrométrique. De même, de manière globale, l'assignation des stations présentant des assèchements à une des trois catégories est globalement fausse dans 1 cas sur 2. Ces résultats suggèrent que le comportement temporel des assèchements ne peut pas être inférée de manière fiable à des bassins versants non jaugés en utilisant les techniques de transfert de séries chronologiques communément utilisées en hydrologie, pour prédire les étiages par exemple (Laaha et al., 2010 ; Giundoli & Renard, 2010). En effet, ces méthodes reposent sur un certain degré de similarité spatiale des régimes hydrologiques, autrement dit une structuration dans l'espace de ces derniers. Une telle structure n'a pas été observée dans le cas des assèchements.

La faible capacité des modèles à prédire les assèchements des arcs peut avoir plusieurs explications. Si plusieurs explications techniques peuvent intervenir (e.g., nature binaire des données d'entrée, difficultés de mesurer des «0»), des explications physiques sont sans doute plus évidentes à envisager. Les assèchements sont variables dans l'espace ; certains tronçons de rivière peuvent être pérennes, d'autres temporaires. C'est le cas de l'Albarine (01) ou de l'Asse (04), qui ont été bien étudiées ces dernières années au laboratoire DYNAM (e.g., Datry et al., 2011b, Datry 2012). Ainsi, des stations hydrométriques localisées sur des tronçons pérennes ne pourront pas rendre compte des assèchements du cours d'eau à l'aval ou en amont de ceux-ci. Ainsi, contrairement à un régime hydrologique en général constant sur le linéaire d'un cours d'eau, les assèchements peuvent être très locaux, rendant toute tentative de régionalisation vaine. Ce constat confirme le choix de développer des réseaux de mesures/suivis/observations des assèchements (type ONDE, RDOE, ROCA), indépendants des réseaux actuellement déployés pour suivre le débit des rivières en France.

S'il n'est pas possible de prédire de manière robuste les assèchements à l'échelle des arcs à partir de l'utilisation des données de la Banque Hydro et de variables de bassins, il semble toutefois envisageable de prédire un risque d'assèchement à un grain plus grossier (e.g., région, bassin). Toutefois, d'autres analyses sont nécessaires pour déterminer ce grain et l'échelle spatiale à laquelle la prédiction de risques d'assèchement pourrait être pertinente. Quoi qu'il en soit, les données de la Banque Hydro sont les seules données quantitatives disponibles à ce jour; des réseaux d'observations ont vu le jour, mais uniquement localement à ce jour (e.g., RDOE, ROCA) et les informations des cartes IGN ou de la couche BDTopo (i.e., tracés continus ou pointillés) sont trop incertaines pour être utilisées de manière fiable. Ainsi, la mise en place d'un observatoire national des assèchements semble très important. Une autre possibilité pour suivre ces assèchements serait l'utilisation de capteurs adaptés ; ceci est l'objet du prochain chapitre de ce document.

6) Test de capteurs de présence-absence d'eau

6.1) Description du matériel

Les capteurs sont fabriqués par Intermoutain Environment (http://www.inmtn.com/). Cette société nord-américaine a travaillé précédemment avec l'US EPA (United States Environmental Protection Agency) pour mettre au point des capteurs permettant de déterminer l'hydropériode des cours d'eau de têtes de bassins en Indiana, Kentucky, et Ohio (http://www.epa.gov/eerd/manual/headwater.htm). Ces capteurs sont bien moins chers (<150 E) que des enregistreurs de niveaux d'eau et pourrait donc palier les manques de mesures d'assec effectués sur les réseaux hydrologiques français. L'objet du présent projet était de tester ces capteurs dans les cours d'eau temporaires de France métropolitaine.

Sonde, câble, boîtiers

Le matériel se compose d'une sonde, d'un câble de 5 m, d'un boîtier étanche à couvercle vissé comportant une boucle qui permet de l'accrocher à un support quelconque via une ficelle ou un câble (**Fig. 8**). Ce boîtier étanche contient et protège un deuxième boîtier, l'enregistreur de changements d'état « HOBO data logger, modèle U9 ».

Figure 8 : Capteur de présence d'eau Hobo

La sonde est constituée de 2 fils parallèles en cuivre de 3 mm de diamètre insérés sur un support en plastique et écartés l'un de l'autre de 4 mm. Le contact électrique entre les 2 fils s'effectue lorsque la sonde est dans l'eau. Elle est reliée par le câble de 5 m au moyen d'une prise jack au boîtier enregistreur de données. Celui-ci est également muni de 2 voyants LED sur le coté, un rouge, un vert qui témoignent de l'état de fonctionnement de l'enregistreur et d'un bouton poussoir sur la face avant qui permet une mise en marche différée après programmation ou qui déclenche une mesure ponctuelle pendant la durée d'enregistrement. Les données d'état, de type binaires (0 = à sec, 1 = en eau), ainsi que des données témoins du fonctionnement du capteur (% charge de la pile, % mémoire utilisée, etc.) sont récupérées sur ordinateur grâce à un câble de liaison USB. Elles peuvent être extraites sans arrêter l'enregistrement en cours.

Récupération des données

Un logiciel (Hoboware Pro) est fourni avec l'appareil. Il permet de configurer la programmation des enregistrements, de contrôler l'état de fonctionnement du capteur et de récupérer les données. Elles peuvent l'être sous forme de fichiers de divers formats (*.txt, *.csv, *.xls) ou sous forme graphique imprimable (**Fig. 9**).

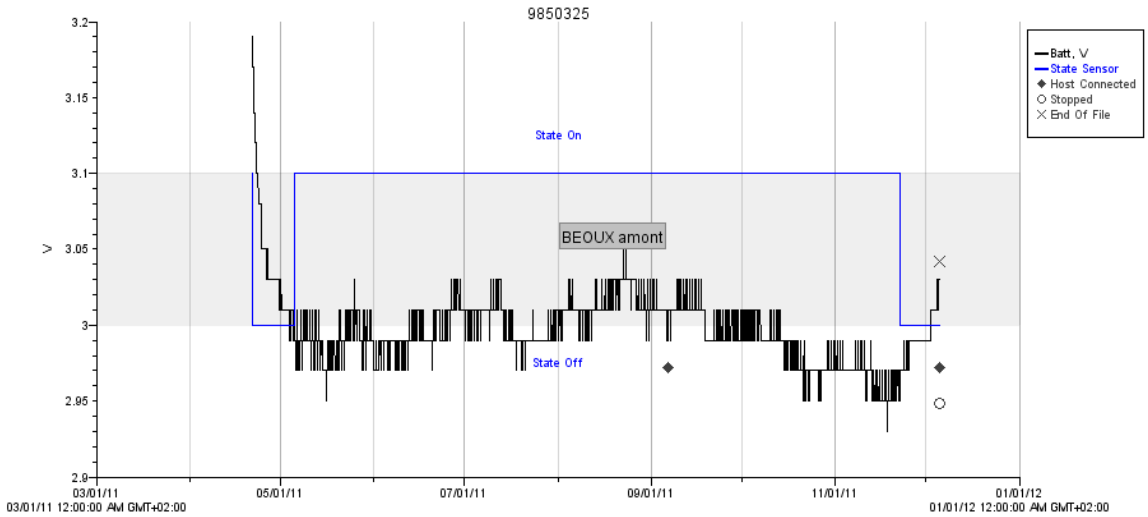


Figure 9 : sortie graphique de l'enregistrement des données de la Béoux amont

6.2) Sites de test

En tout 53 capteurs ont été installés. 35 ont été posés dans 32 stations de 11 rivières des Hautes-Alpes, des Alpes de Haute Provence et de la Drôme : l'Arigéol, l'Asse, la Béoux, le Petit Buëch, les Duyes, le Grand Vallon, le Jabron, le Lez, le Ravin des Combes, le Roubion, le Vançon. La plupart d'entre elles présentent un lit majeur à tresses dont la largeur sur la station peut aller jusqu'à plus de 200 m. En général 1 capteur a été installé par station et 2 stations ont été choisies par rivière, une supposée rester en eau pendant l'été, l'autre supposée connaître des périodes d'assec. Pour certaines stations, 2 capteurs ont été mis en place au lieu d'un pour tester la différence entre la rive et le centre du chenal (Béoux amont) ou bien l'amont et l'aval de la station (Roubion) ou encore entre 2 chenaux différents du lit (Jabron). 13 autres capteurs restants ont été installés dans l'Albarine, rivière de l'Ain étudiée depuis 3 ans par le Cemagref, entre le village de Montferrand à l'aval de St Rambert en Bugey et sa confluence avec la rivière Ain dans un tronçon d'environ 15 km d'ordre 3 caractérisé par un gradient croissant d'intermittence (Datry et al., 2011b). Cette rivière possède un lit majeur plus régulier dont la largeur ne dépasse guère 10-15 m sur le secteur étudié. Enfin, 5 autres ont été testés par la DIR ONEMA de Poitiers (Contact : Bénédicte Durozoi) sur des sites du réseau ONDE (Annexe 1).

Installation

Les capteurs ont été installés de la manière suivante : la sonde est positionnée dans le lit du cours d'eau près de la berge, la longueur du câble limitant son avancée dans le chenal. L'emplacement est choisi avec discernement pour qu'il soit représentatif de la zone étudiée, qu'elle s'assèche ou non.
En général elle est installée sous un arbre ou un arbuste, cas le plus fréquent, dans lequel le boîtier sera accroché. La sonde est fixée extrémité vers le haut au moyen de 2 colliers plastiques sur un piquet métallique (cornière de 25 mm, percée de 2 trous permettant le passage des colliers) d'environ 35 cm de long enfoncé dans le sédiment (**Fig. 10**). On fait cheminer le câble jusqu'au pied de l'arbuste en l'enfonçant légèrement dans une saignée creusée dans le lit et en le recouvrant

de cailloux. Puis le câble est fixé au tronc de l'arbuste par des colliers en plastique jusqu'au boîtier protecteur qui est accroché par l'intermédiaire de son anneau à une hauteur suffisante pour échapper aux crues. Au besoin, en absence d'arbre au lieu choisi on utilise un piquet d'environ 1m20 pour fixer le boîtier. Une pancarte est en général posée à proximité pour informer les éventuels curieux.

Figure 10 : position de la sonde *in situ*. En fait, la sonde doit affleurer le sédiment mais elle est ici positionnée plus haut que le piquet, contrairement à l'usage, afin qu'on la distingue mieux sur la photo

La position de chaque capteur, à quelques mètres près, est repérée au moyen d'un GPS.

Les capteurs des rivières alpines ont été installés début mai 2011 (semaines 18 et 19) et retirés fin novembre (semaines 47 et 48). Une partie de la totalité des données a été récupérée lors d'un passage de contrôle qui a eu lieu début septembre (semaine 36).

Malheureusement, plusieurs épisodes de crues se sont produits dans les Alpes pendant la période de mesures, dont un particulièrement intense, début novembre, causant pas mal de dégâts au matériel. Sur le Buëch à la station de Serres, le débit maximal enregistré le 5/11 s'élevait à environ 360 m^3/s alors qu'en étiage il est d'environ $10m^3/s$. En ce qui concerne l'Albarine les 13 capteurs ont été posés le 6 juillet et retirés le 15 novembre. Là aussi des crues ont eu lieu pendant la période de mesures, l'une du 17 au 21 juillet avec un débit journalier maximum de 17 m^3/s le 20/07 (données du limnimètre de Pont St Denis correspondant à la station 8, située à peu près au milieu du secteur étudié) et l'autre début novembre avec un débit journalier maximum de 10,9 m^3/s le 5. Ces 2 crues ont été modérées, contrairement à celles des Alpes, le module inter-annuel étant de 7,01 m^3/s ici sur l'Albarine.

Tous les capteurs ont été préprogrammés au laboratoire avec un délai d'une heure entre chaque mesure. A chaque changement d'état de la sonde (en eau/à sec) une mesure supplémentaire est enregistrée.

6.3) Résultats

Problèmes rencontrés: récupération du matériel.

Comme évoqué précédemment le matériel a beaucoup souffert des crues et ceci plus particulièrement pour les rivières des Alpes, celles de la Drôme et de l'Albarine ayant été beaucoup plus modérées.

Dans les Alpes, elles ont été suffisamment puissantes pour qu'en certain cas le lit majeur soit fortement remanié et même quelquefois avec un déplacement en travers du lit mineur de plusieurs dizaines de mètres (comme pour l'Asse, la Béoux, le Jabron). Sur les 35 capteurs installés dans cette région seuls 9 ont pu être récupérés complets fin novembre. Pour 22 des 26 non récupérés complets, seul le boîtier (et donc les données, au moins partielles) a été retrouvé intact, la sonde et une plus ou moins grande partie du câble étant soit arrachées, soit enterrées sous plusieurs dizaines de cm de cailloux et de sédiment. Dans ce cas la sonde a, la plupart du temps, été abandonnée en coupant le câble. Pour les 4 capteurs restants, nous n'avons rien retrouvé, l'un d'entre eux ayant même disparu lors de la visite de contrôle de septembre. A cette même date, nous avons constaté que 13 capteurs avaient déjà subi l'effet des crues de printemps ou d'été avec pour conséquence la disparition de la sonde (3 sur 13), ou le plus souvent son enfouissement. Certaines d'entre elles avaient alors été remises en place lorsque cela était possible.

Parmi les 9 capteurs complets retrouvés fin novembre, 5 avaient leur sonde détachée du piquet support, mais souvent positionnée près de l'endroit d'origine, ce qui souligne que le mode d'attache doit être amélioré. En tout et pour tout, seuls 4 capteurs sur les 35 d'origine ont été retrouvés intacts à l'endroit où ils avaient été posés. Environ une quinzaine de boîtiers ont permis de récupérer des données assez fiables, toutes antérieures à la forte crue de début novembre.

Sur l'Albarine où la durée d'exposition a été plus courte et où les crues ont été plus modérées, sur les 13 capteurs installés, 2 avaient toutefois leur sonde arrachée lors de la campagne de relèvement du 15/11 et 2 autres avaient leur câble présentant des marques d'usure par frottement ou torsion.

D'une manière générale, et même si on fait abstraction des cas où le lit a été fortement remanié laissant ainsi peu de chances de retrouver le matériel intact, il apparaît malgré tout que le câble et la sonde du matériel utilisé résistent mal à l'arrachement et à l'usure, le point faible se situant au niveau des soudures liant les fils du câble à la sonde. On a pu aussi constater ce phénomène sur des rivières moins affectées par les crues comme le Roubion, le Lez, et l'Albarine.

Autre problème: l'intérieur du boîtier de protection a été assez souvent retrouvé humide, la plupart du temps sans doute du fait d'un phénomène de condensation et sans que le système électronique ou la pile du boîtier Hobo aient semblé en pâtir. Seules 2 piles ont été totalement déchargées au cours de l'expérimentation, avec dans ce cas une forte humidité observée dans le boîtier Hobo. Il est alors probable qu'un court-circuit se soit produit dans le système électronique ce qui a conduit à la perte d'une partie des données.

Dans l'ensemble, pour les autres capteurs, la charge résiduelle normale de la pile était de l'ordre de 95%, ce qui est conforme aux caractéristiques données par le constructeur pour la fréquence de mesures choisie.

Enfin, l'emplacement précis de la sonde dans le lit de la rivière est évidemment crucial quant à la validité des résultats. Sur les stations où 2 sondes ont été posées (voir § sites de test, le Roubion aval n'a pas été retenu, une sonde ayant mal fonctionné) les résultats étaient à peu de choses près équivalents pour les 2 chenaux distants de plus de 100 m du Jabron amont mais plutôt différents pour la Béoux aval entre la sonde posée dans le chenal et celle proche de la rive (**Fig. 11 et 12**).

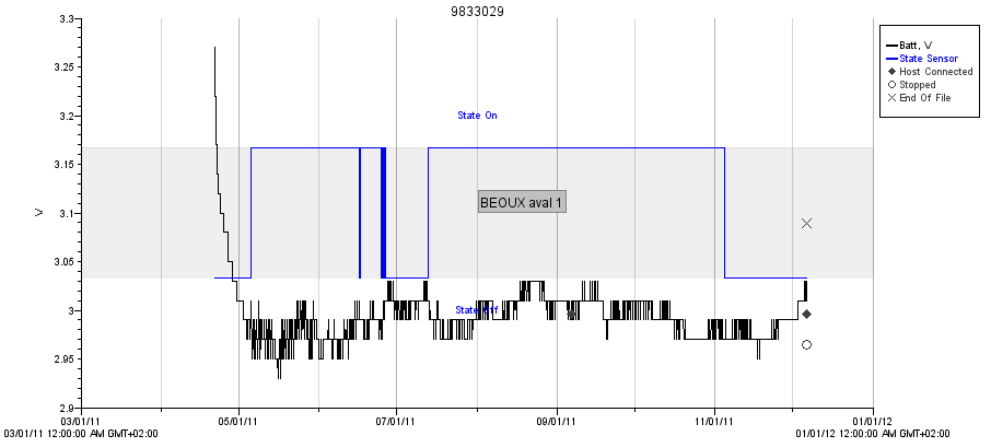


Figure 11 : sortie graphique de l'enregistrement des données de la Béoux aval (chenal)

On a ainsi constaté que pour la période du 5/05 au 3/11 la moyenne journalière de présence d'eau étaient respectivement de 0,90 et 0,64 pour le chenal et la rive.

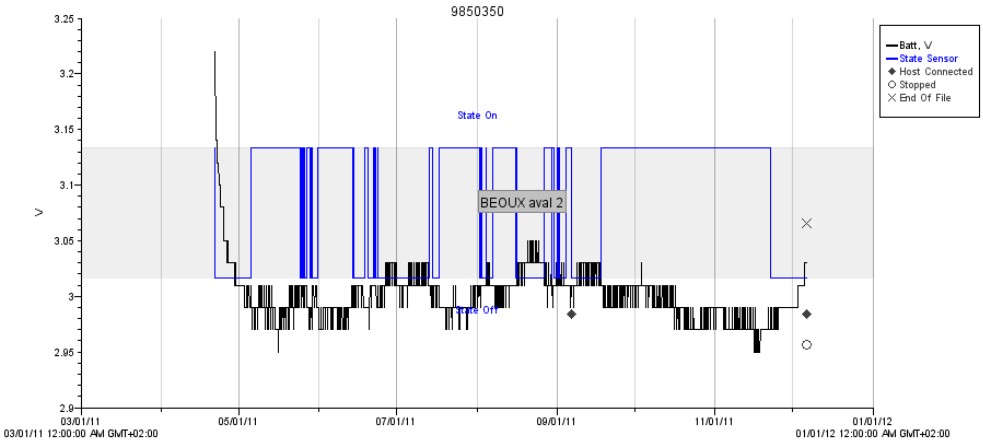


Figure 12 : sortie graphique de l'enregistrement des données de la Béoux aval (rive)

Comme le montre le rapprochement des 2 profils obtenus, de manière logique et prévisible la rive s'assèche plus rapidement et plus souvent que le chenal.

Enfin la végétation se développant dans le lit de la rivière au printemps et en été, surtout s'il y a des épisodes d'assec, peut compromettre également la fiabilité des résultats. C'est ce que l'on a observé pour 2 stations de l'Albarine où les sondes ont été recouvertes par un tapis de macrophytes et elles ont ainsi été gardées à l'humidité alors que le lit mineur environnant était en réalité à sec.

Problèmes rencontrés: récupération des données

Il n'y a pas eu de problème particulier pour récupérer les données à partir du boitier Hobo sauf pour 2 d'entre eux dont les piles étaient HS (voir précédemment). Lorsque la pile est déchargée, on peut la remplacer, ce qui permet de récupérer ensuite les mesures enregistrées. Un petit inconvénient toutefois : on a remarqué que dans le fichier récupéré le format « date » changeait au cours de l'enregistrement sans cause apparente, ce qui peut créer quelques désagréments lors du transfert et des manipulations du fichier.

La récupération des données, qu'elle s'effectue sur le terrain ou au labo, se fait en 2 temps : extraction du fichier récupérable sur un tableur après arrêt ou non de l'enregistrement et affichage du profil d'état par le logiciel fourni sous forme d'un graphe auquel il est possible d'apporter quelques modifications et que l'on peut transférer dans un fichier texte, Word par exemple (**Fig. 9, 11 et 12 précédentes**). Les caractéristiques de la sonde peuvent être également affichées et enregistrées (état de la sonde, % de charge de la pile, % de mémoire restante, etc.).

L'enregistrement de chaque mesure ayant été programmé toutes les heures, on doit donc récupérer 24 mesures sur une base journalière auxquelles s'ajoutent les mesures liées au changement d'état de la sonde (en eau/à sec). On peut donc logiquement s'attendre à ne trouver guère plus qu'une trentaine de mesures par 24h. En fait, pour bon nombre de capteurs (25/48) il en a été autrement car à plusieurs reprises, plusieurs dizaines, voire plusieurs centaines de mesures ont été enregistrées certains jours. Le « record » a été observé pour la sonde rivulaire de la Béoux aval avec pas moins de 2111 mesures pour la journée du 24 mai 2011, dont 2092 entre 18h47 et 23h07, soit en moyenne 1 mesure toutes les 7,5 secondes. Pour une quinzaine des capteurs ayant enregistré ce type de séries serrées de mesures, on a noté un problème presque toujours lié aux crues tel l'arrachage de la sonde, son enfouissement (cas de plusieurs stations de l'Asse, du Grand vallon aval, du Vançon amont, de la station 13 de l'Albarine) ou un problème d'usure du câble. Pour les sondes arrachées ou détachées du support, on a constaté en plusieurs occasions que les fils électriques du câble ou la sonde flottaient au gré du courant, favorisant ainsi de multiples changements d'état enregistrés par le capteur.

Toutefois pour une dizaine de capteurs cette alternance rapide de mesures semble s'être produite de manière normale sans qu'une quelconque anomalie de l'appareillage ait été notée. Dans ce cas, elle correspond en général au début de la phase d'assèchement du lit ou, moins souvent, lors de la remise en eau. On peut penser que la sonde affleurant probablement la surface de l'eau était alors sans cesse alternativement à sec ou humide du fait d'un phénomène de batillage (dû au vent par exemple) ou de variation du courant. Autre hypothèse : la sonde est fixée sur une cornière métallique (voir **Fig. 8**) recouverte d'une couche de peinture mais celle-ci peut au cours du temps disparaître à cause de la rouille sous jacente par exemple. Normalement, la géométrie de la sonde ne permet pas dans ce cas que le contact entre les 2 fils conducteurs puisse se faire par l'intermédiaire de la cornière sauf s'il reste une lame d'eau (voire une goutte) coincée par capillarité entre les fils en cuivre et la cornière, ce qui n'est pas exclu. Un test avec la sonde bien isolée électriquement du piquet mérite d'être effectué pour valider ou infirmer cette supposition. Lorsque de longues séries de mesures en rafales ont lieu, la capacité mémoire de l'enregistreur tend à être saturée plus rapidement que prévu. En fait, seuls 9 capteurs sur les 44 retrouvés présentaient une utilisation de celle-ci supérieure à 25 % alors que la plupart du temps elle restait inférieure à 10%. 2 d'entre eux avaient la mémoire totalement saturée, mais il est par la suite possible de la réinitialiser.

Validation des résultats obtenus sur l'Albarine par comparaison aux sorties du modèle hydrologique ELFMOD

Une fois les données récupérables stockées sur ordinateur, nous avons envisagé de les valider.

Pour cela, nous avons utilisé uniquement celles de l'Albarine car sur cette rivière étudiée depuis plus de 3 ans par le Cemagref, nous disposions d'une modélisation de la distribution du débit en tout point du secteur intermittent où ont été posés les capteurs grâce au modèle ELFMOD, modèle hydrologique statistique développé par des chercheurs de NIWA en Nouvelle Zélande (Rupp et al., 2008 ; Larned et al., 2010 ; Larned et al., 2011 ; Datry et al., 2011b).

Ce modèle s'appuie sur les enregistrements de 2 limnimètres placés en amont et au milieu du secteur étudié et sur une série de mesures ponctuelles de débit effectuée pendant 2 années sur une douzaine de stations.

Ainsi nous avons reconstitué sur une base journalière les périodes en eau et les périodes à sec rencontrées sur les 10 stations dont le capteur a fonctionné normalement (les stations 2, 8 et 13 ont été éliminées) pour les confronter aux sorties du modèle.

La comparaison a été effectuée selon 2 approches :

- Dans un premier temps nous avons calculé pour la durée totale de l'expérience la corrélation entre le pourcentage de temps où la station était en eau (noté % FP pour % of Flow Permanence) selon les capteurs et le même pourcentage trouvé par le modèle (**Fig. 13).**
- Dans un deuxième temps nous avons essayé de vérifier que les périodes d'assec ou en eau enregistrées par les capteurs se produisaient de manière synchronisée avec celles du modèle (**Fig. 14**).

Corrélation entre capteurs et modèle hydraulique

La corrélation apparaît bonne, elle est statistiquement significative ($p<0,001$).

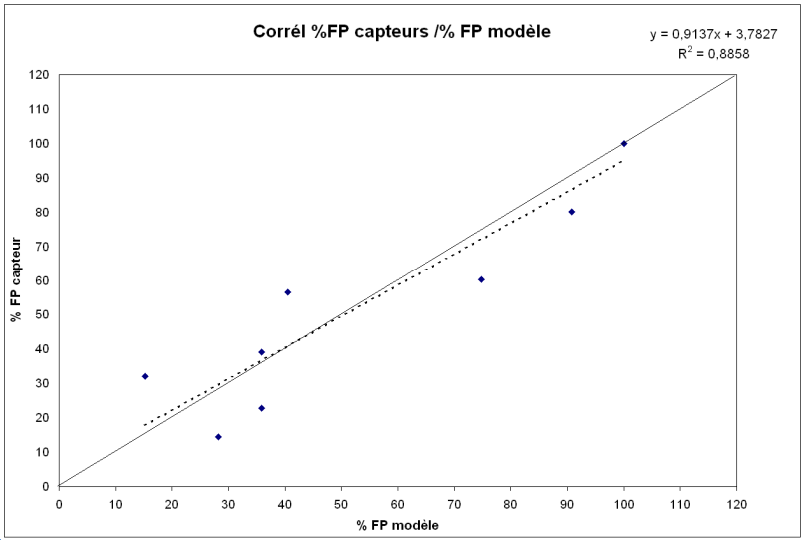


Figure 13 : Corrélation entre % FP des capteurs et % FP du modèle hydraulique, le point de coordonnées 100/100 représente 3 points confondus ; la ligne pointillée est la droite de régression

Elle témoigne que pour la période considérée et l'ensemble des stations choisies, le nombre de jours où la rivière était perçue en eau par les capteurs correspond assez étroitement avec le nombre de jours en eau calculé par le modèle.

Les écarts entre les 2 séries, la corrélation n'étant pas parfaite, peuvent pour l'essentiel être attribués aux imprécisions inhérentes au modèle hydraulique, sans pour autant exclure une imprécision due à la mesure (Rupp et al., 2008).

Synchronisme entre les périodes en eau ou en assec enregistrées par les capteurs et calculées par le modèle hydraulique

Ici l'analyse n'a porté que sur 6 stations du secteur aval de l'Albarine dont le % d'assec croît vers la confluence avec l'Ain. Les stations amont, presque toujours en eau, qui a priori entraînent donc peu de changements d'état des capteurs n'ont pas été retenues. Les données du modèle, à l'origine fournies en terme de débit journalier (m^3/s) ont été transformées en mode binaire (0 = débit nul, 1 = débit non nul), ce qui permet d'homogénéiser les unités du fichier et de présenter les résultats sous forme de lignes parallèles dans la **figure 14**. Dans celle-ci les lignes du bas correspondent aux périodes d'assec, les lignes du haut aux périodes en eau. On constate comme pour la corrélation précédente, une assez bonne correspondance entre les données du modèle et celles des capteurs bien que leur synchronisme ne soit pas parfait et ceci pour la même raison qu'évoquée auparavant.

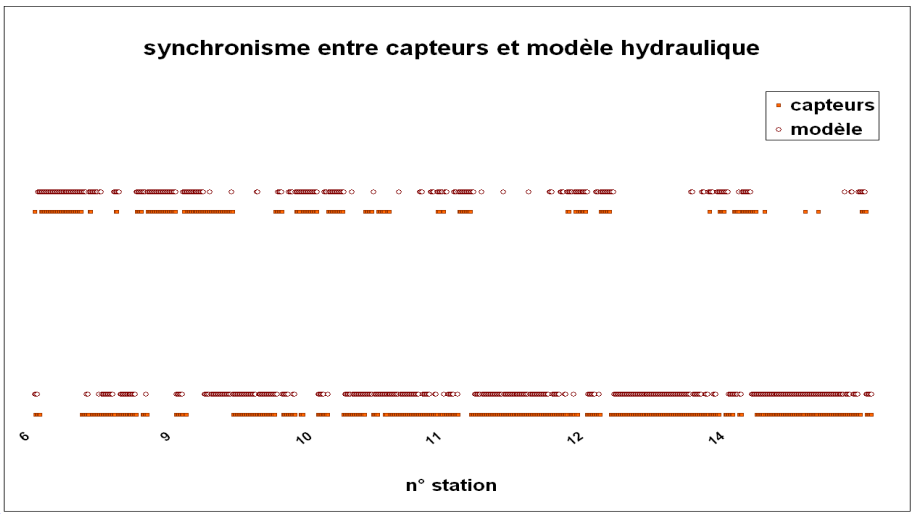


Figure 14 : Représentation du synchronisme entre périodes en eau (en haut) et en assec (en bas) des capteurs (lignes continues) et du modèle hydraulique (lignes à points)

Globalement on vérifie que les résultats offerts par les capteurs sont en cohérence avec les sorties du modèle.

6.4) Conclusions

Simple de conception et facile à utiliser, l'appareillage Hobo n'en reste pas moins fragile pour une utilisation en milieu naturel. Il est clair que pour les rivières en tresses ou à forte énergie, il ne peut résister aux effets dévastateurs des crues. Il paraît en revanche bien adapté pour les écoulements plus lents ou pour les têtes de bassin à énergie modérée. Toutefois, des points de vigilances sont à signaler.

Les points de plus grande fragilité sont les soudures de jonction entre les fils du câble et la sonde. Le câble est lui même conçu dans une matière moyennement robuste, peu adaptée aux contraintes auxquelles il peut être soumis (usure par frottement). Le mode d'attachement de la sonde sur le piquet mérite d'être revu pour mieux la fixer et l'empêcher de coulisser dans la cornière et de se détacher trop aisément. Alternativement, ils pourraient être déployés dans des piézomètres installés dans le lit des cours d'eau.

Le joint du couvercle du boîtier de protection ainsi que l'entrée du câble dans celui-ci doivent être bien graissés et bien vissés pour éviter l'entrée d'humidité à l'intérieur.
Les colliers maintenant le câble et le boîtier de protection aux troncs ou aux branches ne doivent, eux, pas être trop serrés surtout quand il s'agit d'arbustes à croissance rapide.
Le câble doit être si possible enfoncé dans le sédiment ou recouvert de pierres afin d'éviter que des objets flottants ou entraînés par le courant ne viennent s'y accrocher.

Un grand soin doit être apporté au choix de l'emplacement de la sonde dans le lit de la rivière, notamment pour que le point de pose soit bien représentatif de la zone d'écoulement de l'eau. Au besoin, il peut être nécessaire de placer plusieurs capteurs dans la station.

7) Références

Arnell N. W. 1999. Climate change and global water resources. Global Environmental Change 9, S31–S46

Arscott D.B., Larned S., Scarsbrook M.R., & Lambert P. 2010. Aquatic invertebrate community structure along an intermittence gradient: Selwyn River, New Zealand. Journal of the North American Benthological Society 29(2), 530-545

Bénichou P. & Le Breton O. 1987. Prise en compte de la topographie pour la cartographie des champs pluviométriques statistiques. La Météorologie, vol. VII, n° 19, pp. 23-34.

Bernard T., & Moetapele N. 2005. Desiccation of the Gomoti River: Biophysical process and indigenous resource management in Northern Botswana. Journal of Arid Environments 63(1): 256-283

Boé, J., L. Terray, E. Martin, & F. Habets F. 2009. Projected changes in components of the hydrological cycle in French river basins during the 21st century, Water Resour. Res. 45, W08426, doi:10.1029/2008WR007437.

Bonada N., Rieradevall M., and Pratt N., 2007. Macroinvertebrate community structure and biological traits related to flow permanence in a Mediterranean river network. Hydrobiologia 589(1): 91-106.

Boulton, A.J., Lake P.S., 1988. Australian temporary streams - some ecological characteristics Verhandlungen der internationalen Vereingung fur theoretische und angewandte Limnologie 23: 1380-1383

Breiman, L., J. H. Friedman, R. Olshen and C. J. Stone, 1984. Classification and Regression Trees Wadsworth, Belmont, California.

Breiman, L., 2001. Random Forests. Machine Learning 45(1):5-32

Chester, E.T. & Robson, B.J., 2011. Drought refuges, spatial scale and recolonisation by invertebrates in non-perennial streams. Freshwater Biology 56: 2094–2104.

Cigizoglu H.K., Bayazıt M. & Önöz B., 2005. Trends on the maximum, mean and low flows of Turkish rivers. Journal of Hydrometeorology 6, 280–295

Cutler, D. R., J. T. C. Edwards, K. H. Beard, A. Cutler, K. T. Hess, J. Gibson and J. J. Lawler. 2007. Random Forests for Classification in Ecology. *Ecology* 88(11):2783–2792.

Datry T., Larned S.T., & Scarsbrook M.R. 2007. Responses of hyporheic invertebrate assemblages to large-scale variation in flow permanence and surface-subsurface exchange. Freshwater Biology 52, 1452-1462

Datry T., & Larned, S.T., 2008. River flow controls ecological processes and invertebrate assemblages in subsurface flowpaths of an ephemeral river reach. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 65(8):1532-1544

Datry T., Lafont M. & Larned S., 2010. Oligochaete assemblages along a flow permanence gradient in a New Zealand intermittent river.- Aquatic Sciences 72(3), 335-346

Datry T., Arscott D. & S. Sabater 2011a. Recent Perspective on temporary river ecology. Aquatic Sciences 73, 453-457

Datry T., Corti R., Claret C., & Philippe M. 2011b. Leaf litter decomposition along a gradient of flow permanence in a French temporary river: the memory of drying. Aquatic Sciences 73, 471–483

Datry T., 2012. Benthic and hyporheic invertebrate assemblages along a flow intermittence gradient: effects of duration of dry events. Freshwater Biology, doi:10.1111/j.1365-2427.2011.02725.x

Davey A.J.H. & Kelly D.J., 2007. Fish community responses to drying disturbances in an intermittent stream: a landscape perspective. Freshwater Biology 52, 1719-1733.

Dieterich M., & Anderson N.H., 2000. The invertebrate fauna of summer-dry streams in western Oregon. Archiv für Hydrobiologie 147(3) : 273-295.

Friedman, J. H. & J. J. Meulman, 2003. Multiple Additive Regression Trees with Application in Epidemiology. Statistics in Medicine 22:1365-1381

Giuntoli, I., & Renard, B., 2010. Identification des impacts hydrologiques du changement climatique : constitution d'un réseau de référence pour la surveillance des étiages. Rapport d'étude Cemagref. 106 pages.

Hastie, T., R. Tibshirani & J. H. Friedman, 2001. The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction. Springer-Verlag, New York.

Jones R.N., McMahon T.A, & Bowler J.M., 2001. Modelling historical lake levels and recent climate change at three closed lakes, Western Victoria, Australia (c.1840 – 1990). Journal of Hydrology 246, 159-180

Kobayashi K, & Salam MU, 2000. Comparing simulated and measured values using mean squared deviation and its components. Agronomy Journal 92, 345–52.

Laaha G., Sauquet E., Hisdla H., Kroll C., Van Lanen H., Tallasken L., and Wood R., 2010. FRIEND's contribution to the PUB Benchmark Assessment Report on low flow estimation. Global Change: Facing Risks and Threats to Water Resources (Proc. of the Sixth World FRIEND Conference, Fez, Morocco, October 2010). IAHS Publ. 340, 2010.

Larned S.T., Datry T., Arscott D.B., & Tockner K. 2010. Emerging concepts in temporary-river ecology. Freshwater Biology 55, 717-738

Larned S.T., Schmidt J., Datry T., Konrad C.P., Dumas J.K., & Diettrich J.C. 2011. Longitudinal river ecohydrology: flow variation down the lengths of alluvial rivers. Ecohydrology 4, 532–548.

Legier P. & Talin J. , 1973. Comparaison de ruisseaux permanents et temporaires de la Provence Calcaire. Annales de Limnologie 9 :273-292.

McCluney K.E. & Sabo J.L., 2011. River drying lowers the diversity and alters the composition of an assemblage of desert riparian arthropods. Freshwater Biology 57, 91-103.

Meyer A., Meyer E.I., & Meyer C., 2000. Lotic communities of two small temporary karstic stream systems (East Westphalia, Germany) along a longitudinal gradient of hydrological intermittency. Limnologica 33(4): 271-279.

Nadeau T.L., & Rains M.C., 2007. Hydrological connectivity of headwaters to downstream waters: introduction to the featured collection. Journal of the American Water Resources Association 43(1): 1-4.

Pella, H., Lejot, J., & Lamouroux, N., 2012. Le réseau hydrographique théorique (RHT) français et ses attributs environnementaux. Géomorphologie : relief, processus, environnement (in press).

Pella, H., Chandesris, A., & Wasson, J.G., 2004. Constitution d'un système d'information à référence spatiale dans le contexte de Directive Cadre Européenne sur l'Eau, Ingénieries-EAT, n° 46, p. 3-14.

Rupp D.E, Larned S.T., Arscott D.B., & Schmidt J., 2008. Reconstruction of a daily flow record along a hydrologically complex alluvial river. Journal of Hydrology 359, 88-104

Santos A.N., & Stevenson R.D., 2011. Comparison of macroinvertebrate diversity and community structure among perennial and non-perennial headwater streams. Northeastern Naturalist 18(1):7-26.

Sauquet, E. & Catalogne, C., 2011. Comparison of catchment grouping methods for flow duration curve estimation at ungauged sites in France. Hydrology and Earth System Sciences Discussions 15:2421-2435.

Sauquet E., & Haond M. 2003. Examen de la stationnarité des écoulements du Rhône en lien avec la variabilité climatique et les actions humaines. Actes du colloque " Barrages et développement durable en France ", 18 novembre 2003, Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable, Paris, France, Cemagref Ed., 261-270.

Snelder T.H., Lamouroux N., Leathwick J.R., Pella H., Sauquet E., Shankar U. 2009. Predictive mapping of natural flow regimes. Journal of Hydrology 373: 57-67.

Stanley E.H., Buschman D.L., Boulton A.J., Grimm N.B., & Fisher S.G. 1994. Invertebrate resistance and resilience to intermittency in a desert stream. American Midland Naturalist 131, 18-30

Stromberg J. C., Bagstad K. J., Leenhouts J. M., Lite S. J. & Makings E. 2005. Effects of increased stream flow intermittency on channel vegetation of a semi-arid region river (San Pedro River, Arizona). River Research Applications 21, 1–14

Svetnik, V., Liaw, A. , Tong, C & Wang, T., 2004. Application of Breiman's random forest to modeling structure-activity relationships of pharmaceutical molecules. Multiple Classier Systems, Fifth International Workshop, 3077, 334-343

Williams D.D., & Hynes H.B.N., 1977. The ecology of temporary streams. II. General remarks on temporary streams. Int. Rev. Ges. Hydrobiol., 62:53-61.

Williams D. D., 2006. The biology of temporary waters. First edition. Oxford University Press, Oxford, UK. 337 pp.

Zhang Q., Jiang T., & Germmer M. 2005. Precipitation, temperature and discharge analysis from 1951 to 2002 in the Yangtze River basin, China. Hydrological Sciences Journal 50(1), 65–80

9) Synthèse opérationnelle

Contexte et enjeux

Les cours d'eau temporaires (CETs) sont très répandus en France et à travers le monde. Une récente évaluation des CETs aux USA montre que les rivières intermittentes représentent au moins 59 % du linéaire total des cours d'eau, soit pas moins de 3 200 000 km. En France, une rapide interrogation de la banque de données sur les débits des rivières, la Banque Hydro, suggère également que de nombreux cours d'eau subissent des assecs.

Le nombre et la longueur des CETs sont amenés à s'accroître sur certaines régions en réponse au réchauffement climatique et à la demande croissante en eau. Les analyses disponibles de chroniques de débits ont révélé des tendances de déclin dans plusieurs régions du monde. La sévérité de l'intermittence dans les cours d'eau va donc augmenter dans les régions subissant une tendance vers l'assèchement, et des cours d'eau pérennes vont petit à petit devenir temporaires. En France, les scénarios des modèles climatiques prédisent une décroissance globale des débits moyens, notamment dans la moitié Sud de la France, ainsi qu'une forte augmentation des sécheresses.

Jusqu'à présent, les cours d'eau temporaires n'ont guère attiré l'attention des gestionnaires ni des scientifiques et bénéficient d'une attention insuffisante dans les politiques et les législations liées à la gestion de l'eau. Ainsi, ni la Clean Water Act aux USA, ni la Loi sur l'Eau de 2006 ou la Directive Cadre Européenne ne reconnaissent spécifiquement l'existence de CETs. En France, les assèchements sont principalement appréhendés comme des indicateurs de tension sur la ressource (RDOE : Réseau Départemental d'Observation des Etiages), voire comme des déclencheurs de crise (ROCA : Réseau d'Observation des Crises d'Assecs ; les deux réseaux étant maintenant unifiés au sein de ONDE, l'Observatoire National des Etiages). De plus, aucun outil d'évaluation de l'état écologique des CETs n'est actuellement disponible. Ce constat reflète sans doute notre manque de connaissance, que ce soit dans leur importance quantitative, leur fonctionnement écologique ou leur biodiversité.

Pourtant, les relations quantitatives entre intermittence et écologie suggèrent fortement que les évaluations du fonctionnement écologique, de la biodiversité et de l'état écologique des CETs devraient être adossées aux caractéristiques temporelles des assèchements. Cela implique donc de déterminer les durées et les fréquences d'assèchement des sites de prélèvements, de suivis ou d'études

L'étude présentée dans cette synthèse a pour objectif d'améliorer les connaissances sur les assèchements des cours d'eau dans le temps et l'espace et sur les méthodes d'observation de l'intermittence. Elle a permis, à partir d'une analyse statistique critique des chroniques de la Banque Hydro et de tests de capteurs spécifiques, de mettre en évidence trois résultats :

- La cartographie des cours d'eau intermittents de la Banque Hydro montre que les cours d'eau temporaires ne sont pas cantonnés aux seules régions méridionales ;
- La modélisation des durées et fréquences d'assèchements à partir des données de débit disponibles reste difficile ; des données supplémentaires via un réseau spécifique de suivi d'intermittence tels que l'Observatoire National Des Etiages (ONDE) apporteraient certainement un complément utile ;
- Des capteurs de présence-absence d'eau pourraient être utilisés pour suivre les assèchements sur les petits et moyens cours d'eau afin de mieux en comprendre leur fonctionnement, en complément des observations visuelles du réseau de suivi ONDE.

1) **les cours d'eau temporaires ne sont pas cantonnés aux seules régions méridionales**

Comme le montre la carte ci-dessous sur les 628 stations utilisées dans l'étude (retenues pour leur qualité hydrométrique et leur caractère non influencé) (**Figure 1**), les assèchements estivaux sont clairement présents dans toutes les régions de France.

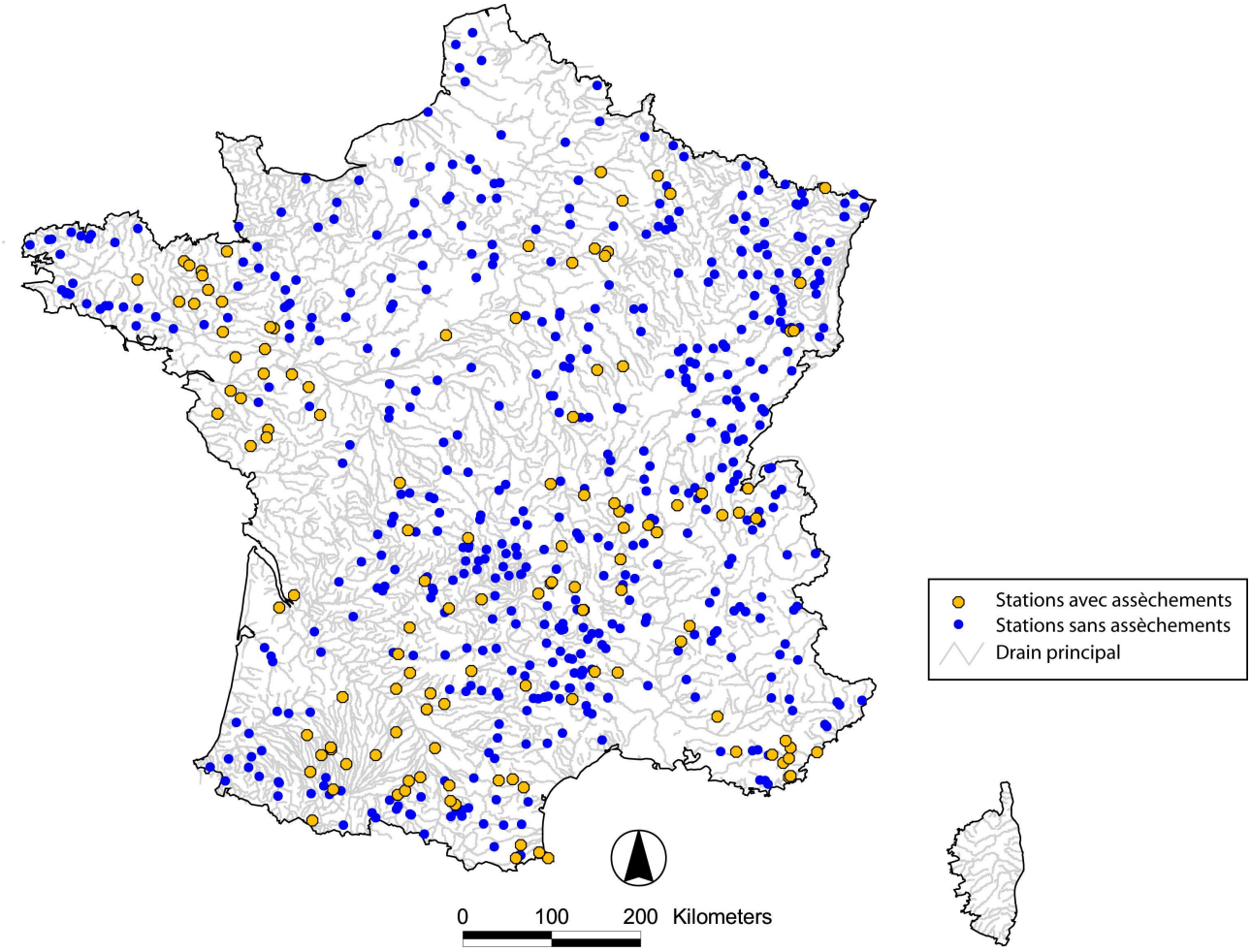


Figure 1. Stations hydrométriques retenues sans (bleu) et avec assèchements (jaune) sur le drain principal français.

Au total, 20 % des stations retenues montrent des assèchements. Sachant que la plupart des petits cours d'eau et les cours d'eau plus grands mais asséchés de manière fréquente ne sont pas équipés en station de jaugeage, ce pourcentage est sans doute sous-estimé. De plus, l'échantillon de stations n'est pas représentatif des cours d'eau métropolitains en termes de distribution des caractéristiques hydrographiques (surface, climat, ...), de densité régionale, etc. Mais le résultat a l'intérêt de balayer le lieu commun selon lequel les cours d'eau qui s'assèchent seraient l'apanage des seules régions méridionales.

Des facteurs explicatifs ont été recherchés, afin de tenter de reconstruire statistiquement la probabilité d'un tronçon d'être intermittent.

2) La modélisation de la probabilité d'occurrence, des durées et fréquences d'assèchements à l'échelle du tronçon de rivière est difficile

Contrairement à d'autres caractéristiques des régimes hydrologiques (comme les étiages), les assèchements sont plus difficilement prédictibles en utilisant des facteurs liés au milieu et au climat. La modélisation statistique de l'occurrence des assecs montre que les performances en terme de bonne attribution sont pauvres (dans 64 % de cas, le modèle ne peut pas prédire l'existence d'assèchements sur une station hydrométrique). Dès lors, il est difficile de conclure sur les prédicteurs les plus puissants dont le classement par ordre de pouvoir explicatif a placé en premier la pluie, les températures minimum et maximum annuelles de l'air, un facteur de forme (voisin de l'étirement longitudinal du bassin) et de façon plus mineure : la surface de bassin versant, puis le taux de différence entre précipitations hivernales et estivales.

La modélisation des durées et fréquences d'assèchements montre également que le comportement temporel des assèchements est difficile à relier aux facteurs explicatifs testés. La similarité spatiale des régimes hydrologiques observée pour les étiages ne se retrouve donc pas dans le cas des assèchements. Ce constat suggère fortement de continuer à développer des réseaux de mesures/suivis/observations des assèchements indépendants des réseaux actuellement déployés pour suivre le débit des rivières en France tels que l'observatoire National Des Etiages (ONDE).

S'il n'est pas possible de prédire avec robustesse les assèchements à l'échelle des tronçons à partir de l'utilisation des données de la Banque Hydro et de variables de bassins, il semble toutefois envisageable de prédire un risque d'assèchement à un grain plus grossier (e.g., région, bassin). Toutefois, d'autres analyses sont nécessaires pour déterminer ce grain et l'échelle spatiale à laquelle la prédiction de risques d'assèchement pourrait être pertinente.

3) Les capteurs de présence-absence d'eau pourraient être utilisés pour suivre les assèchements sur les petits et moyens cours d'eau

Dans le cadre de cette étude, des capteurs de détection d'eau utilisés aux Etats-Unis ont été testés sur plusieurs rivières du Sud Est de la France et dans la Vienne. Simples de conception et faciles à utiliser, ces capteurs Hobo (Figures 2 et 3) n'en restent pas moins fragiles pour une utilisation en milieu naturel. Ainsi, ils ne résistent pas aux effets dévastateurs des crues des rivières en tresses ou à forte énergie. Ils paraissent en revanche bien adaptés pour les écoulements plus lents ou pour les têtes de bassin à énergie modérée, avec toutefois les points de vigilance suivants :

- Oscillation chaotique des valeurs (il est nécessaire parfois de filtrer les chroniques obtenues)
- Etanchéité du boîtier (il est possible de l'améliorer en utilisant de la graisse synthétique)
- Dispositif de fixation et protection contre les déprédations (il est conseillé de fixer le capteur à une tige de métal pénétrant d'au moins 30 cm dans le substrat).

Figure 2 : Capteur de présence d'eau Hobo

Figure 3 : Position de la sonde *in situ*. En fait, la sonde doit affleurer le sédiment mais elle est ici positionnée plus haut que le piquet, contrairement à l'usage, afin qu'on la distingue mieux sur la photo

8) Annexes

ONDE

Observatoire National Des Etiages

Test de capteurs d'eau USGS sur les stations ONDE

Décembre 2011

Bénédicte DUROZOI et Céline NOWAK

1) CONTEXTE ET OBJECTIFS DU PROJET ONDE

1.1) Contexte

Selon la directive cadre européenne (DCE) 2000/60/CE, l'état d'une masse d'eau de surface comprend deux aspects: un état écologique et un état chimique. L'état écologique est évalué à partir d'éléments de qualité biologiques (poissons, invertébrés, diatomées…), physico-chimiques (phosphore, nitrate, pH…) et hydromorphologiques, le régime hydrologique.

Le ministère de l'écologie et du développement durable (MEDD) à mis en œuvre en 2004 un "plan d'action sécheresse" national visant à minimiser les impacts des crises hydroclimatiques, telles que celle connue en 2003. Ce plan s'articule autour de 3 axes : anticiper la crise, améliorer la gestion de crise et lutter contre les déséquilibres demande/ressource en eau. Dans ce cadre, l'ancien Conseil Supérieur de la Pêche (aujourd'hui ONEMA) a développé en 2004 un dispositif d'observation des assecs, appelé Réseau d'Observation de Crise des Assecs (ROCA), permettant de compléter les informations existantes (débits et piézomètres) dont les préfets disposent pour gérer la crise.

Parallèlement à ce réseau ROCA, il existe dans certaines régions (ex: Centre, Poitou-Charentes) un Réseau Départemental d'Observations des Ecoulements (RDOE) qui permet de suivre l'évolution des phénomènes d'étiages, d'identifier les bassins versants les plus touchés et de constituer ainsi par les chroniques de données récoltées un outil d'aide à la gestion de crise.

Les premières années de mise en œuvre de ces deux réseaux ont montré une hétérogénéité nationale importante selon les départements. Il est donc nécessaire d'harmoniser les pratiques et d'apporter des améliorations dans la mise en place du protocole en passant par la création d'un nouvel observatoire national des étiages (ONDE).

1.2) Objectifs de onde

Le nouvel outil ONDE, observatoire nationale des étiages, présente deux objectifs :

Constituer un réseau stable de connaissance

=> ONDE doit être représentatif des situations hydrographiques du département, stable dans le temps afin de constituer des chroniques de données, non redondant avec les suivis déjà existants et permettre le suivi des phénomènes d'étiages, de leur fréquence d'apparition et leur intensité. A long terme, ONDE doit pouvoir alimenter l'aide à la réflexion sur les relations nappes/rivières ou hydrologie/biologie (poissons/hydro).

Devenir un outil d'aide à la gestion de crise

=> ONDE doit fournir des informations sur les problèmes d'écoulement des cours d'eau, complémentaires des réseaux déjà existants (HYDRO, ADES), afin d'aider les politiques à l'anticipation et la gestion des périodes de crise.

1.3) Test ONDE en 2011

Afin de juger de la pertinence du réseau ONDE avant un déploiement national prévu en 2012, une phase de test a été programmée en 2011 sur 9 départements en France dont le département de la Vienne en Poitou-Charentes.

Le réseau ONDE est bâti sur la base d'un réseau dit « usuel », constitué au minimum de 30 stations par département qui vise plus particulièrement à répondre à l'objectif de constitution d'un réseau stable de connaissance. Les stations usuelles doivent être représentatives des situations hydrographiques du département et stables dans le temps de manière à constituer un jeu de données historiques permettant l'estimation de l'intensité des étiages estivaux par comparaison des informations obtenues avec celles des années précédentes. Parmi ces stations certaines sont identifiées "gestion de crise ", stations pour lesquelles une fréquence de suivi plus importante pourra être mise en œuvre à la demande du préfet de département (MISE) et selon le contexte départemental.

La période de suivi des stations est de mai jusqu'à septembre, seul un retour à la normale justifiera un arrêt du suivi. L'écoulement des cours d'eau est apprécié de manière visuelle par les agents de terrain selon 3 (exploitation nationale) ou 4 modalités (exploitation plus locale): 1-écoulement visible acceptable, 2-écoulement visible faible, 3-écoulement non visible et 4-assec. La fréquence de suivi des stations est une fois par mois.

2) TEST DES CAPTEURS

Dans le cadre de la mise en place de ONDE et du test du protocole en 2011, une opération de test de capteurs d'eau a été réalisée en collaboration avec l'unité de recherche "milieux aquatiques, écologie et pollutions" de l'IRSTEA de Lyon.

Les capteurs d'eau USGS permettent de détecter la présence d'eau sur un point de suivi du cours d'eau. Positionné à la surface des sédiments dans le lit du cours d'eau, l'appareil fonctionne en mode "binaire": 1 = présence d'eau (statut "on"), 0 = absence d'eau (statut "off"). En 2011, 5 capteurs, fournis par l'IRSTEA, ont été positionnés sur des stations ONDE du département de la Vienne (86). Une fois positionnés, les capteurs enregistrent la présence/absence d'eau toutes les heures.

L'objectif de ce test est de déterminer si la mise en place de capteurs sur certaines stations permet d'apporter des informations complémentaires aux observations de terrain des agents. Dans le suivi usuel du protocole ONDE, l'écoulement des cours d'eau est apprécié visuellement une fois par mois de mai à septembre. L'évolution des conditions hydrauliques des cours d'eau entre deux prospections consécutives étant inconnu, les capteurs peuvent-ils nous apporter des précisions supplémentaires ?

Les stations suivies

Cinq stations ONDE du département de la Vienne ont été équipées de capteurs USGS en 2011. Ces cinq stations sont situées sur des petits cours d'eau de plaine, de tête de bassin versant, particulièrement sensibles aux assecs (dus aux pressions anthropiques). Les capteurs ont été placés sur chaque site durant 6 mois, du 26 juin au 14 décembre 2011 (Tableau 1). Le pas de temps d'enregistrement des données est de toutes les heures.

Tableau 1 : Liste des stations ONDE équipées en 2011, dates de pose et de relève des capteurs.

dép.	code station ONDE	nom station	localisation	X (LII)	Y (LII)	date pose	heure pose	date relève	heure relève
86	**86000105**	**La Belle à Magné**	**Puy rabier**	**452369**	**2262095**	**21/06/2011**	**10:25**	**14/12/2011**	**17:00**
86	**86000102**	**Les Pluches à Usson-du-poitou**	**pont D727**	**461041**	**2143555**	**21/06/2011**	**11:25**	**14/12/2011**	**10:45**
86	**86000029**	**La Fontegrive à Sommières du clain**	**chanteran**	**447038**	**2141981**	**21/06/2011**	**12:00**	**14/12/2011**	**10:00**
86	**86000008**	**La Dive de Couhé à couhé**	**abattoir**	**433701**	**2146688**	**21/06/2011**	**13:00**	**14/12/2011**	**12:15**
86	**86000110**	**Le Linazay à St-Macoux**	**pont D103**	**437526**	**2126973**	**21/06/2011**	**13:45**	**14/12/2011**	**15:10**

Résultats

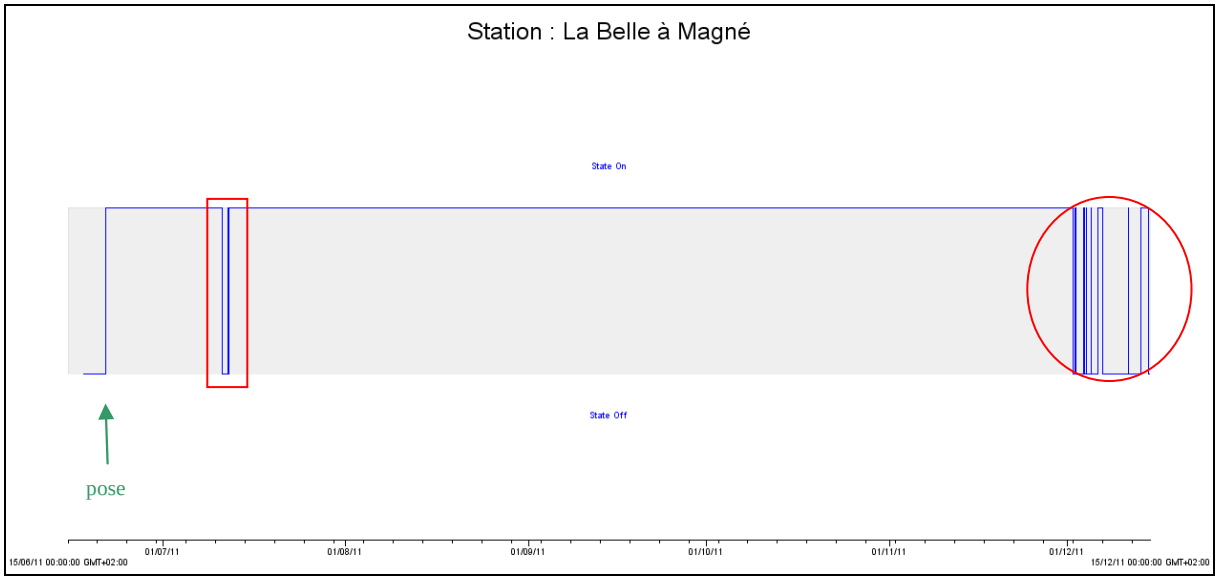
Les résultats des capteurs sont détaillés station par station. Les résultats du suivi du réseau ONDE sont présentés dans le Tableau 2 afin de comparer les données des capteurs et les observations terrain des agents ONEMA.

Tableau 2 : Résultats du suivi ONDE sur les 5 stations équipées de capteurs pour l'année 2011.

dept	code station ONDE	nom station	localisation	Observations ONDE (4 modalités d'observation)					
				25-mai	29-juin	27-juil	30-aout	30-sept	27-oct
86	**86000105**	**La Belle à Magné**	**Puy rabier**	**2**	**2**	**1**	**1**	**1**	**1**

86	86000102	Les Pluches à Usson-du-poitou	pont D727	4	4	4	4	4	4
86	86000029	La Fontegrive à Sommières du clain	chanteran	4	4	4	4	4	4
86	86000008	La Dive de Couhé à couhé	abattoir	1	2	3	3	3	3
86	86000110	Le Linazay à St-Macoux	pont D103	4	4	4	3	3	3

STATION 1 : LA BELLE A MAGNE



Lors de la pose le 21 juin sur la station la Belle à Magné, le capteur détecte bien la présence d'eau et passe en statut "on" (présence d'eau). Entre le 11 et le 12 juillet, le capteur change de statut et passe en mode "off" signifiant un assèchement au point de suivi.
Lors des prospections ONDE effectuées le 29 juin, l'écoulement était qualifié de visible mais de faible (modalité 2). Lors de la prospection suivante le 27 juillet, la station avait retrouvée un écoulement visible acceptable (modalité 1).

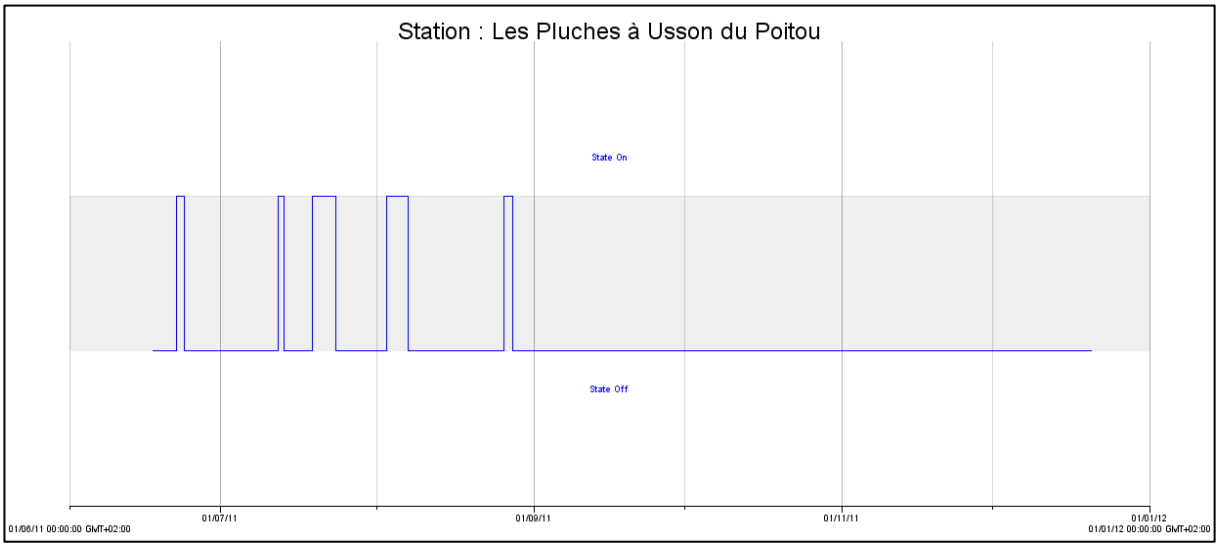
Les données du capteur semblent donc indiquer qu'entre les deux prospections ONDE, une diminution du niveau d'eau a été détectée. La station semble être passée par une journée plus critique avec une rupture d'écoulement avant de retrouver un écoulement satisfaisant fin juillet. Ces informations seront confrontées avec les données de pluviométrie afin de conforter ces hypothèses.

La chronique des données enregistrées sur la Belle montrent parfois des dysfonctionnements. L'enregistrement des données ne s'effectue plus toutes les heures mais toutes les secondes avec une alternance de statut du capteur (0/1) toutes les secondes. Ce "bug" est-il lié à un dysfonctionnement même du capteur ? À la présence de précipitations sans réelle reprise de l'écoulement dans le cours

d'eau ? Le capteur est-il en limite d'utilisation : zone intermédiaire entre un recouvrement total ou partiel du capteur par une couche d'eau ?

A partir du 2 décembre, les données deviennent plus complexes avec une alternance de régulière de passage en statut "on" et "off" (parfois toutes les secondes comme mentionné ci dessus) alors que les observations ONDE indiquent un retour à un écoulement normal depuis le 27 juillet. Sur la Belle à Magné, le capteur a subi des dégradations (câble coupé, sûrement du à un rongeur). Le type de données observées en fin d'année est-il du à la rupture de ce câble ? Avec le fonctionnement actuel du capteur, il n'est pas possible de discerner un problème technique d'enregistrement d'une rupture d'écoulement, le capteur passe dans les deux cas en mode "off" (absence d'eau).

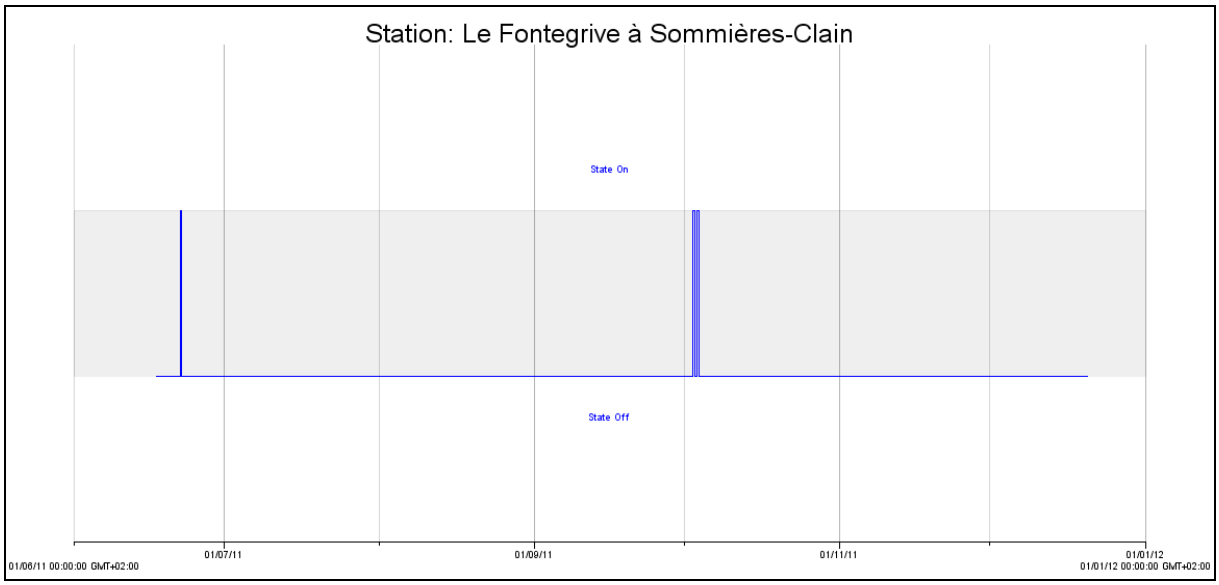
STATION 2 : LES PLUCHES A USSON DU POITOU



Lors de la pose du capteur le 21 juin, la station des Pluches est complètement à sec. Aucune reprise d'écoulement n'a été observée pendant toute la période de prospection d'ONDE (de mai à octobre).

Hors les données enregistrées par le capteur montrent des retours en eau sur des périodes de 48 à 72h sur la première période de suivi (de juin à fin août). En regardant en détails les informations enregistrées, ce changement d'état du capteur est toujours suivi de phase de dysfonctionnement comme détaillée sur la station la belle à Magné (enregistrement toutes les secondes, avec alternance toutes les secondes de statut "on" (1) au statut "off" (0)). Ces statuts "on" correspond-ils à une réelle présence d'eau au point de suivi ou est-ce une limite d'utilisation du capteur ?

STATION 3 : LE FONTEGRIVE A SOMMIERES DU CLAIN

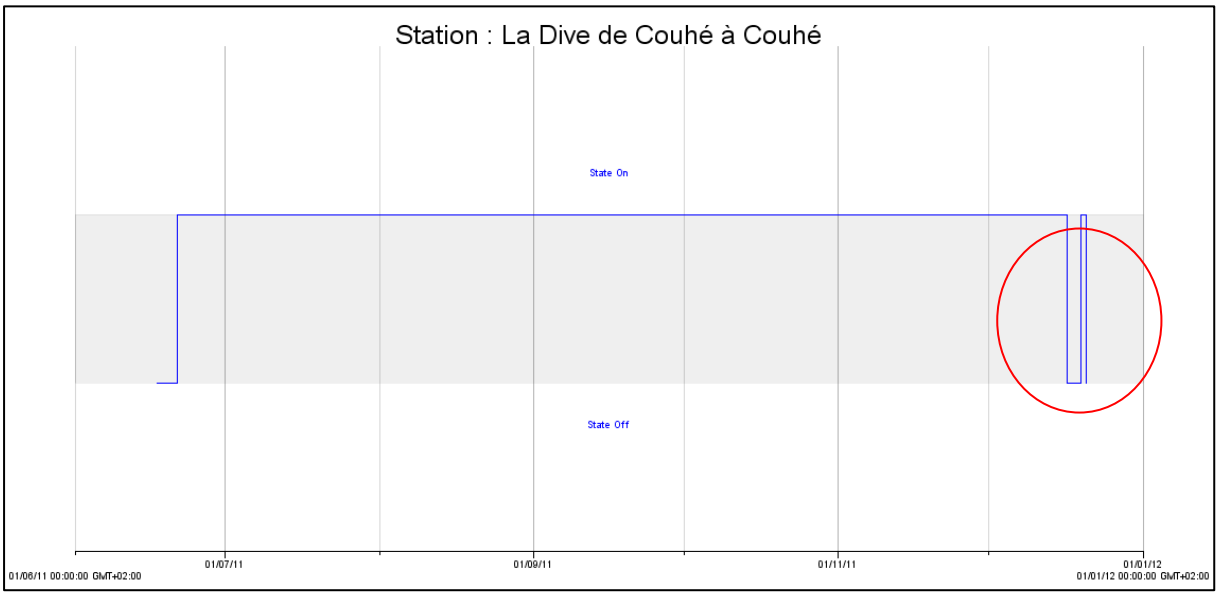


La station 3, le Fontegrive à Sommières du Clain, présente les mêmes résultats que le ruisseau des Pluches. La station était déjà à sec lors de la pose des capteurs le 21 juin et aucune reprise de l'écoulement n'a été observée durant les périodes de prospection de ONDE. Les données des enregistreurs montrent des périodes de retour en eau de quelques heures précédées ou suivies de période de dysfonctionnement. Ces statuts "on" correspond-ils à une réelle présence d'eau au point de suivi ou est-ce une limite d'utilisation du capteur ?

Sur les deux stations : les Pluches et le Fontegrive, les données des capteurs sont cohérentes avec les observations ONDE faite sur une journée.

Une fois les limites d'utilisation du capteur bien identifiées, ce type de données peut donc nous apporter des informations sur l'évolution des écoulements entre deux prospections ONDE. Mais cela soulève la question du positionnement du capteur sur la station. La position du capteur sur le lit du cours d'eau est déterminante pour l'interprétation des résultats et pour les informations que l'on souhaite obtenir (si le capteur est positionné dans une fosse ou sur une zone de plat courant ou radier, les informations sur l'écoulement global de la station seront différentes)

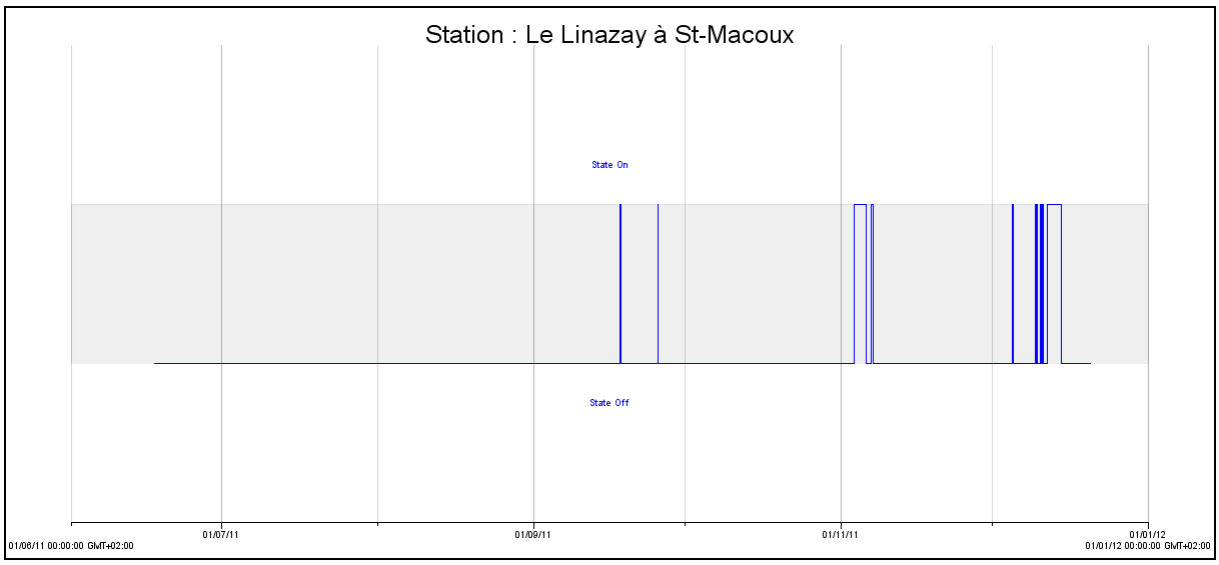
STATION 4 : LA DIVE DE COUHE A COUHE



Lors de la pose, le capteur discerne bien la présence d'eau sur le cours d'eau et passe en statut "on". Sur le graphique, les mêmes dysfonctionnements que précédemment sont observés (alternance rapide des statuts "0" et "1", parfois toutes les secondes) alors que le capteur n'est plus sur site, mais en attente de traitement au bureau. Ce capteur correspond à un capteur où de l'humidité a été observée à l'intérieur du boitier de l'enregistreur. Cela pourrait donc confirmer l'hypothèse que les dysfonctionnements observés sur l'ensemble des chroniques de données correspondent à une limite du capteur. L'humidité est détectée mais pas assez avérée pour faire basculer le capteur en statut "1" permanent.

Les données du capteur montrent un statut en eau tout au long de la période de suivi. Les résultats des campagnes de suivi ONDE sur la Dive de Couhé montre une alternance des écoulements en modalités 1, 2 ou 3. On ne retrouve donc pas ici ce niveau d'informations: ces capteurs sont utiles pour différencier les situations extrêmes (assec/ écoulement) mais pas les situations intermédiaires.

STATION 5 : LE LINAZAY A ST MACOUX



Lors des observations ONDE du Linazay à St-Macoux, la station en assec du 25 mai au 27 juillet. La campagne de fin août montre une amélioration de la situation hydrologique et qualifie la station en rupture d'écoulement (modalité 3). Ce passage en rupture d'écoulement n'est pas détecté par le capteur, du sûrement à la position du capteur sur le cours d'eau. Le premier changement de statut du capteur (station "on") apparaît le 18 septembre, sur une durée de 12h.

Les mêmes types de "bug" que précédemment sont observées dans la chronique de données à partir du 25 septembre (alternance de statut "on" et "off" avec changement toutes les secondes). Selon les observations faites pour la station de la Dive, cela serait du à une présence d'humidité au point de suivi mais pas suffisante mais faire basculer le capteur en statut "on". Mais ces hypothèses doivent être vérifiées par des tests plus poussés qui permettraient de mieux définir les limites des capteurs et notamment si les capteurs peuvent être déclenchés en statut "on" avec la pluie.

3) CONCLUSION

Les résultats obtenus avec les capteurs USGS sont cohérents avec les observations faites lors des prospections ONDE. Ces capteurs sont peu onéreux, facile d'utilisation et de mise en œuvre. Aucun vol n'a été déploré. Par contre, une attention particulière doit être apportée lors de la mise en place des capteurs sur le cours d'eau pour prévenir de la dégradation du matériel par la faune locale. Le mode d'acquisition actuelle des capteurs ne permet pas de distinguer un problème technique d'enregistrement d'une absence d'eau sur le cours d'eau (statu "off" dans les deux cas).

Les limites de déclenchement des capteurs (passage du statut "on : 1" à "off: 2") doivent être précisées suite aux dysfonctionnements observés régulièrement dans les chroniques de données (alternance du statut "on" / "off" toutes les secondes). Une fois ces limites précisées, les capteurs sont intéressants pour distinguer les situations extrêmes : cours d'eau en assec et en écoulement normal. Les situations intermédiaires sont plus difficilement identifiables avec ce système et sont fortement dépendantes de la position du capteur dans le lit du cours d'eau. Ce positionnement du capteur doit donc bien être réfléchi en amont en fonction des informations attendues. De plus, ce type de capteur peut-être intéressant dans le cadre d'ONDE pour des stations qui ne pourraient être suivies par des agents de terrain faute de moyens.