HAL open science

Détermination des Écoulements et des Phases Hydrologiques (DEPHy)

Gilles Drogue, Julien Plasse, Didier Francois, Claire Lang-Delus, Vincent Fister, Emmanuel Gille, Luc Manceau

To cite this version:

Gilles Drogue, Julien Plasse, Didier Francois, Claire Lang-Delus, Vincent Fister, et al.. Détermination des Écoulements et des Phases Hydrologiques (DEPHy). [Rapport de recherche] CEGUM, Université de Lorraine; Agence de l'Eau Rhin-Meuse. 2012. hal-02865882

HAL Id: hal-02865882

https://hal.science/hal-02865882v1

Submitted on 12 Jun 2020

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

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

Détermination des Ecoulements et des Phases Hydrologiques (DEPHy)

Convention AERM/UL n°11C57092

-

Rapport final

(septembre 2012)

Responsable scientifique : *G. Drogue (gilles.drogue@univ-lorraine.fr), Maître de Conférences (UL)*

Chargé d'études *: J. Plasse (julien.plasse@univ-lorraine.fr), Ingénieur d'Etudes (UL)*

Equipe R&D*: G. Drogue, V. Fister, D. François, E. Gille, J. Plasse, L. Manceau (CEGUM, UL)*

Associée *: C. Lang-Delus (CERPA, UL)*

Comité de pilotage (Copil) :

C. Conan, chargé de projets modélisation, AERM

P. Maire, chargé de mission AERM

P. Battaglia, Chef du pôle « Hydrométrie et réseaux de mesures » à la DREAL Lorraine

Sommaire

I. Introduction générale 6
I.1 Préambule et construction du rapport 6
I.2 Définition du projet et calendrier 6
I.3 Contexte et problématique 7
I.4 Objectifs scientifiques et opérationnels 8
I.5 Zone d'étude 8
II. Collecte, critique et pré-traitement des données 9
II.1 Les stations de mesure physico-chimiques 9
II.2 L'information hydrométrique 10
II.2.1 Les stations hydrométriques pérennes 10
II.2.2 Les données hydrométriques ponctuelles 11
II.3 La climatologie SAFRAN 11
II.4 Les descripteurs physiques des bassins versants 12
II.4.1 Les données géologiques 12
II.4.2 Etat du patrimoine de données 13
II.4.3 Construction d'un plan de drainage et délimitation des bassins-versants 15
III. Mise en œuvre de GR4J et constitution d'une bibliothèque régionale de paramètres 16
III.1 Choix méthodologique 16
III.2 Choix de la période de référence 17
III.3 Pré-traitement et suppression de stations hydrométriques influencées 17
III.4 Efficacité du modèle GR4J en calage/contrôle 18
III.5 Constitution de la bibliothèque régionale de paramètres 19
IV. Application de la méthode par transposition spatiale des paramètres de GR4J 22
IV.1 Choix méthodologique 22
IV.2 Optimisation et application de la méthode 24
V. Apport de l'information issue des jaugeages ponctuels dans la méthode par transposition 33
V.1 Inventaire et variabilité temporelle des jaugeages épisodiques 33
V.2 Validation des jaugeages ponctuels à l'aide de la station hydrométrique voisine à la station RCS 36

V.3 Ajout de l'information hydrométrique ponctuelle dans la méthode de transposition spatiale des paramètres 38
V.4 Optimisation de la pondération en validation croisée 39
V.5 Comparaison de l'efficacité entre trois méthodes proposées 41
VI. Application de la méthode en mode opérationnel aux stations des RCS 42
VI.1 Inventaire du voisinage au droit des stations des RCS 42
VI.2 Application de la méthode de transposition spatiale des paramètres 44
VII. Extraction des phases hydrologiques à partir des hydrogrammes simulés 46
VII.1 Choix méthodologique 46
VII.1.1 Estimation du débit de base 46
VII.1.2 Extraction d'autres phases et variables hydrologiques 47
VII.2 Exemple au droit d'une station RCS 48
VIII. Conclusions et perspectives 50
Bibliographie 52

Annexes 53
Annexe A : Architecture du modèle pluie-débit GR4J 54
Annexe B : Résultat de l'application de GR4J sur l'échantillon des 104 stations hydrométriques 55
Annexe C : Identification des 4 plus proches voisins de la station-cible selon le critère de proximité spatiale (en validation croisée) 57
Annexe D : Inventaire des jaugeages disponibles au droit des 98 stations RCS 59
Annexe E : Validation des jaugeages à l'aide de la station hydrométrique la plus proche 60
Annexe F : Identification des 4 plus proches voisins de la station-cible selon le critère de proximité spatiale (aux stations RCS) 61
Annexe G : Extension du voisinage hydrologique en incorporant des stations hydrométriques hors-échantillon de référence 63

Liste des Figures

Figure 1 : Déploiement de l'opération DEPHy 8

Figure 2 : Limite géographique et hydronymie des principaux cours d'eau du bassin versant Rhin-Meuse 9

Figure 3 : Localisation des stations hydrométriques et hydro-chimiques situées dans le secteur Rhin-Meuse. Réseau complété par les stations hydrométriques hors Rhin-Meuse répondant à nos critères (durée et complétude des chroniques) pour la modélisation hydrologique et située dans un corridor de 20 km autour du secteur Rhin-Meuse 10

Figure 4 : Regroupement des classes hydrogéologique en classe de perméabilité. D'après la variable « permado » extraite de la SGBDE (Soil Geographical Database of Europe) 13

Figure 5 : Comparaison entre surfaces de référence et théoriques (i.e. dérivées du plan de drainage HydroDem). (a) Surfaces de référence inférieures à 12 000 km² ; (b) Zoom sur les surfaces de référence inférieures à 200 km² 15

Figure 6 : Contours des bassins versant théoriques controlés par les stations hydrmométrique situées dans le et hors du secteur Rhin-Meuse (plan de drainage construit sous HydroDem) 16

Figure 7 : Distribution du critère C2M en calage et en validation (208 bassins-périodes). P1 : calage et P2 : validation (contrôle) 18

Figure 8 : Efficacité de la modélisation pluie-débit en calage sur toute la période 1990-2009. (a : distribution du critère C2M et résumé statistique, b : lame d'eau internnuelle observée et simulée sur les 104 bassins versants) 19

Figure 9 : Hydrogramme journalier de la station de l'Isch à Postroff (A9072050). En rouge figure la période d'interpolations linéaires identifiée de type a. 20

Figure 10 : Classe de valeur du critère C2M sur la période de calage P1/P2 (soit 1990-2009) 21

Figure 11 : Distribution des valeurs des quatre paramètres du modèle hydrologique GR4J calé sur la période de calage 1990-2009 (X1 : capacité maximale du réservoir sol en mm, X2 : paramètre d'échanges souterrains en mm, X3 : capacité maximale du réservoir gravitaire en mm, X4 : délai de l'hydrogramme unitaire en jour) 21

Figure 12: Principe de la transposition spatiale d'un jeu de parametres d'un modèle hydrologique calé sur un bassin jaugé (donneur) à un bassin non jaugé (receveur) 23

Figure 13 : Evolution de l'efficacité de la méthode par transposition spatiale des paramètres selon le nombre de voisins pris en compte dans la reconstruction du débit en site non jaugé (a : C2M moyen, b : RMSE entre le C2M estimé et le C2M obtenu en calage). Pour chaque graphique nous avons analysé le gain d'efficactié **avec** *ou* **sans** *pondération des hydrogrammes simulés* 24

Figure 14 : Efficacité de la méthode par transposition spatiale des paramètres en utilisant 3 ou 4 voisins sans pondération (a : distribution du C2M, b : nuage de points du C2M selon le nombre de voisins retenu) 25

Figure 15 : Distribution et statistique du critère C2M sur la période de calage 1990-2009 et en transposition (application de la méthode par transposition spatiale des paramètres) 27

Figure 16 : Comparaison de l'efficacité de la méthode par transposition des paramètres (a : critère C2M ; b : écoulement annuel moyen). Pour facilité la lecture du graphique trois stations ont été retirées (A3902010, A9013050, B2042010) . 27

Figure 17 : Efficacité de la méthode de transposition sur la reconstruction finale de la chronique (1ère colonne) et de la transposition du jeux de paramètres de chacun des 4 voisins sur la station-cible (colonne 2 à 5). Les performances sont ici relatives et rapportées au critère C2M issu du calage. Le chiffre de la première colonne est le C2M obtenu avec la méthode par transposition (en pourcentage) 29

Figure 18 : Comparaison du critère C2M en transposition par tranche de distance au bassin-receveur. 32

Figure 19 : Classe de valeur du critère C2M obtenu après mise en oeuvre de la méthode par transposition spatiale des paramètres. La taille des cercles est proportionnelle à la valeur du rapport C2Mregio/C2Mobs *33*

Figure 20 : Evolution du nombre de mesures par année toutes stations RCS confondues (sources des données ?) *34*

Figure 21 : Evolution du nombre de jaugeages épisodiques par année pour chacune des 80 stations RCS jaugées. Le code tout à gauche représente le numéro national, identifiant de la station RCS *35*

Figure 22 : Exemples de nuages de points comparant des jaugeages ponctuels effectués au droit d'une station des RCS et les débits moyen journalier mesurés à la station hydrométrique la plus proche (distance entre centroïdes indiqués dans l'étiquette de l'axe des abscisses). *37*

Figure 23: Schéma récapitulatif de la méthode hybride (inspiré des travaux Rojas-Serna et al. , en révision) permettant de prendre en compte l'information hydrologique régionale et l'information hydrométrique locale issue des jaugeages ponctuels. *39*

Figure 24 : Evolution de l'efficacité de la méthode selon la pondération a et le nombre N de jaugeages ponctuels en considérant 4 bassins-donneurs (graphique de gauche). Détermination d'une fonction exponentielle permettant d'obtenir la valeur α *selon le nombre N de jaugeages ponctuels (graphique de droite).* *40*

Figure 25 : Comparaison de la distribuction du C2M conditionnée par la méthode utilisée. Résultat en validation croisée sur l'échantillon des 104 stations hydrométriques *41*

Figure 26 : Nuages de points entre débits moyens jounaliers simulés selon la méthode de référence (transposition spatiale des paramètres) et débit instantané au droit de quatre stations RCS possédant des jaugeages ponctuels. *45*

Figure 27 : Exemple de séparation des écoulements pour le bassin de la Moselotte à Vagney en 2003 (représentation extraite de la thèse de C. Lang, 2007) *47*

Figure 28 : Exemple de résultats issus de l'application de la chaîne d'extraction des phases hydrologiques et de calcul des variables hydrologiques au droit de la station RCS de la Seille à Cheminot. Hydrogramme simulé par la méthode de transposition spatiale des paramètres du modèle pluie-débit GR4J avec 4 bassins-donneurs. *49*

Liste des Tableaux

Tableau 1 : Calendrier prévisionnel de l'opération DEPHy. En gris : version initiale et en rouge : modifications *7*

Tableau 2 : Etat du patrimoine de données DEPHy à la date d'achèvement du projet *14*

Tableau 3 : Liste des stations ayant un critère de Nash et Sutcliffe (NS) inférieur à 0.7en calage *20*

Tableau 4 : Choix des quatre premiers voisins pour la station de la Meuse à Chooz selon la distance entre centre de gravité et efficacité de la modélisation hydrologique par voisin. Le critère C2M obtenu par la méthode de transposition est de 0.41 en utilisant les 3 premiers voisins et de 0.63 avec 4 voisins. *26*

Tableau 5 : Choix des quatre premiers voisins pour la station de la Meurthe à Laneuville devant Nancy selon la distance entre centre de gravité et efficacité de la modélisation hydrologique par voisin. Le critère C2M obtenu par la méthode de transposition est de 0.77 en utilisant les 3 premiers voisins et de 0.67 avec 4 voisins. *26*

Tableau 6 : Liste des stations RCS ayant une station hydrométrique portant le même nom. Les informations de surface drainée (km²) et de distance (m) sont obtenues à l'aide du plan de drainage construit sous HydroDem *43*

I. Introduction générale

I.1 Préambule et construction du rapport

Le rapport final s'articule essentiellement autour des résultats de la modélisation hydrologique (transposition spatiale d'un jeu de paramètres) et sur le gain d'efficacité induit par l'incorporation de l'information hydrométrique apportée par les jaugeages ponctuels (phase 2 du projet). Nous verrons également l'application de ces méthodes au droit des stations des RCS (Réseau de Contrôle de Surveillance) ainsi que l'extraction des grandes phases hydrologiques (phase 3 du projet). De plus, le rapport final reprend et résume les points essentiels qui ont jalonné le déroulement du projet DEPHy (**D**étermination des **E**coulements et des **P**hases **Hy**drologiques). Pour un approfondissement de certains points nous renverrons le lecteur aux rapports intermédiaires rédigés en cours de projet (décembre 2011 et mai 2012).

Ce rapport sera communiqué au Copil et constituera un support de discussion pour la réunion de clôture du projet qui aura lieu fin septembre 2012 dans les locaux du CEGUM. Ensuite une version finale consolidée clôturera la période contractuelle du projet qui s'achève le 28 septembre 2012.

I.2 Définition du projet et calendrier

Le projet DEPHy s'inscrit dans le cadre d'une convention passée entre l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse (AERM) et l'Université Paul Verlaine de Metz (UPV-M) - devenue Université de Lorraine depuis le 01/01/2012 - agissant en tant que tutelle du CEGUM (Centre d'Etudes Géographiques de l'Université de Metz, EA 1105). Le projet DEPHy est une opération de type « Recherche et Développement » (R&D). Il a débuté le 1er juin 2011 et s'achèvera le 28 septembre 2012.

D'après les termes de la convention, l'opération s'intitule : « Etude relative à la mise au point de méthodes de calcul des débits des cours d'eau au droit des stations de contrôle de surveillance de la qualité des eaux. » Cette opération s'inscrit donc principalement dans le champ **de la régionalisation hydrologique**[1].

Le calendrier prévisionnel a été fixé dans l'offre de recherche envoyée fin mars 2011 à l'AERM. Le Tableau 1 présente la version initiale du calendrier prévisionnel accompagnant le dépôt de l'offre et les modifications apportées (en rouge) depuis.

[1] En hydrologie, la régionalisation peut se définir ainsi: « ensemble des méthodes permettant d'effectuer le transfert d'une information hydrologique d'un point jaugé à un point non jaugé » (traduit de Oudin et al., 2010).

		juin	juil.	août	sept.	oct.	nov.	déc.	janv.	févr.	mars	avr.	mai	juin	juil.	août	sept.
	Phase 1 - Etat de l'art																
X	Bibliographie																
X	Base de données (collecte, critique, bancarisation)																
X	Stage chargé d'étude - Cemagref Lyon (UR HHLY)				3j												
X	Inventaire des méthodes d'estimation des Qmj																
	Phase 2 - Test des méthodes																
x	Stage IGE - Cemagref Antony (HYBAN)				15j						15j			3j			
x	Régionalisation des paramètres des modèles hydrologiques																
x	Elaboration et sélection des noyaux de calcul par station RCS																
x	Production/validation des hydrogrammes journaliers RCS																
	Phase 3 - Identification des phases hydrologiques																
x	Séparation des écoulements																
o	Phase hydrologique vs prélèvements																
	Phase 4 - Actualisation du catalogue																
x	Stage M2																
	Pilotage/Reporting																
	Réunions du groupe projet (suivi et restitution finale)																
	Rapports intermédiaires																
	Rapport final																
	X : Travaux achevés																
	O : Travaux en cours																
	Les modifications apportées au calendrier figurent en **rouge**																

Tableau 1 : Calendrier prévisionnel de l'opération DEPHy. En gris : version initiale et en rouge : modifications

I.3 Contexte et problématique

L'exploitation et la valorisation des données issues des différents réseaux de surveillance, notamment les RCS (Réseau de Contrôle de Surveillance) et RCO (Réseau de Contrôle Opérationnel) mis en place dans le contexte de la DCE, nécessitent de disposer du contexte hydrologique (chroniques des débits) au droit de la station de surveillance, au jour du prélèvement et les jours qui précèdent. Cette information, qui n'est pas toujours disponible car les points de prélèvement qualitatifs ne sont pas identiques à ceux du réseau de mesure hydrométrique, est primordiale pour interpréter les observations en fonction des données météorologiques et hydro-climatiques. La disponibilité de cette information hydrologique permet en outre de mieux caractériser les tendances éventuelles en matière de qualité des eaux courantes.

L'objectif assigné à ce projet de recherche est donc de construire des noyaux de calcul permettant de reconstituer rétrospectivement la phase hydrologique (montée de crue, décrue, tarissement) et les débits moyens journaliers (Qmj) au droit des stations du RCS dans le bassin Rhin Meuse. Pour ce faire on utilisera principalement l'information fournie par les stations hydrométriques (réseau dense de 341 stations) et les données de pluies et d'ETP (EvapoTranspiration Potentielle). On s'attachera à fournir une reconstitution d'une chronique de débits journaliers continue représentative du fonctionnement hydrologique des bassins versants amont des stations RCS et à l'estimation aussi précise que possible des débits et de la marge d'erreur associée.

I.4 Objectifs scientifiques et opérationnels

Le déploiement de DEPHy est présenté sur la Figure 1 et s'articule autour des quatre objectifs énoncés ci-dessous :

- **Développer et comparer les performances** de « noyaux de calcul[2] » (par extension, méthodes de régionalisation) permettant d'estimer en un point-cible quelconque du linéaire hydrographique les chroniques de débits moyens journaliers (hydrogrammes) et la phase hydrologique d'un débit daté
- **Fournir une mesure de l'incertitude** (intervalle de confiance) de l'estimation locale de l'écoulement
- Par station hydrométrique, **classer les noyaux de calcul** en fonction de leur capacité à estimer des débits moyens journaliers et identifier les « monstres hydrologiques » nécessitant une approche « cousu main » (i.e. un traitement particulier)
- **Appliquer les résultats** des objectifs précités **aux stations RCS et RCO** et actualiser le catalogue des débits d'étiage

Ajoutons que les travaux menés dans le cadre de DEPHy (collecte et bancarisation des données hydrologiques multi-sources, identification des « monstres hydrologiques », etc.) permettront **de mettre en exergue les zones pauvres en information hydrologique** et de fixer **la limite d'applicabilité** des noyaux de calcul. Lors de la 1ère réunion du Copil[3], ce dernier a souligné l'utilité de DEPHy pour dresser un diagnostic hydrométrique et fournir une aide à la décision en vue de rationaliser le réseau hydrométrique et le suivi hydrologique des cours d'eau (jaugeages épisodiques, implantation de nouvelles stations, redéploiement de stations redondantes).

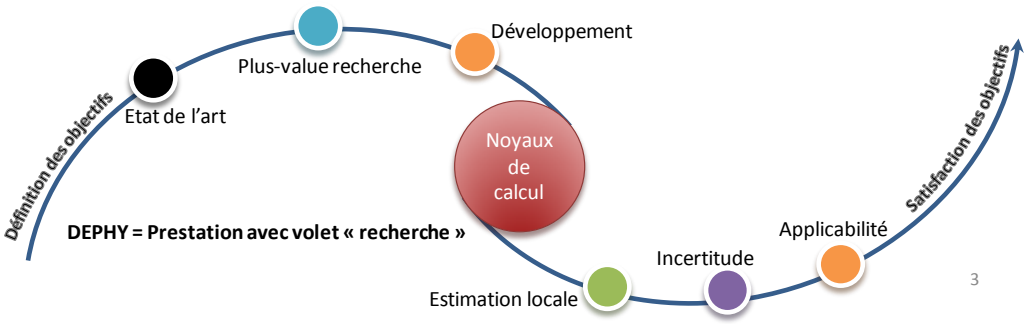


Figure 1 : Déploiement de l'opération DEPHy

I.5 Zone d'étude

La zone d'étude concernée par DEPHy correspond à la partie française du bassin Rhin-Meuse, soit environ 32 700 km² (Figure 2).

[2] Note : les termes techniques sont définis dans le glossaire figurant en fin de rapport
[3] Cf. compte-rendu de la réunion du 06/10/2011

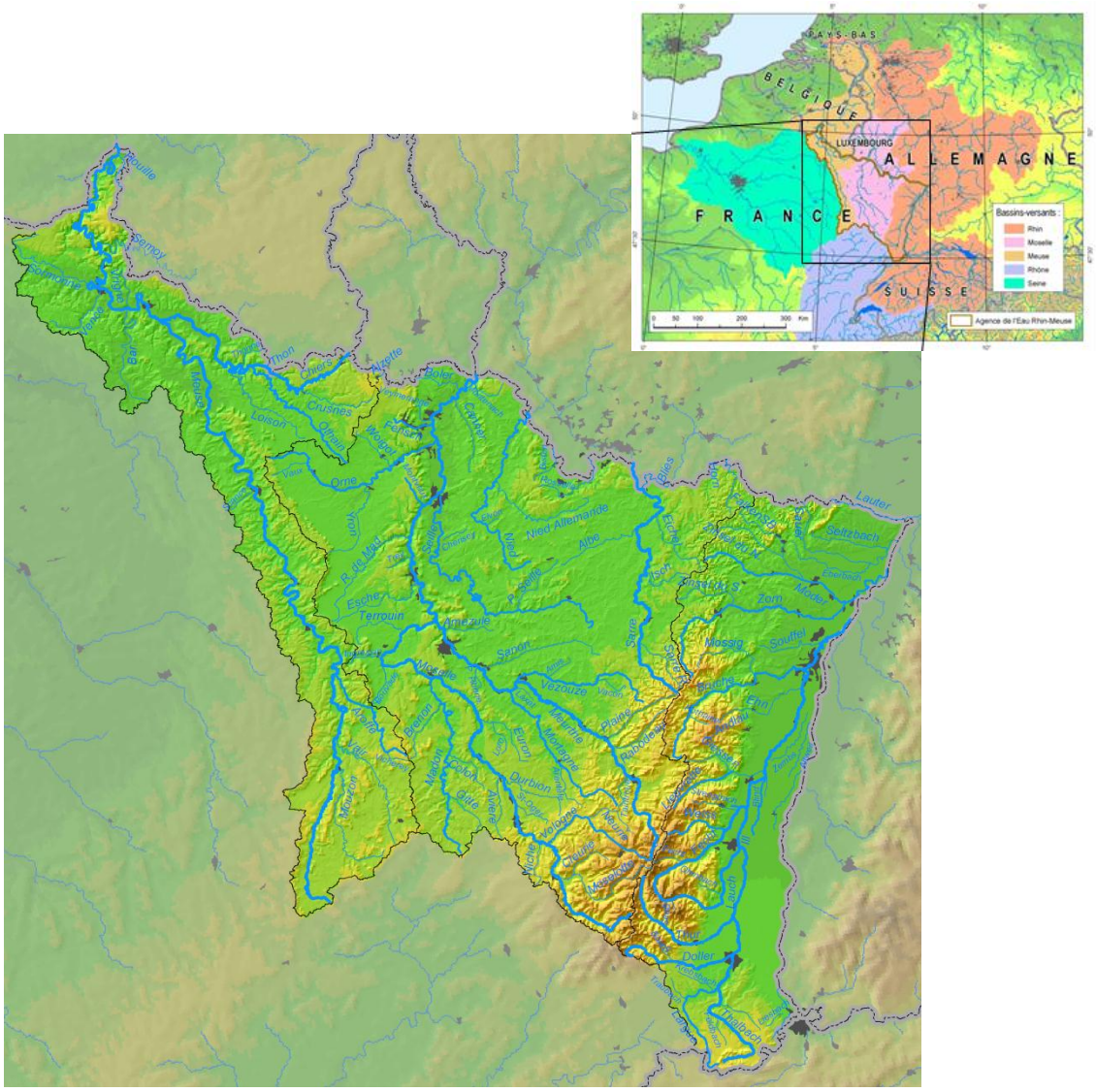


Figure 2 : Limite géographique et hydronymie des principaux cours d'eau du bassin versant Rhin-Meuse

II. Collecte, critique et pré-traitement des données

II.1 Les stations de mesure physico-chimiques

Suite aux contraintes sur la nature des stations RCS (§II.1 p.4 du deuxième rapport intermédiaire), les méthodes de régionalisation développées dans le cadre du projet DEPHy ne seront appliquées qu'à un sous-échantillon de 98 stations RCS. Une liste figure en annexe F et leur localisation géographique est présentée sur la Figure 3.

II.2 L'information hydrométrique

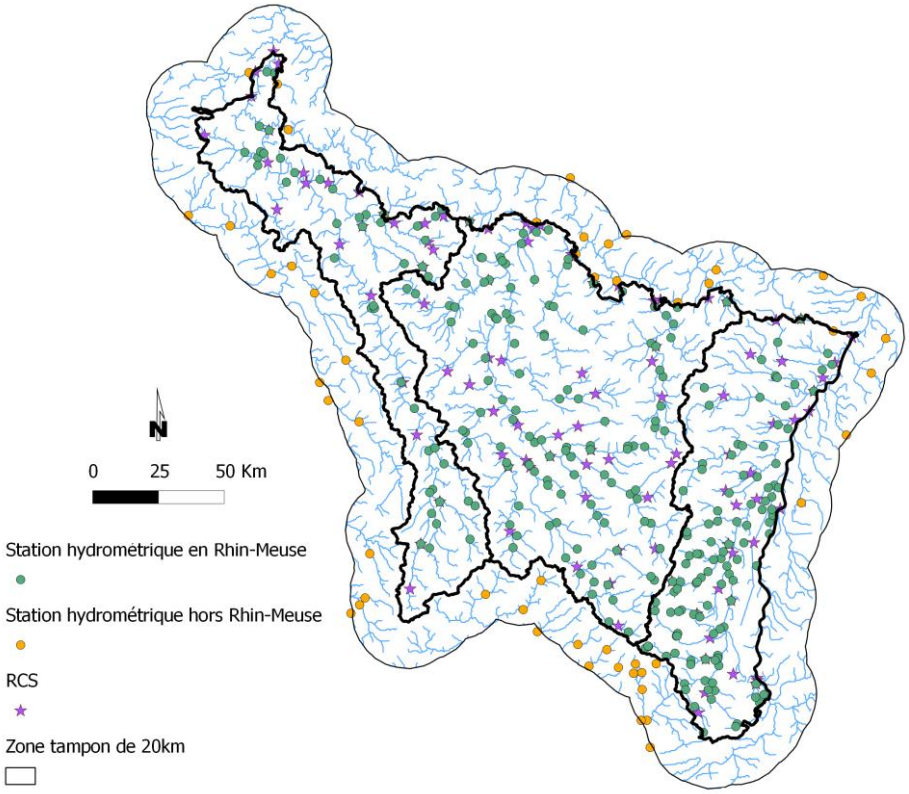
II.2.1 Les stations hydrométriques pérennes

II.2.1.1 Situées dans le secteur Rhin-Meuse

Après une première sélection (cf. §II.2.1.1 p.5 du deuxième rapport intermédiaire), nous conservons 277 stations sur toute la zone d'étude Rhin-Meuse. Deux autres critères s'ajoutent ensuite - l'influence du régime hydrologique et le critère durée/complétude de chronique sur la période d'application du modèle hydrologique- ce qui permet d'obtenir un échantillon de 104 stations servant à la modélisation pluie-débit. Une liste de ces stations figure en annexe B et leur localisation géographique en Figure 3.

II.2.1.2 Situées sur le pourtour de la région Rhin-Meuse

Pour densifier le voisinage hydrologique des points-cibles situés en périphérie de la zone d'étude Rhin-Meuse, il a donc fallu rechercher des stations hydrométriques situées en dehors de cette zone. Afin d'identifier le réseau de stations potentiellement exploitable, une zone tampon de 20 km a été délimitée autour du secteur Rhin-Meuse. Différents sources d'informations ont été consultées dans les secteurs limitrophes (Grand-Duché de Luxembourg, Belgique, Allemagne et secteur hydrologique H et U pour la France) pour collecter les données de débit externes au secteur Rhin-Meuse. Voici ci-dessous leur localisation :



	Type de station	Pays de localisation	Effectif de stations
En Rhin-Meuse	Hydrométrique	France	277
	Hydro-chimique	France	98
Hors Rhin-Meuse	Hydrométrique	France	29
		Belgique	4
		Luxembourg	0
		Allemagne	18

Figure 3 : Localisation des stations hydrométriques et hydro-chimiques situées dans le secteur Rhin-Meuse. Réseau complété par les stations hydrométriques hors Rhin-Meuse répondant à nos critères (durée et complétude des chroniques) pour la modélisation hydrologique et située dans un corridor de 20 km autour du secteur Rhin-Meuse.

L'échantillon des 51 stations hors Rhin-Meuse n'ayant été constitué que très récemment, l'incorporation de cette information hydrométrique additionnelle sera envisagée dans la suite du projet DEPHy.

II.2.2 Les données hydrométriques ponctuelles

L'information ponctuelle telle que les jaugeages épisodiques (mesure de débit effectuée en dehors du contexte d'un suivi des stations hydrométriques pérennes) est très utile[4] et permet, si les conditions d'applications sont vérifiées, de corriger et réajuster la méthode de régionalisation afin d'apporter un complément d'information hydrométrique pour « coller au mieux » à la valeur mesurée.

Dans cette optique, nous utiliserons deux sources d'informations :

- La base de données SIERM (Système d'Information sur l'Eau Rhin-Meuse) gérée par l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse qui bancarise notamment les mesures de cotes limnimétriques et de débits instantanés effectuées dans le cadre du suivi qualité.
- La base de données BAREME administrée par la DREAL qui recense l'ensemble des jaugeages épisodiques mesurés dans un contexte de suivi des courbes de tarages mais aussi, plus récemment (vers 2007), les jaugeages épisodiques qui étaient effectués auparavant par l'AERM.

II.3 La climatologie SAFRAN

Les pluies et ETP de bassin journalières ont été dérivées sur toute la période 1971-2010 au droit de chacune des stations de l'étude à l'aide des données fournies par Météo-France et du plan de drainage construit sous le logiciel HydroDem (cf. §IV p.27 du deuxième rapport intermédiaire).

Rappelons que dans le deuxième rapport intermédiaire (§II.2.3 p.11), nous nous sommes intéressés à la comparaison entre les précipitations issues de SAFRAN et celles observées à des postes Météo-France ou encore obtenues à l'aide de méthodes d'interpolation et déjà validées dans des études antérieures. Deux types de biais ont été identifiés: un biais humide (sur-estimation de SAFRAN) identifié sur les stations de l'amont de la Bruche, de la Mortagne et de la Meurthe et un biais sec (sous-estimation de SAFRAN) identifié notamment sur l'amont de la Moselle et de la Moselotte. Ce biais a déjà été signalé dans la littérature et est encore sujet à discussions (Quintana-Segui et al., 2008). Il est notamment lié à la taille de la maille SAFRAN (8x8 km) qui ne prend pas en compte certains processus sous-mailles notamment convectifs ou orographiques.

Suite à cette discussion, nous avons étudié le gain d'efficacité apporté par l'incorporation d'un coefficient correcteur de pluie dans la modélisation hydrologique (cf. §IV.4 p.34 du deuxième

[4] « [Blöeschl (2005)] highlights the best way to handle the issue of rainfall-runoff modelling in ungauged catchments would be to install a stream gauge. Indeed, limited or incomplete data can still be extremely valuable because one can use it to constrain model calibrations. Many studies have demonstrated usefulness of limited data. » Citation tirée de He et al. (2011).

rapport intermédiaire). Il en résulte qu'il ne s'avère pas pertinent dans notre cas (compensation entre paramètres).

Nous décidons d'utiliser les pluies de bassin dérivées des données SAFRAN **sans coefficient correcteur**.

Il convient de noter que certains jeux de paramètres calés sur les bassins affectés par le biais humide nous paraissent atypiques et **ne pas refléter un fonctionnement hydrologique naturel, mais un effet de compensation sur ces seuls paramètres du biais** présent dans la climatologie SAFRAN. Il conviendra donc **d'être très prudent** dans l'utilisation du voisinage hydrologique lors de la reconstitution du débit sur le linéaire hydrographique afférent à ces bassins.

II.4 Les descripteurs physiques des bassins versants

L'information physique peut être utilisée soit comme « source principale » de la méthode de régionalisation (ex : formules empiriques entre paramètre d'un modèle hydrologique et plusieurs descripteurs pertinents) soit comme information complémentaire permettant d'améliorer la régionalisation au travers par exemple du calcul de l'indice de similarité physique entre bassins. Cette approche pose en outre l'hypothèse (forte) que deux bassins physiquement similaires ont un comportement hydrologique similaire. Cette hypothèse n'est pas toujours vérifiée (Oudin et al., 2010). L'efficience de cette approche méthodologique est directement liée au choix des descripteurs physiques utilisés.

Un seul un type de descripteur a été ajouté au panel de variables physiques déjà présentées dans le paragraphe II.3.7 p.21 du deuxième rapport intermédiaire. Il est décrit ci-dessous.

II.4.1 Les données géologiques

La DREAL Lorraine nous a fourni une version provisoire de la BD LISA qui est appelée à devenir le référentiel hydrogéologique français en remplacement de la BD RHF. La version définitive n'étant pas encore publiée, une version intermédiaire comprenant une carte des entités d'affleurement est présentée dans le §II.3.3 du deuxième rapport intermédiaire.

Notre échantillon étant constitué de bassins versants dont une partie est située à l'étranger (Belgique, Luxembourg ou Allemagne), nous avons établi un « atlas de perméabilité » en utilisant l'information contenue dans la variable « permado » (nature de la roche mère) extraite de de la SGBDE. La Figure 4 présente la répartition spatiale de cette nouvelle variable.

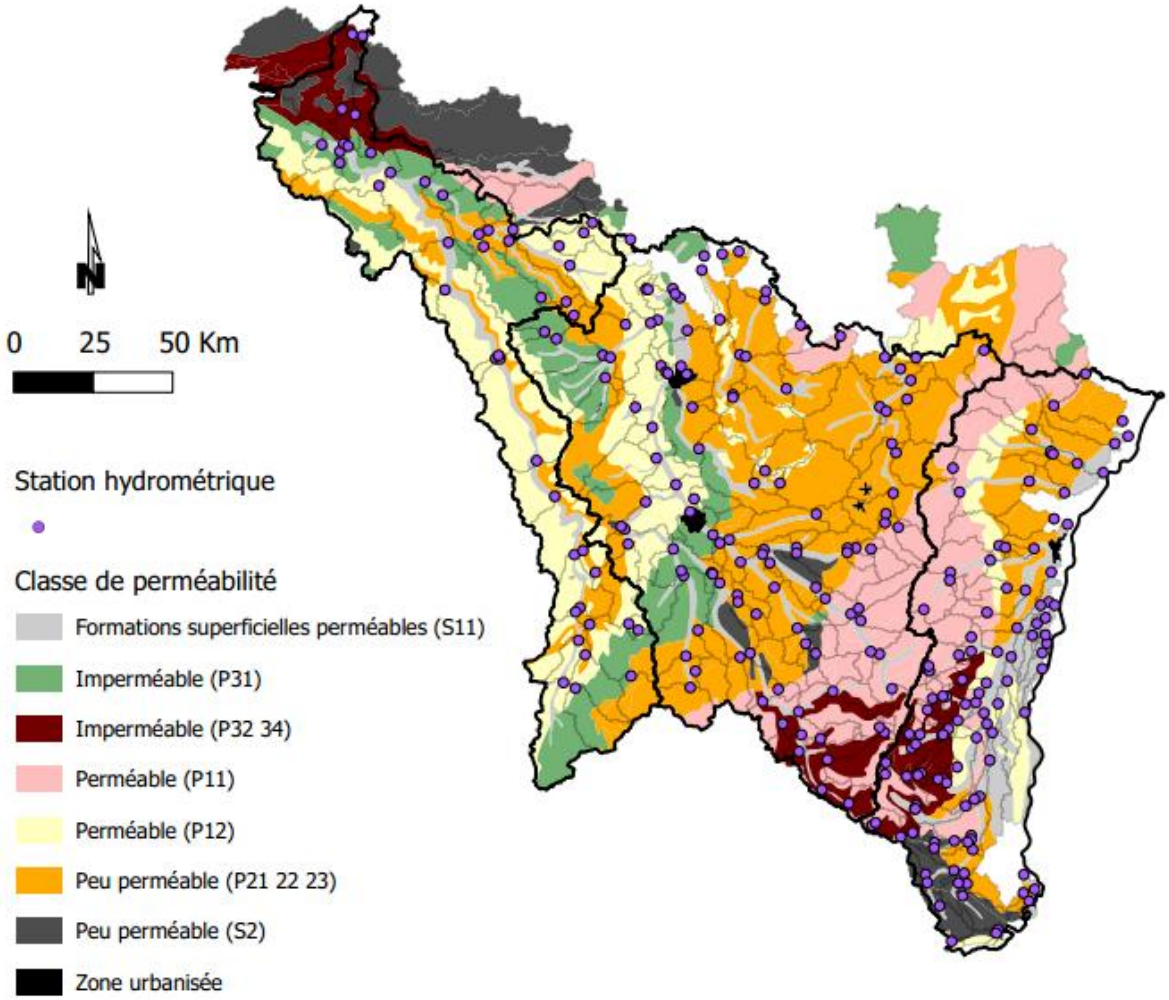


Figure 4 : Regroupement des classes hydrogéologique en classe de perméabilité. D'après la variable « permado » extraite de la SGBDE (Soil Geographical Database of Europe)

II.4.2 Etat du patrimoine de données

Pour plus d'information sur la construction et la nature des descripteurs retenus, le lecteur peut se référer au deuxième rapport intermédiaire (§II.3.3 p.18 au §II.3.7 p.22). L'état du patrimoine de données DEPHy à la date d'achèvement du projet est indiqué dans le Tableau 2.

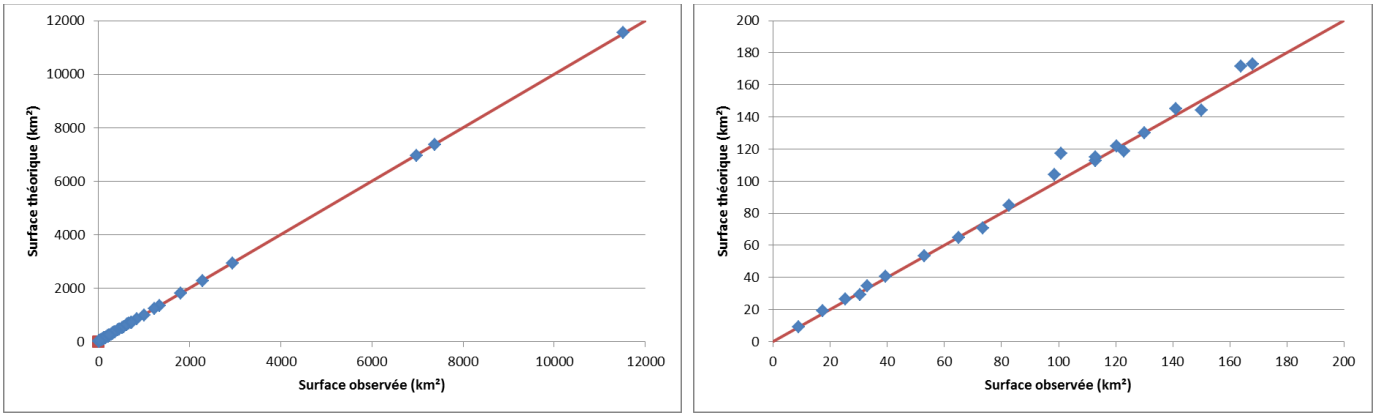
Caractéristiques → / Thèmes ↓	Nom de la BD	Type de géométrie	Source	Producteur/Fournisseur	Statut	Complétude (BD interne CEGUM)	Zone couverte	Echelle/ Résolution	Système de coordonnées (reprojeté)
(Hydro)Géologie	LISA	vecteur	BRGM/ DREAL	BRGM/DREAL	gratuit	Lorraine	France		L93
Hydrographie	Carthage	vecteur	IGN	IGN	gratuit	complet	France		L93
Hydrologie des sols (dérivée de la SGDB)	HOST_SGBD	raster		Institute for Environment and Sustainability	gratuit	complet	Europe	1x1km	L93
	Perméabilité	raster		Institute for Environment and Sustainability (recodage par le CEGUM)	gratuit	complet	Europe	1x1km	L93
Occupation des sols	Corine Land Cover (CLC 2006)	raster		Union Européenne SOeS/IFEN	gratuit	complet	Europe	25 m	L93
Hydro-éco-régions	HER (niveaux 1 et 2)	vecteur		IRSTEA	gratuit	complet	France		L93
Hypsométrie	SRTM	raster	SRTM3		gratuit	complet	Monde	~90 m	L93
Température de l'air	SAFRAN	raster		Météo-France	payant	complet	France	8x8km	L93
Précipitations	SAFRAN	raster		Météo-France	payant	complet	France	8x8km	L93
Hydrométrie pérenne	Banque Hydro/ CEGUM/BD allemande/BD wallonne			SCHAPI/CEGUM /BFg/Service public de Wallonie	gratuit	complet (y compris secteurs périphériques)	R-M		L93
Hydrométrie épisodique	Barème/CEGUM/BD SIERM			DREAL Lorraine/CEGUM/AERM	gratuit	complet	R-M		L93

Tableau 2 : Etat du patrimoine de données DEPHy à la date d'achèvement du projet

II.4.3 Construction d'un plan de drainage et délimitation des bassins-versants

Une fois les descripteurs physiques identifiés et à l'aide du plan de drainage construit (logiciel HydroDem, Leblois et Sauquet 2000), nous avons pu dériver une statistique des descripteurs au droit de chacune des stations. Pour de plus ample informations sur les propriétés, la construction, la validation du plan de drainage et les types d'erreurs rencontrées le lecteur pourra se référer au paragraphe II.3.2 p.11 du premier rapport intermédiaire et au paragraphe II.3.2 p.17 du deuxième rapport intermédiaire.

Suite à l'acquisition des 51 stations hydrométriques situées hors Rhin-Meuse, nous avons dû corriger certaines erreurs dans le plan de drainage hors Rhin-Meuse. Nous avons raisonné comme dans le deuxième rapport, c'est-à-dire en corrigeant le plan de drainage et/ou la localisation des stations afin de se retrouver avec une surface théorique similaire à la surface fournis par les gestionnaires. La Figure 5 présente la reconstitution, après correction, des surfaces théoriques au droit des stations hors Rhin-Meuse. La Figure 6 quant à elle représente les contours des bassins versants contrôlés par les stations hydrométriques en et hors Rhin-Meuse.



(a) (b)

Figure 5 : Comparaison entre surfaces de référence et théoriques (i.e. dérivées du plan de drainage HydroDem). (a) Surfaces de référence inférieures à 12 000 km² ; (b) Zoom sur les surfaces de référence inférieures à 200 km²

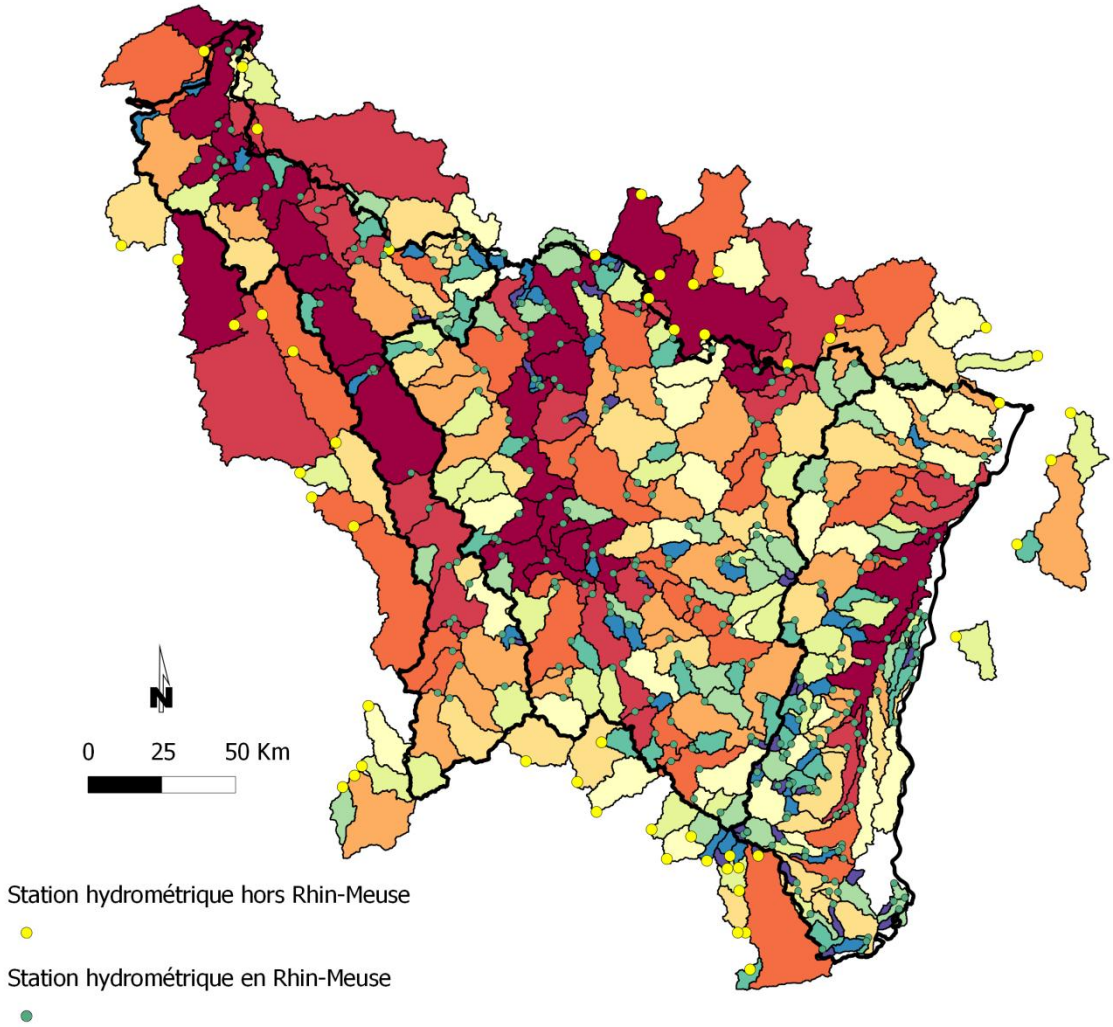


Figure 6 : Contours des bassins versant théoriques controlés par les stations hydrmométrique situées dans le et hors du secteur Rhin-Meuse (plan de drainage construit sous HydroDem)

III. Mise en œuvre de GR4J et constitution d'une bibliothèque régionale de paramètres

III.1 Choix méthodologique

Rappelons que parmi les modèles pluie-débit globaux parcimonieux sélectionnés dans le cadre de la phase 1 de DEPHy, c'est le modèle pluie-débit GR4J (Perrin et al., 2003) qui a été sélectionné. Sa structure est présentée en annexe A.

Comme mentionné dans les rapports précédents, la recherche du jeu optimal de paramètre se fait sous contrainte de la maximisation du coefficient de Nash-Sutcliffe (NS) déterminé sur la

racine carrée des débits journaliers (prise en compte des basses eaux et hautes eaux). Rappelons aussi qu'en ce qui concerne le critère d'évaluation et pour ne pas donner trop d'importance aux valeurs fortement négatives et avoir une distribution plus asymétrique bornée entre]-1 ; 1], nous utilisons le critère *C2M* proposé par Mathevet (2005) :

$$C2M = \frac{NS}{2 - NS}$$

III.2 Choix de la période de référence

Afin de valider l'efficacité de la modélisation hydrologique, nous utilisons la procédure de « *split-sample test* ». La période totale 1990-2009 est scindée en deux sous-périodes (P1 et P2) d'égale durée avec une période de chauffe pour chaque sous-période égale à trois années. Pour plus d'informations sur le choix de la période et le critère de durée/complétude permettant de filtrer les stations ayant un nombre suffisant de débits journaliers le lecteur pourra se référer au paragraphe III.2 p.25 du deuxième rapport intermédiaire.

III.3 Pré-traitement et suppression de stations hydrométriques influencées

L'analyse fine des chroniques de débits journaliers effectuée lors du stage à l'Irstea d'Antony, a révélé l'existence d'artefacts dans certaines d'entre elles que nous nommerons « Interpolation Linéaire ». Pour ce faire nous avons dû identifier ces artefacts au sein des chroniques des stations retenues (cf. §II.2.1.3 p.7 du deuxième rapport). Ceux-ci sont le plus souvent liés à un mauvais codage des lacunes présentes dans les chroniques de débits.

Suite à cela nous avons opéré à une dernière sélection sur le caractère influencé ou non du régime hydrologique des stations à l'aide de l'information figurant sur la Banque Hydro (cf. §III.3 p.26 du deuxième rapport intermédiaire).

L'échantillon retenu jusqu'ici pour la mise en œuvre des méthodes de régionalisation comportait **104 stations** (hors stations additionnelles) et 155 en les incluant.

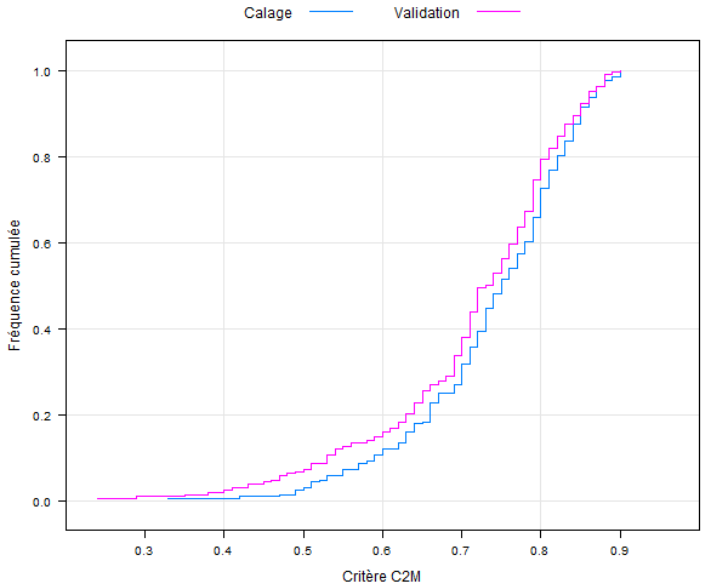
Suite à la réunion du 25 mai 2012 clôturant le deuxième rapport intermédiaire, P. Battaglia nous a indiqué que les débits de la Meurthe à Luneville et de la Vezouze à Luneville n'étaient influencés qu'en période d'étiage (et non pour toute la gamme des débits). Cette remarque a été prise en compte et les deux stations concernées ont été incorporées à l'échantillon final.

Ceci porte l'effectif final de stations hydrométriques pérennes à **156 stations**.

III.4 Efficacité du modèle GR4J en calage/contrôle

Une analyse approfondie avec notamment l'efficacité et la distribution des paramètres du modèle hydrologique selon les deux périodes de calage (P1 : 1990-1999 et P2 : 2000-2009) est présentée dans le §IV.2.1 du deuxième rapport intermédiaire.

Etudions à présent l'efficacité de la modélisation hydrologique sur la période de contrôle (période indépendante de la période de calage). La Figure 7 présente la distribution du critère C2M en calage et en contrôle pour les 208 bassins-périodes (une valeur pour chacune des deux sous-périodes, et ce pour les 104 stations de notre échantillon).



	Calage (C1 et C2)				Validation (C1V2 et C2V1)			
	NS(RQ)	C2M(Q)	C2M(RQ)	C2M(LQ)	NS(RQ)	C2M(Q)	C2M(RQ)	C2M(LQ)
Min	0.50	0.16	**0.33**	0.11	0.38	0.15	**0.24**	-0.31
Moyenne	0.84	0.69	**0.74**	0.65	0.83	0.67	**0.72**	0.63
Mediane	0.86	0.71	**0.75**	0.67	0.85	0.68	**0.74**	0.66
Max	0.95	0.89	**0.90**	0.90	0.95	0.89	**0.90**	0.90

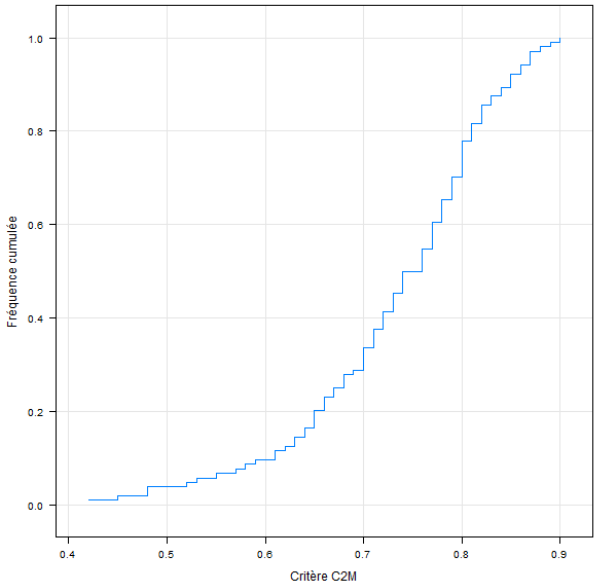
Figure 7 : Distribution du critère C2M en calage et en validation (208 bassins-périodes). P1 : calage et P2 : validation (contrôle)

L'efficacité en période de calage montre de meilleurs résultats avec une moyenne et une médiane du critère de C2M racine des débits - C2M(RQ) - respectivement de 0.74 et 0.75 contre 0.72 et 0.74 sur la période de contrôle. Malgré une différence de valeur pour certains paramètres du modèle selon la période analysée (cf. §IV.2.2 du deuxième rapport intermédiaire), la validation sur une autre période indépendante fournit une efficacité comparable (robustesse du modèle GR4J). Notons que le modèle parait peu satisfaisant sur un nombre significatif de bassins, avec des efficacités inférieures à 0.6 pour environ 15% des bassins-périodes.

III.5 Constitution de la bibliothèque régionale de paramètres

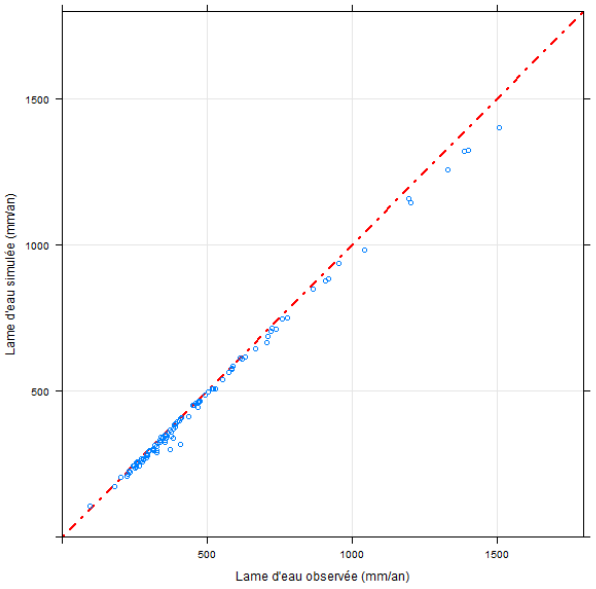
Dans un premier temps, pour supprimer l'influence de la variabilité temporelle au sein de la méthode de transposition et afin d'inclure toute la gamme des débits (étiage, crue), les deux sous-périodes P1 et P2 ont été fusionnées en une seule et unique période s'étalant du 01/01/1990 au 31/12/2009.

De la même manière que précédemment, nous avons appliqué le modèle GR4J sur cette nouvelle période afin de constituer notre bibliothèque régionale de paramètres que nous utiliserons par la suite dans la méthode de transposition spatiale des paramètres. La Figure 8 présente l'efficacité du modèle et la Figure 10 la variabilité spatiale du critère C2M sur la zone d'étude Rhin-Meuse.



	Calage sur la période P1/P2			
	NS(RQ)	C2M(Q)	C2M(RQ)	C2M(LQ)
Min	0.59	0.28	0.42	0.23
Moyenne	0.84	0.68	0.73	0.65
Mediane	0.86	0.69	0.75	0.69
Max	0.95	0.87	0.90	0.90

(a)



(b)

Figure 8 : Efficacité de la modélisation pluie-débit en calage sur toute la période 1990-2009. (a : distribution du critère C2M et résumé statistique, b : lame d'eau internnuelle observée et simulée sur les 104 bassins versants)

Nous notons une moyenne et une médiane du critère C2M respectivement de 0.73 et 0.75 avec un minimum de 0.42 (équivalent à 0.59 pour le coefficient NS). Comme nous le verrons dans le §IV.2, nous utiliserons un seuil du coefficient NS de 0.7 afin d'exclure la possibilité de transférer les paramètres de GR4J vers un bassin-receveur lorsque le modèle est en situation d'échec partiel. Ce seuil permet d'évincer les six stations du Tableau 3.

Code hydro	Nom	Surface	NS(RQ)	C2M(Q)	C2M(RQ)	C2M(LQ)
A0220200	LE LERTZBACH à HEGENHEIM	15	0.65	0.38	0.48	0.43
A9001050	LA SARRE BLANCHE à LANEUVEVILLE-LES-LORQUIN	72	0.59	0.39	0.42	0.34
A9013050	LA SARRE ROUGE à VASPERVILLER	89	0.68	0.46	0.52	0.47
A9021040	LA SARRE à HERMELANGE	186	0.65	0.4	0.48	0.35
A9072050	L'ISCH à POSTROFF	147	0.69	0.45	0.53	0.26
A9352050	L'EICHEL à OERMINGEN	277	0.62	0.33	0.45	0.27

Tableau 3 : Liste des stations ayant un critère de Nash et Sutcliffe (NS) inférieur à 0.7en calage

Déjà identifiées dans le cadre de DEPHy et par l'équipe R&D du CEGUM, nous retrouvons les stations de la Sarre (gérées par le Service de la Navigation de Strasbourg) qui possèdent des problèmes de courbes de tarage.

Par ailleurs, les hydrogrammes observé et simulé de la station de l'Isch à Postroff montrent plusieurs types d'anomalies qui nous conduisent à penser que cette station est influencée (soutien d'étiage, hydrogramme plat durant les basses eaux, etc.). De plus lors de l'étape de détection des interpolations linéaires nous avons identifié 60 périodes avec un débit constant (i.e. IL de type b) pouvant s'étaler sur 17 jours ainsi que 6 périodes avec un débit consécutivement et identiquement décroissant (i.e. IL type a) pouvant aller jusqu'à 3 mois (cf. Figure 9).

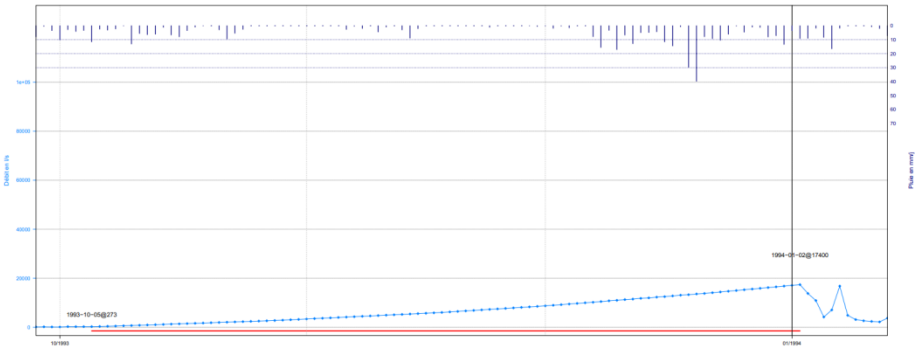
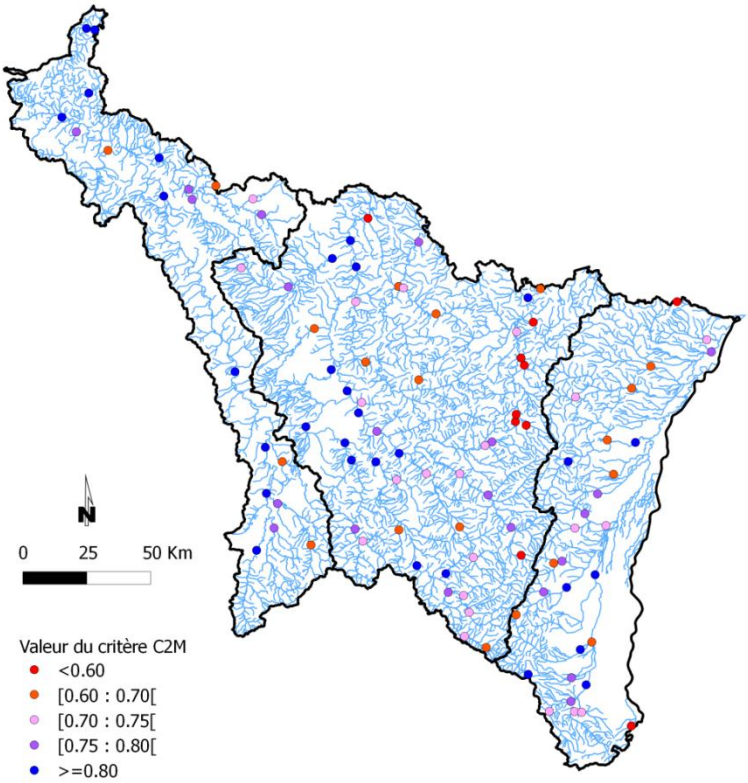


Figure 9 : Hydrogramme journalier de la station de l'Isch à Postroff (A9072050). En rouge figure la période d'interpolations linéaires identifiée de type a.

Concernant la station de l'Eichel à Oermingen, durant les années 1990-1991 l'hydrogramme simulé est transposé au-dessus de l'observé (non publié). Nous constatons l'inverse mais encore plus marqué à partir de courant 2006 (non publié). Nous pouvons supposer qu'il y a peut-être un problème hydrométrique sur les courbes de tarage pour cette station.

Enfin la station du Lertzach à Hegenheim quant à elle est très atypique et son incorporation dans la méthode sera discutée par la suite.

La carte de la Figure 10 représente la distribution spatiale de l'efficacité (critère C2M) en calage par station.



Valeur du critère C2M	Effectif de stations
<0.6	10
[0.60 : 0.70]	20
[0.70 : 0.75]	22
[0.75 : 0.80]	21
>=0.80	31
TOTAL	**104**

Figure 10 : Classe de valeur du critère C2M sur la période de calage P1/P2 (soit 1990-2009)

La Figure 11 présente la répartition des valeurs de chacun des paramètres du modèle GR4J optimisé sur les 104 stations hydrométriques de l'échantillon de référence.

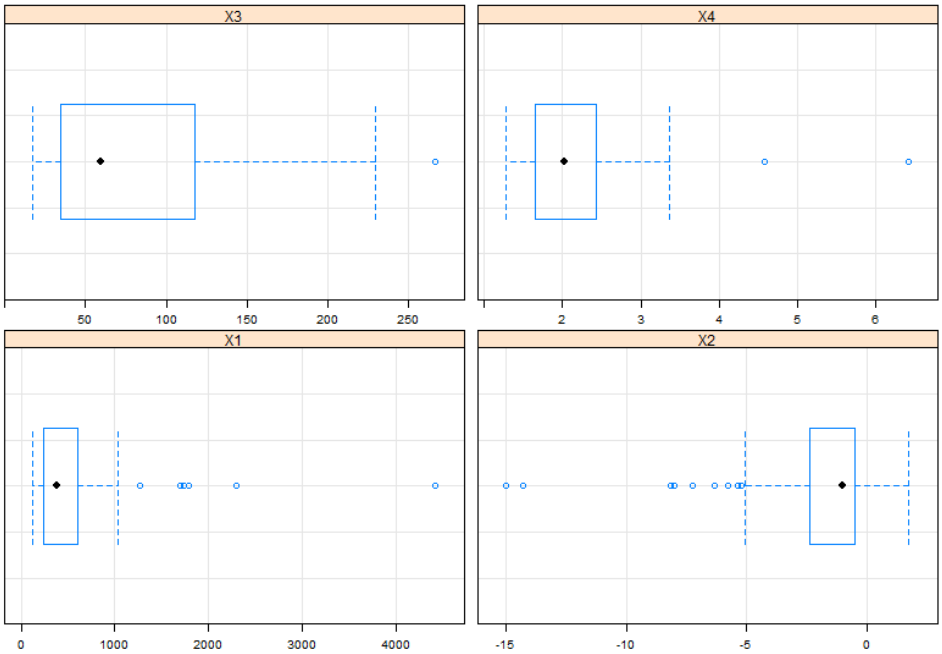


Figure 11 : Distribution des valeurs des quatre paramètres du modèle hydrologique GR4J calé sur la période de calage 1990-2009 (X1 : capacité maximale du réservoir sol en mm, X2 : paramètre d'échanges souterrains en mm, X3 : capacité maximale du réservoir gravitaire en mm, X4 : délai de l'hydrogramme unitaire en jour)

Le constat à propos des stations ayant une valeur de paramètre en queue de distribution est le même que lors de l'étude des paramètres selon la période P1/P2 figurant dans le § IV.2.2 p.29 du deuxième rapport intermédiaire. Globalement, nous pouvons identifier quatre explications :

- **Un fonctionnement hydrologique singulier du bassin-versant** (ex : la Lauter à Wissembourg ou l'Aroffe à Vannes-le-Chatel) ;
- **Une influence du régime hydrologique non identifiée** à partir du codage Hydro (ex. le Ton à Ecouviez) ;
- **Un problème hydrométrique** (ex. la Sarre rouge à Vasperviller, la Sarre Blanche à Laneuveville-Les-Lorquin ou encore la Sarre à Hermelange)
- **Une estimation biaisée de la pluie de bassin** (ex. la Mortagne à Sainte-Hélène)

IV. Application de la méthode par transposition spatiale des paramètres de GR4J

IV.1 Choix méthodologique

Suite à un état de l'art non exhaustif des principales méthodes de régionalisation abordées dans le 1er rapport intermédiaire (cf. § IV et annexe F), nous nous sommes concentrés dans la phase 2 du projet DEPHy, sur la mise en œuvre de méthodes fondées sur la transposition spatiale d'un ou de plusieurs jeux de paramètres d'un modèle pluie-débit calé sur des bassins jaugés : le débit simulé au droit d'une station-cible (bassin receveur, non jaugé) résulte de l'application d'un modèle pluie-débit dont le jeu de paramètres a été calé préalablement sur un bassin voisin (cas d'un seul bassin-donneur, jaugé) et en utilisant les données d'entrée (pluie, ETP) du bassin cible (Figure 12).

Dans le cas de plusieurs donneurs, il y aura autant de vecteurs de débits simulés au point-cible que de bassins-donneurs. La moyenne des vecteurs de débits permettra ensuite de n'avoir qu'une seule chronique de débits journaliers à la station-cible contrôlant le bassin-receveur.

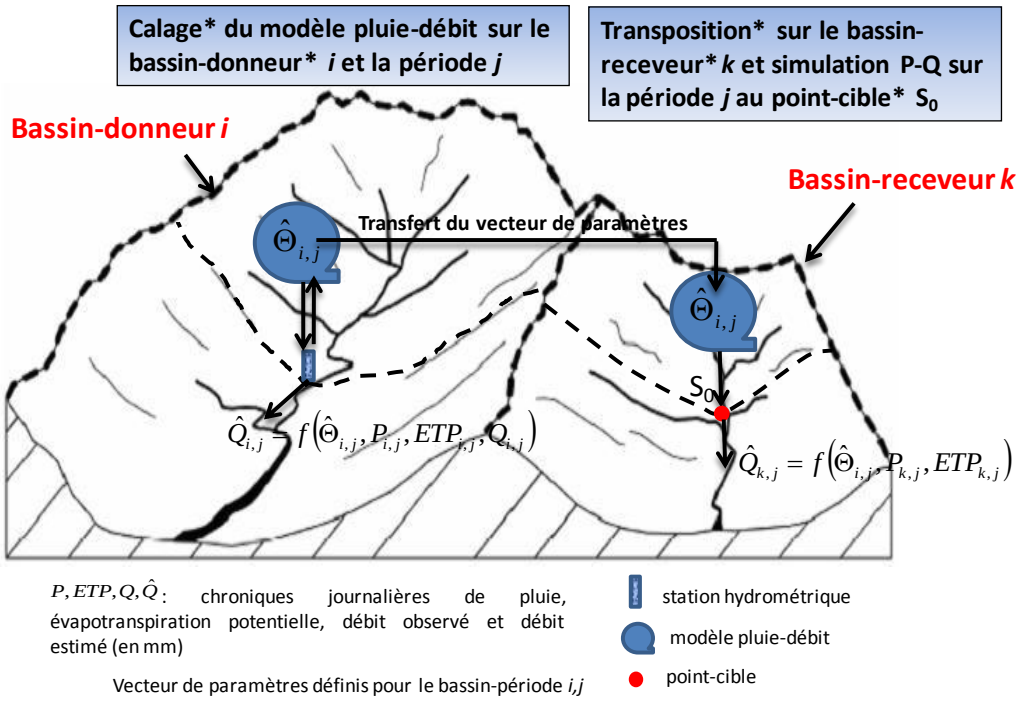


Figure 12: Principe de la transposition spatiale d'un jeu de parametres d'un modèle hydrologique calé sur un bassin jaugé (donneur) à un bassin non jaugé (receveur)

Les hypothèses sous-jacentes à cette approche de régionalisation sont les suivantes:

1. les paramètres de calage sont représentatifs de la transformation pluie-débit des bassins modélisés
2. des bassins proches dans l'espace ont une similarité hydrologique plus grande que des bassins éloignés (par conséquent ils ont un une transformation pluie-débit semblable)

L'application de la méthode requiert la création d'une bibliothèque régionale de paramètres et le calcul de la matrice des distances entre les centroïdes de bassins.

Les principaux éléments caractérisant cette méthode de régionalisation sont les suivants :

- Le critère de proximité spatiale ou de similarité physique (distance géographique entre centroïdes des bassins ou encore distance au sens d'un ou de plusieurs descripteurs physiques pertinents),
- Le nombre de donneurs (i.e. jeux de paramètres) à retenir dans l'estimation locale du débit
- La pondération ou non de la moyenne des *n* chroniques de débits simulés,
- Le seuil du critère de Nash-Sutcliffe à partir duquel le bassin est considéré comme donneur.

Cette méthode a été appliquée et une étude de sensibilité des paramètres de la méthode a été menée par Oudin et al. (2008) sur 913 bassins français. Notre échantillon de stations étant plus

petit que celui de cette publication, nous étudierons brièvement dans le §IV.2 la sensibilité de certains de ces éléments.

IV.2 Optimisation et application de la méthode

Au vu de la publication de Oudin et al.. (2008), nous avons fixé un seuil de Nash-Sutlciffe (NS) de 0.7 (C2M de 0.54) à partir duquel un bassin peut être considéré comme donneur. Ceci a pour but de ne pas inclure les bassins mal modélisés, pour lesquels le jeu de paramètres a tendance à compenser artificiellement les erreurs naturelles du modèle. On remarque que ce critère ne change pas radicalement l'efficacité car sur les 104 stations, seules les 6 stations déjà identifiées plus haut ont un critère de NS inférieur à 0.7.

Dans un premier temps nous utiliserons comme critère de proximité, la distance euclidienne entre centre de gravité des bassins.

La Figure 13 présente la variation de l'efficacité (a : moyenne du C2M et b : RMSE entre le C2M estimé et le C2M obtenu en calage) de la méthode par transposition selon deux variables : le nombre de voisins à retenir et la pondération ou non des hydrogrammes simulés. La pondération se construit sur la base de l'inverse distance entre centre de gravité des bassins : plus un bassin-donneur est éloigné du bassin-receveur et moins il a de poids dans la reconstitution du débit au point-cible.

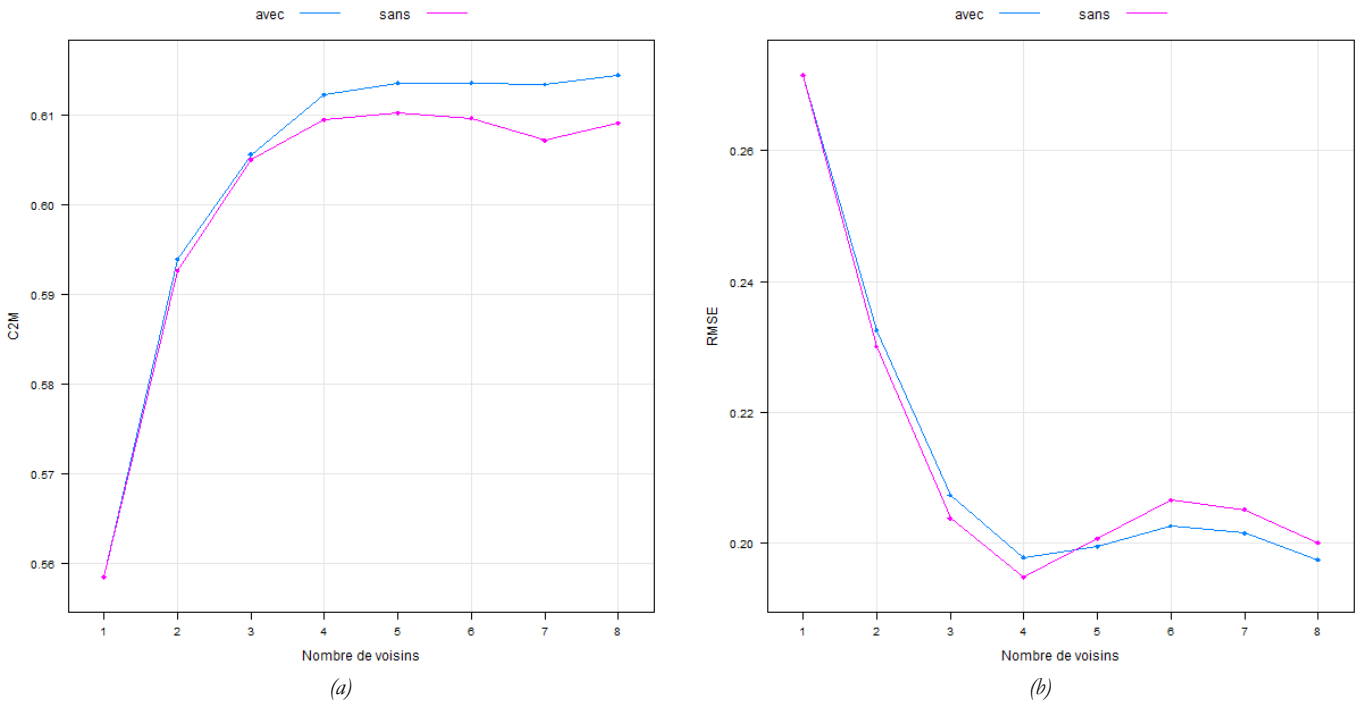
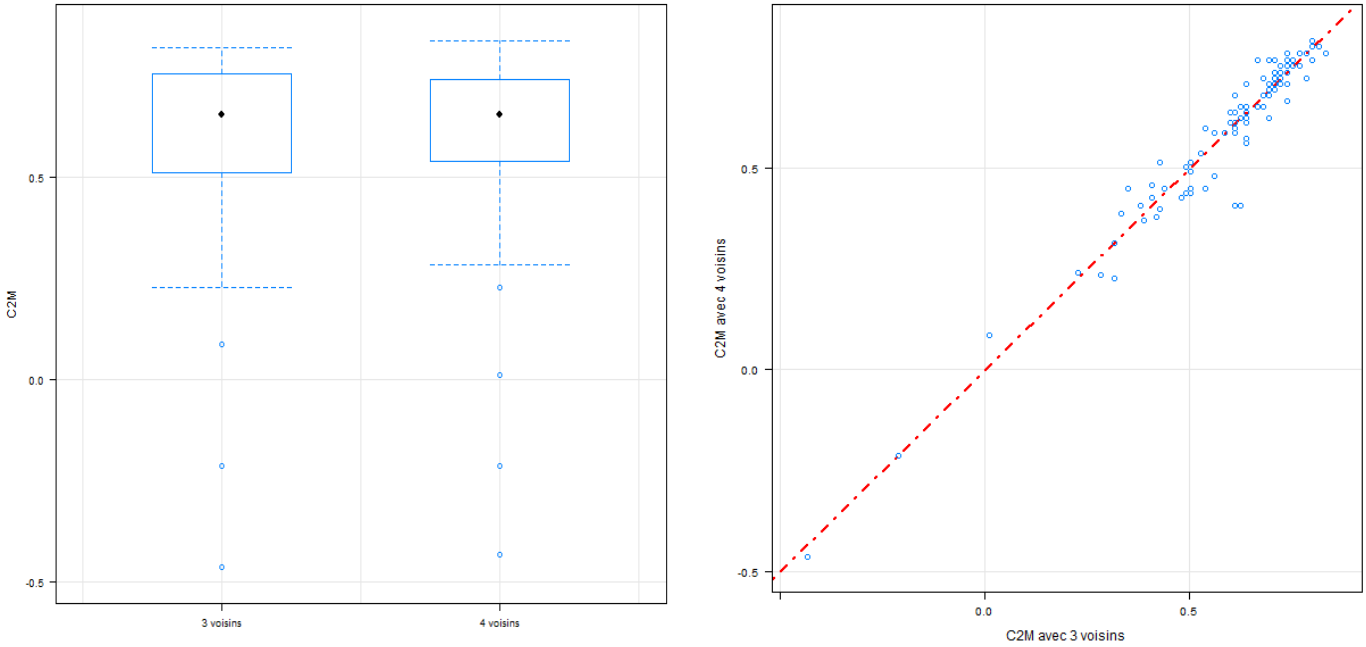


Figure 13 : Evolution de l'efficacité de la méthode par transposition spatiale des paramètres selon le nombre de voisins pris en compte dans la reconstruction du débit en site non jaugé (a : C2M moyen, b : RMSE entre le C2M estimé et le C2M obtenu en calage). Pour chaque graphique nous avons analysé le gain d'efficactié ***avec*** *ou* ***sans*** *pondération des hydrogrammes simulés*

Sur le premier graphique (Figure 13a) un palier semble se dessiner à partir de quatre voisins. La pondération n'apportant pas un gain significatif d'efficacité, les hydrogrammes simulés ne seront donc pas pondérés. La Figure 14a donne la statistique complète du C2M en utilisant trois puis quatre voisins.



(a) *(b)*

Figure 14 : Efficacité de la méthode par transposition spatiale des paramètres en utilisant 3 ou 4 voisins sans pondération (a : distribution du C2M, b : nuage de points du C2M selon le nombre de voisins retenu)

Dans un premier temps nous ne comparerons pas l'efficacité par station mais le gain à inclure un quatrième voisin. Afin d'expertiser ce point nous avons fait figurer en annexe C pour chacune des 104 stations les quatre premiers voisins au sens d'une distance euclidienne entre centres de gravité.

Comme nous pouvons le constater il n'y a pas de gain significatif et univoque à utiliser quatre voisins. La moyenne et la médiane sont d'environ 0.61 et 0.65 avec trois ou quatre voisins. Le risque de faible prévisibilité du débit journalier est néanmoins plus élevé avec trois voisins qu'avec quatre.

Une analyse fine du critère C2M révèle que l'apport d'un quatrième voisin peut à la fois favoriser le choix d'un voisin plus éloigné ayant des paramètres du modèle permettant une bonne reconstitution mais en contrepartie peut inclure un voisin ayant un fonctionnement hydrologique différent. Voyons pour chacun des deux cas de figure ci-dessus un exemple :

Type	Code station	Nom	Surface	X1	X2	X3	X4	C2M en calage	C2M en transposition
Station cible	B7200000	LA MEUSE à CHOOZ [TROU DU DIABLE]	10120	363.13	0.02	110.93	3.23	0.89	-
Voisin 1	B4572010	LE LOISON à HAN-LES-JUVIGNY	348	253.41	-0.79	30.33	2.5	0.79	0.49
Voisin 2	A8006210	LE RUISSEAU DE VAUX à MORGEMOULIN	42.3	277.61	-1.78	34.61	1.74	0.71	0.37
Voisin 3	A8071010	L'ORNE à BONCOURT	412	243.1	-2.34	28.74	2.81	0.79	0.29
Voisin 4	B4631010	LA CHIERS à CARIGNAN	1967	764.04	0.26	68.6	2.67	0.82	0.79

Tableau 4 : Choix des quatre premiers voisins pour la station de la Meuse à Chooz selon la distance entre centre de gravité et efficacité de la modélisation hydrologique par voisin. Le critère C2M obtenu par la méthode de transposition est de 0.41 en utilisant les 3 premiers voisins et de 0.63 avec 4 voisins.

N'ayant qu'une seule station sur la Meuse amont, le choix des voisins se porte sur des bassins de faible superficie et pas forcément comparable. Le fait de rajouter la station de la Chiers à Carignan augmente l'efficacité finale car nous pouvons constater que le jeu de paramètre calé sur la Chiers à Carignan fournit de bons résultats en transposition (C2M de 0.79 ou un NS de 0.88).

Type	Code station	Nom	Surface	X1	X2	X3	X4	C2M en calage	C2M en transposition
Station cible	A6921010	LA MEURTHE à LANEUVEVILLE-DEVANT-NANCY	2780	655.08	-2.09	64.02	2.57	0.79	-
Voisin 1	A6941020	LA MEURTHE à MALZEVILLE	2960	593.55	-1.67	60.75	2.53	0.80	0.77
Voisin 2	A6761010	LA MEURTHE à DAMELEVIERES	2280	641.65	-2.29	74.15	2.33	0.82	0.79
Voisin 3	A6731220	LA MORTAGNE à GERBEVILLER	493	715.99	-3.45	49.36	2	0.74	0.64
Voisin 4	A6443010	LE VACON à BARBAS	35.4	163.9	-1.86	21.82	1.83	0.69	0.04

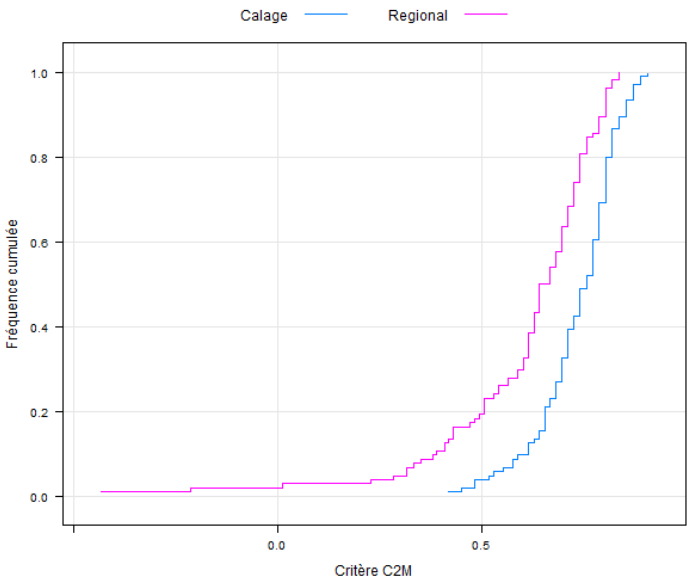
Tableau 5 : Choix des quatre premiers voisins pour la station de la Meurthe à Laneuville devant Nancy selon la distance entre centre de gravité et efficacité de la modélisation hydrologique par voisin. Le critère C2M obtenu par la méthode de transposition est de 0.77 en utilisant les 3 premiers voisins et de 0.67 avec 4 voisins.

Dans cet exemple le bassin du Vacon à Barbas possède des caractéristiques hydrologiques différentes (superficie très faible et sol imperméable) ayant pour conséquence de dégrader l'estimation finale à la station-cible (C2M en transposition de 0.04).

Ces deux cas de figure nous permettent de confirmer l'importance du choix du voisinage et les limites d'un choix purement mathématique. De plus nous constatons les limites d'un échantillon de stations certes important mais trop restrictif - eu égard au critère de durée-complétude appliqué - ayant pour conséquence d'écarter des stations hydrométriques apportant tout de même de l'information sur de plus courtes périodes.

Suite à cette analyse et dans une perspective opérationnelle, nous décidons d'utiliser les quatre plus proches voisins de chaque station-cible et de ne pas pondérer les quatre hydrogrammes simulés.

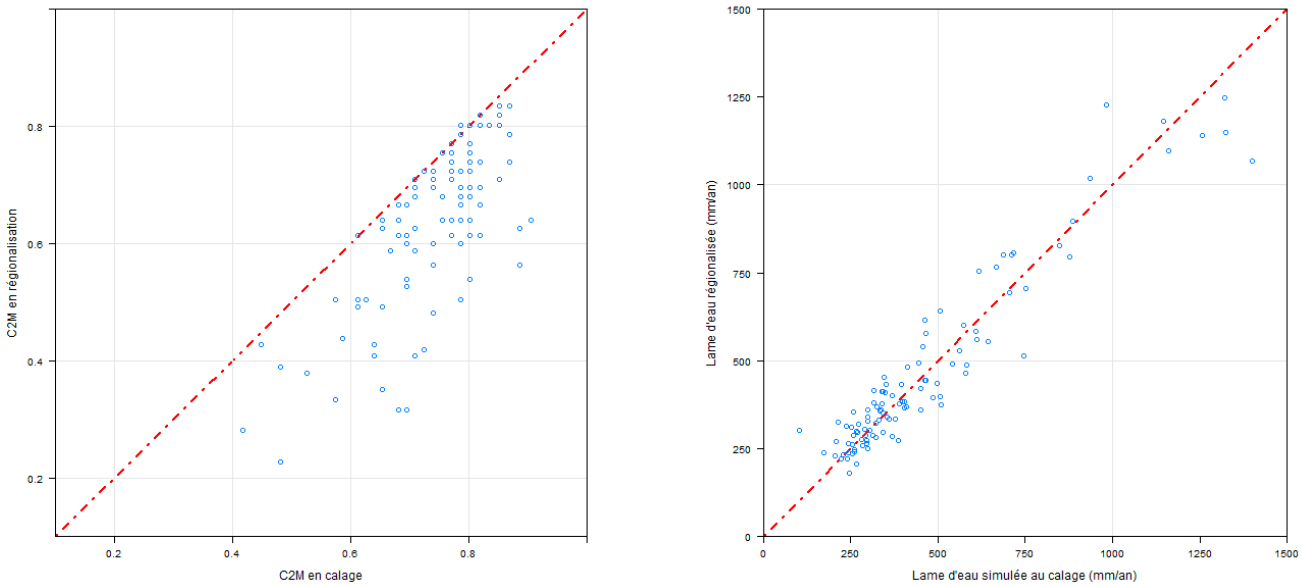
Dans la publication de Oudin et al. (2008) l'optimum est de trois voisins pour cette même méthode mais appliquée sur 913 bassins français. Les résultats en transposition spatiale fondés sur le voisinage à quatre voisins sont présentés sur la Figure 15.



	Calage sur la période P1/P2				Régionalisation			
	NS(RQ)	C2M(Q)	C2M(RQ)	C2M(LQ)	NS(RQ)	C2M(Q)	C2M(RQ)	C2M(LQ)
Min	0.59	0.28	**0.42**	0.23	-1.53	-0.58	**-0.43**	-0.51
Moyenne	0.84	0.68	**0.73**	0.65	0.72	0.56	**0.61**	0.51
Mediane	0.86	0.69	**0.75**	0.69	0.79	0.61	**0.66**	0.59
Max	0.95	0.87	**0.90**	0.90	0.91	0.80	**0.83**	0.83

Figure 15 : Distribution et statistique du critère C2M sur la période de calage 1990-2009 et en transposition (application de la méthode par transposition spatiale des paramètres)

En termes de critère C2M, nous notons une performance moyenne et médiane de 0.61 et 0.66 en utilisant la méthode de régionalisation décrite ci-dessus contre 0.73 et 0.75 en calage. Sur la Figure 16a est présentée le nuage de points du C2M et sur la Figure 16b l'écoulement annuel moyen en calage et transposition.



(a) *(b)*

Figure 16 : Comparaison de l'efficacité de la méthode par transposition des paramètres (a : critère C2M ; b : écoulement annuel moyen). Pour facilité la lecture du graphique trois stations ont été retirées (A3902010, A9013050, B2042010)

Le premier graphique permet de vérifier que le calage fournit de meilleurs résultats qu'en utilisant l'information des quatre stations voisines pour toutes les stations excepté pour la Chiers à Chauvency-Le-Château. Nous pouvons supposer qu'il y a eu une difficulté rencontrée lors du calage ayant pour conséquence une meilleure reconstitution (d'un centième de point en plus) en utilisant les voisins. Le deuxième graphique nous permet de constater qu'il n'y a pas de fort biais dans la reconstitution de l'écoulement annuel moyen par transposition. Attention ce constat est relatif à la lame d'eau simulée par le modèle et non à la lame d'eau observée.

La Figure 17 nous permet d'identifier les stations pour lesquelles la méthode par transposition n'est pas efficace. Figurent en ligne la station cible et en colonne un code couleur relatif à l'efficacité au sens du critère C2M. La première colonne présente le C2M final (après moyenne des hydrogrammes simulés) et les 4 autres colonnes le C2M en transposition, c'est-à-dire en utilisant le jeu de paramètres de chacun des 4 voisins et en l'appliquant à la station-cible. A priori un jeu de paramètres fournissant de mauvais résultats à la station-cible a de forte chance d'être aussi mauvais en transposition à la station-cible. Par conséquent nous avons utilisé le rapport suivant :

$rapEffV_i = \frac{C2M_{transpoV_i}}{C2M_{calageV_i}}$ avec $C2M_{transpoV_i}$ le C2M à la station-cible avec les paramètres du voisin V_i

$C2M_{calageV_i}$ le C2M obtenu en calage à la station V_i

Plus ce rapport est proche de 1 (bleu foncé) et meilleure est l'efficacité au droit de la station-cible en transposant des paramètres du voisin *i*. Inversement, plus ce rapport est proche de 0 voire négatif (rouge foncé), moins bonne est l'efficacité au droit de la station-cible en transposant des paramètres du voisin *i*. Certaines stations-cibles ont un voisinage hydrologiquement « utile » pour la prévisibilité du débit par transposition de paramètres (bleu dominant), d'autres ont un voisinage hydrologiquement « pauvre » pour la prévisibilité du débit par transposition de paramètres (rouge dominant). Ils font alors figure de bassins atypiques ou de monstres hydrologiques lorsque le modèle ne parvient pas à reproduire leur fonctionnement hydrologique (C2M rouge en calage). Enfin pour les cas intermédiaires, le voisinage de la station-cible est constitué de « bons voisins » et de voisins « toxiques ».

Certaines stations-cibles ont un rapport supérieur à 1, ce qui signifie que le C2M en transposition à la station-cible fournit de meilleurs résultats qu'en calage à la station. La méthode d'optimisation des paramètres de calage que nous avons utilisée paraît donc perfectible.

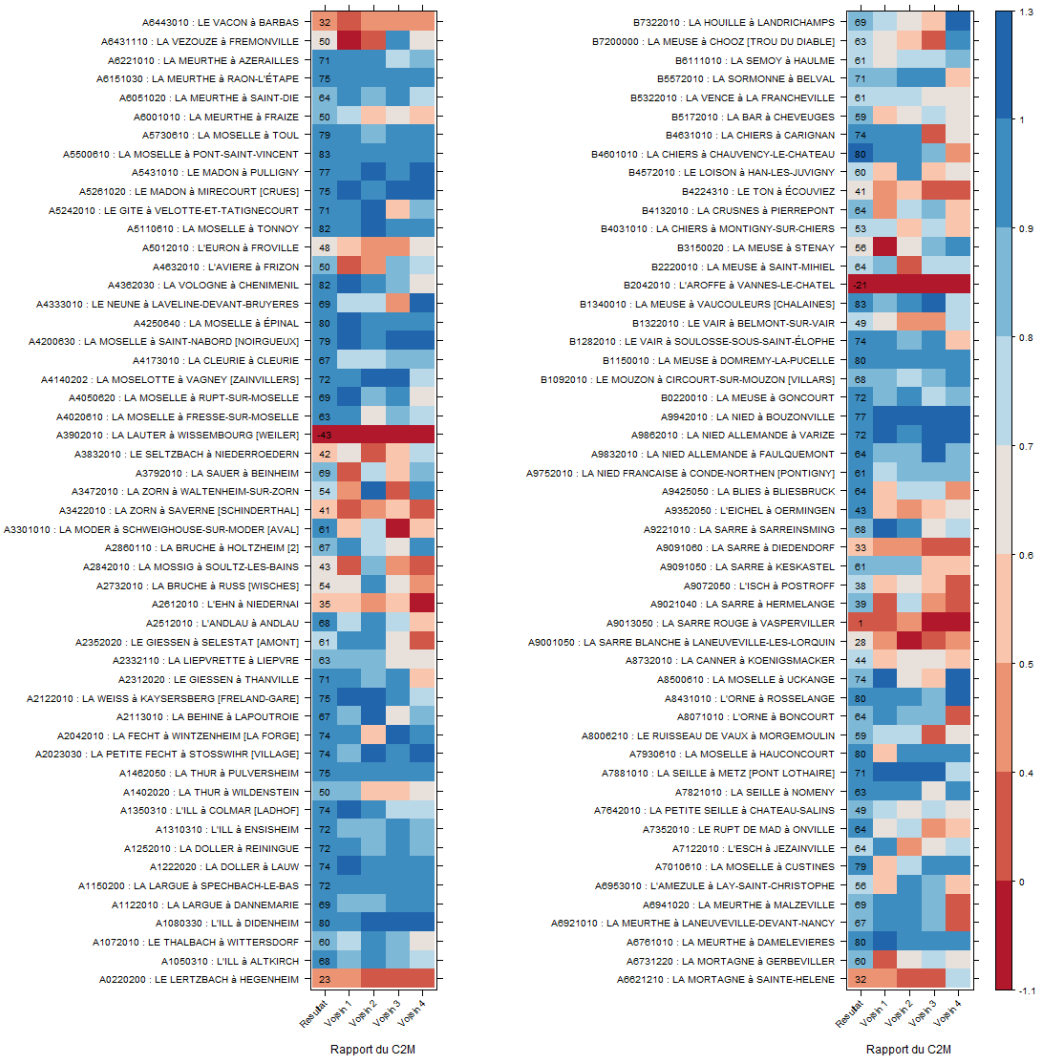


Figure 17 : Efficacité de la méthode de transposition sur la reconstruction finale de la chronique (1ère colonne) et de la transposition du jeux de paramètres de chacun des 4 voisins sur la station-cible (colonne 2 à 5). Les performances sont ici relatives et rapportées au critère C2M issu du calage. Le chiffre de la première colonne est le C2M obtenu avec la méthode par transposition (en pourcentage)

Cette figure permet de mettre en avant les limites d'un choix automatique des voisins comme cela a déjà été évoqué plus haut.

Pour chacune des stations hydrométriques, une liste des quatre premiers voisins est visible en annexe C.

Voici quelques commentaires permettant de justifier les raisons pour lesquelles certaines stations hydrométriques ont un C2M inférieur à 0.6 (i.e. NS de 0.75) e**t donc une prévisibilité faible de leur débit par transposition spatiale des paramètre**s du modèle pluie-débit GR4J:

- **le Lertzbach à Hegenheim** : bassin totalement spécifique (aucune régionalisation possible). Impossibilité d'obtenir un calage robuste à la station. « Monstre hydrologique ».
- **la Thur à Wildenstein** : petit bassin montagnard de 7 km², seuls les paramètres du premier voisin la Moselotte à Vagney fournissent des résultats corrects (C2M de 0.6). Les deux

voisins suivants sélectionnés sont la Fecht à Wintzenheim et la petite Fecht à Stosswihr (fonctionnement différent).

- **l'Ehn à Niedernai** : bassin ayant un fonctionnement spécifique car aucune des transpositions ne fournit de bons résultats (C2M d'environ 0.3 pour les trois premiers voisins et négatif en utilisant les paramètres calés sur la station de la Bruche à Russ). Cours d'eau très anthropisé (prélèvements par la brasserie Kronenbourg).
- **la Bruche à Russ** : Seul le 2ème voisin (l'Andlau à Andlau) et le 3ème (la Bruche à Holtzheim) fournissent de bons résultats (C2M de 0.68 et 0.57). Le voisin le plus proche sélectionné étant le Giessen à Thanville.
- **la Mossig à Soultz-les-Bains et la Moder à Schweighouse-sur-Moder** : bassins ayant un fonctionnement spécifique, seule le deuxième voisin la Zorn à Waltenheim-sur-Zorn fournit un C2M correct respectivement de 0.61 et de 0.55.
- **la Zorn à Saverne** : bassin ayant un fonctionnement spécifique, aucun des C2M en transposition ne dépasse 0.28. « Monstre hydrologique ».
- **la Zorn à Waltenheim-sur-Zorn** : même constat que pour la station précédente située en amont. Les paramètres de ces stations ne fournissent pas de bons résultats. Seuls le 2ème et le 4ème voisin (la Mossig à Soultz-les-Bains et la Moder à Schweighouse-sur-Moder) présente des résultats corrects. La Zorn est influencée par des prises d'eau pour l'alimentation du canal de la Marne au Rhin.
- **le Seltzbach à Niederroedern** : bassins ayant un fonctionnement spécifique. De plus, on note de mauvais résultats en transposition dus au choix de voisins très spécifiques (la Moder à Schweighouse-sur-Moder et la Lauter à Wissembourg).
- **Lauter à Wissembourg** : bassin totalement spécifique, une bonne reconstitution ne peut être envisagée (C2M en calage de 0.55). « Monstre hydrologique ».
- **l'Euron à Froville** : bassin de 100 km². Les trois premiers voisins sélectionnés se situent sur la Moselle (très grandes superficie). Le C2M en transposition est d'environ 0.43.
- **l'Aviere à Frizon** : Les deux premiers bassins voisins ont une superficie très grande et donc un fonctionnement différent (La Moselle à Toul et à Pont-Saint-Vincent). En revanche les deux stations suivantes (sur le Madon et sur le Gite) fournissent des résultats convenables (C2M de 0.60). L'Avière est influencée par le réservoir de Bouzey qui occupe l'extrémité amont de son bassin. L'eau du réservoir aliment le canal des Vosges et se répartit entre le bassin de la Moselle et celui de la Saône (Coney).
- **la Meurthe à Fraize** : bassins ayant un fonctionnement spécifique (situé en amont). Pas de stations voisines sélectionnées ayant un même fonctionnement (C2M en transposition entre 0.38 et 0.48).
- **la Vezouze à Fremonville** : bassins ayant un fonctionnement spécifique et n'ayant pas de voisins semblables (bassin gréseux). Les deux premiers voisins (le Vacon à Barbas et la Sarre à Diedendorf) ont un fonctionnement hydrologique différent et biaise les résultats en transposition (C2M de -0.12 et 0.18).
- **le Vacon à Barbas** : Bassin de petite taille ayant un fonctionnement totalement spécifique dans son secteur (aucune régionalisation possible).
- **la Mortagne à Sainte-Helene** : Seule le 4ème voisin (la Meurthe à Raon-l'Etape) fournit des résultats corrects (C2M de 0.55). La station à Gerbeviller est le 3ème voisin sélectionné (C2M

de 0.18). Rappelons que sur cette station nous avons constaté a un biais humide sur les précipitations se répercutant sur les valeurs des paramètres optimisés de GR4J (X1 : 1300 mm et X2 : -14 mm).

- **l'Amezule à Lay-Saint-Christophe** : Bassin de faible superficie. Le 1er voisin et le 4ème voisin sélectionné sont des stations sur la Moselle (fonctionnement différent). Les paramètres transposés des stations sur la Seille fournissent de meilleurs résultats.
- **la Petite Seille à Chateau-Salins** : bassin ayant un fonctionnement spécifique. Les deux premiers voisins se situent sur la Seille. L'efficacité en transposition est environ la même avec un C2M de 0.46.
- **la Canner à Koenigsmacker** : bassin ayant un fonctionnement spécifique. Seules des stations sur la Nied (Française et Allemande) sont sélectionnées avec un C2M en transposition homogène de 0.43.
- **la Sarre Blanche à Laneuveville-Les-Lorquin, la Sarre Rouge à Vasperviller, la Sarre à Hermelange et la Sarre à Diedendorf** : stations déjà identifiées comme « pathologiques » (problème d'hydrométrie). Impossible d'obtenir un calage robuste aux stations (i.e. aucune régionalisation possible).
- **l'Isch à Postroff et l'Eichel à Oermingen** : station « pathologique » déjà identifiée dans le §III.5 présentant des erreurs dans la chronique de débits observés.
- **l'Aroffe à Vannes-le-Chatel** : bassin karstique, une bonne reconstitution ne peut être envisagée (C2M en calage de 0.67). « Monstre hydrologique ».
- **la Meuse à Stenay** : mauvaise reconstitution due au choix du premier voisin ayant un fonctionnement très spécifique avec un C2M en transposition de -0.08 (l'Aroffe à Vannes-le-Chatel). Voisin toxique.
- **la Chiers à Montigny-sur-Chiers** : bassins ayant un fonctionnement spécifique. La transposition pour chacun des voisins fournis des résultats globalement homogènes avec un C2M d'environ 0.48. On peut supposer que sa situation frontalière (absence de stations hors Rhin-Meuse) a pour conséquence un choix de voisins ayant un fonctionnement hydrologique différent (ex. la Chiers à Carignan qui est complétement en aval).
- **le Ton à Ecouviez** : station déjà identifiée dans le §III.5 comme « pathologique » (artefacts dans la chronique de débits observés, débits influencés). Les trois premiers voisins sélectionnés se situent sur la Chiers.

Ce constat nous permet de conclure à la limite du choix automatique des voisins et de s'interroger quant à la conservation de stations contrôlant des bassins au fonctionnement très atypique. De plus l'utilisation d'un voisinage géographique nous permet d'identifier les stations hydrométriques étant isolées d'un point de vue physiographique. En effet, un bassin atypique peut être utile pour une transposition sur un bassin voisin possédant des caractéristiques hydro-physiques similaires et dépourvu de voisinage hydrologique, mais peut ajouter un biais pour la reconstitution des débits au droit de stations contrôlant des bassins au fonctionnement différent.

A la lumière de la liste des stations ci-dessus, il ressort deux catégories de stations-cibles « bizarres » pour lesquelles la méthode de régionalisation ne parvient pas à reproduire le débit :

- celles qui possèdent un ou plusieurs donneurs bizarres dans leur voisinage géographique (ex. de l'Aroffe à Vannes-le-Chatel, donneur de la Meuse à Stenay),

- celles qui contrôlent un bassin au fonctionnement hydrologique singulier (ex. de la Lauter à Wissembourg) ou qui sont sujettes à un problème d'hydrométrie.

Le test du C2M appliqué en validation croisée peut être utilisé pour « black-lister » certaines stations parmi les donneurs d'une station-cible RCS. Celles-ci ne seront pas utilisées pour la reconsitution du débit au point-cible, excepté dans le cas où la station RCS est très proche d'une station « black-listée » (physiographiquement ou située sur l'amont du bassin contrôlé par la station bizarre). Dans ce cas, et sous réserve que le diagnostic ne révèle pas de problème d'hydrométrie, l'information hydrométrique de la station black-listée pourra être transférée à la station-cible en proratisant le débit en fonction de la surface drainée.

Sur la Figure 18, nous avons représenté l'efficacité en transposition de chacun des quatre voisins selon la distance géographique à la station-cible. Cette représentation étant dépendante du choix des classes de distances, nous avons préféré raisonner en effectifs égaux plutôt qu'en classe de distance égale (cinq classes comptant environ 83 stations). Afin de se rendre compte de la tendance en prenant des voisins très éloignés, nous avons découpé la dernière classe en quatre nouvelles classes par tranche de 10 km. Les classes sont donc d'effectifs différents et relatifs à la taille de la boîte à moustache.

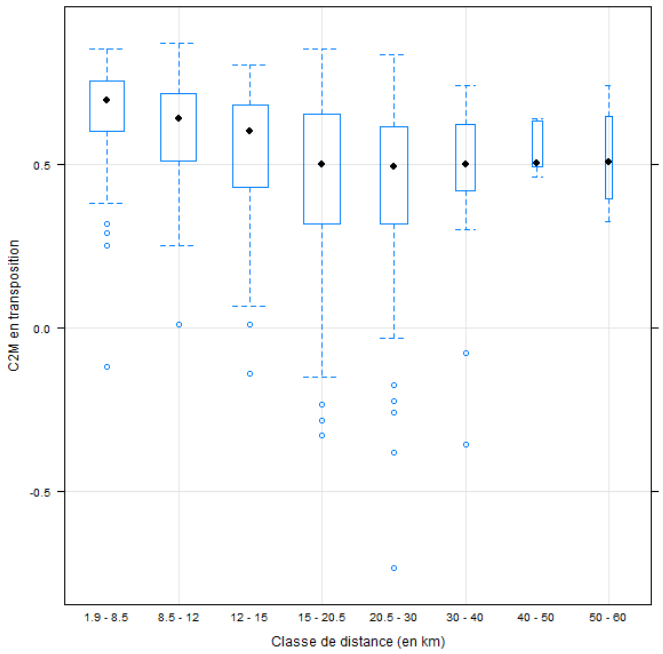
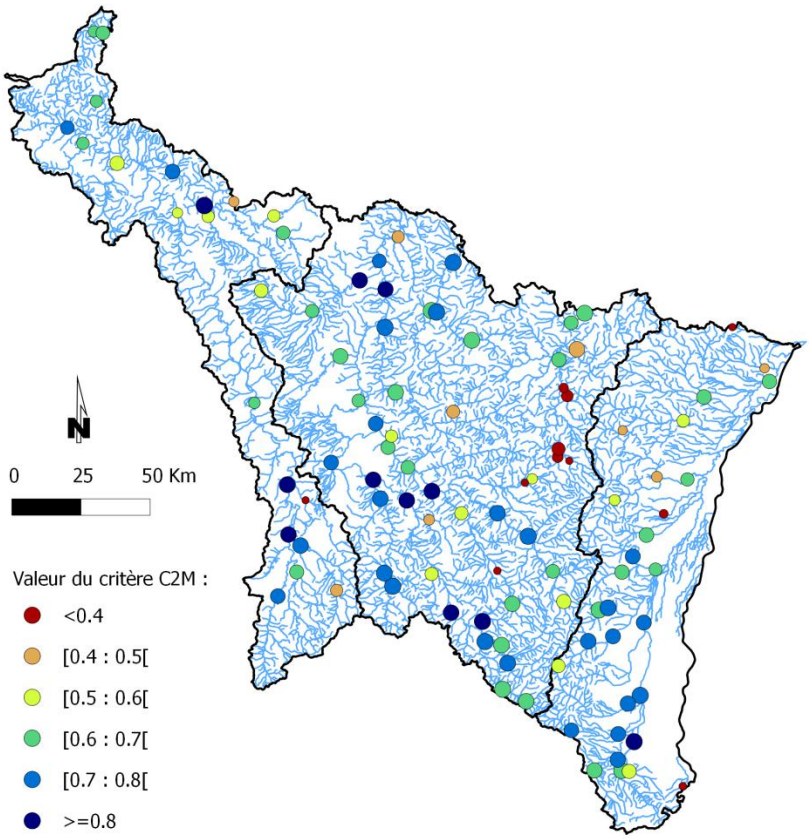


Figure 18 : Comparaison du critère C2M en transposition par tranche de distance au bassin-receveur.

Malgré le caractère spécifique d'un tel graphique, il met en évidence le fait suivant : jusqu'à une **distance-seuil de 15 kilomètres**, plus un bassin-donneur est proche du bassin-receveur, et meilleure est l'efficacité en transposition spatiale. Au-delà, un « pseudo » palier apparaît et l'efficacité se stabilise.

Enfin sur la Figure 19, les valeurs de C2M en transposition sont spatialisées à l'échelle du secteur d'étude.



Valeur du critère C2M	Effectif de stations
< 0.4	11
[0.40 : 0.50]	9
[0.50 : 0.60]	11
[0.60 : 0.70]	35
[0.70 : 0.80]	27
>= 0.80	11
TOTAL	**104**

Figure 19 : Classe de valeur du critère C2M obtenu après mise en oeuvre de la méthode par transposition spatiale des paramètres. La taille des cercles est proportionnelle à la valeur du rapport C2Mregio/C2Mobs

V. Apport de l'information issue des jaugeages ponctuels dans la méthode par transposition

V.1 Inventaire et variabilité temporelle des jaugeages épisodiques

Le but de cette partie est d'étudier brièvement les caractéristiques des jaugeages épisodiques comme leur répartition temporelle afin d'appliquer la méthode du §V.3 en validation croisée dans un contexte similaire à la réalité.

Etant donné la différence de format entre les deux bases de données des jaugeages épisodiques récupérées auprès de l'AERM (SIERM) et de la DREAL Lorraine (BAREME)(cf.

§II.2.2), nous avons établi une clé de jointure qui nous a permis de fusionner les deux bases de données et d'éliminer les doublons.

N'ayant pas toutes les informations pour une exploitation exhaustive et au vu des caractéristiques de la méthode que nous souhaitons mettre en œuvre, nous nous sommes intéressé à sélectionner seulement les jaugeages épisodiques associés aux 98 stations RCS de l'étude. Il convient de rappeler que ces bases de données (notamment celle des jaugeages effectués par l'AERM) sont une « mine d'information » et que leur quantité et qualité en font une véritable plus-value quel que soit le contexte d'utilisation notamment l'apport d'information hydrométrique dans des localités pauvres en données.

Une fois les deux bases de données fusionnées et les doublons retirés, **14924 points de jaugeages épisodiques** sont recensés au droit des stations des RCS.

La BD SIERM étant plus ancienne et beaucoup plus fournie, elle contient presque la totalité des jaugeages retenus (environ 98%). On constate que sur les 98 stations RCS de l'étude des mesures sont disponibles pour 80 stations avec un nombre minimum de jaugeages par station de 8, maximum de 616, médian et moyen respectivement de 142 et 187. La Figure 20 présente l'évolution du nombre de jaugeages par an depuis 1971.

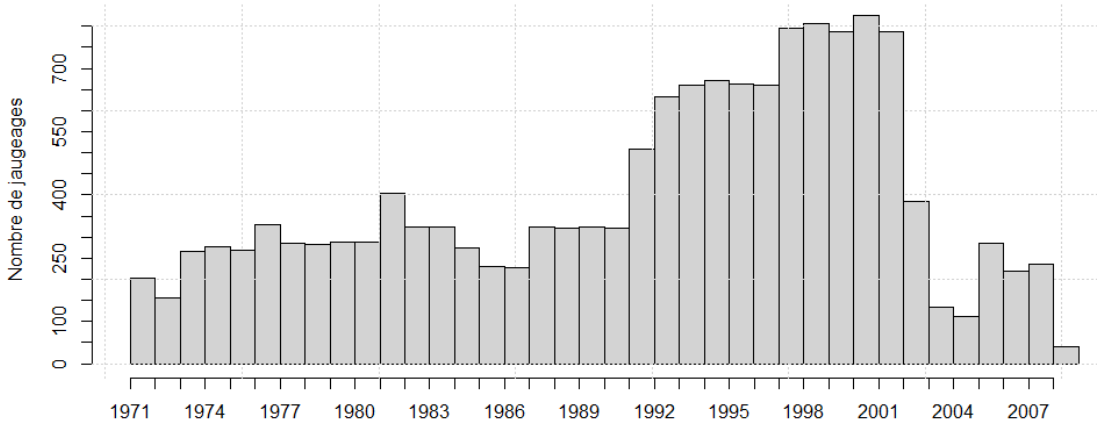


Figure 20 : Evolution du nombre de mesures par année toutes stations RCS confondues (sources des données ?)

Globalement, nous constatons l'existence de quatre paliers : i) la période 1971-1990 avec une moyenne de 290 jaugeages, ii) la période 1991-1996 avec une moyenne de 632, la période 1997-2001 avec une moyenne de 800 et iv) la période post-2001 avec une moyenne de 220 jaugeages par an.

Notons par ailleurs que la répartition du nombre de jaugeages mensuels est assez uniforme au cours de l'année (moyenne de 1240 jaugeages par mois) avec une concentration légèrement plus importante en été.

La Figure 21 représente la répartition temporelle de ces jaugeages mais cette fois-ci pour chacune des 80 stations RCS couvertes par au moins un jaugeage épisodique sur la période 1971-

2009. Le nombre total de jaugeages ponctuels pour chacune des stations RCS sur les périodes 1971-2009 et 1990-2009 figure en annexe D.

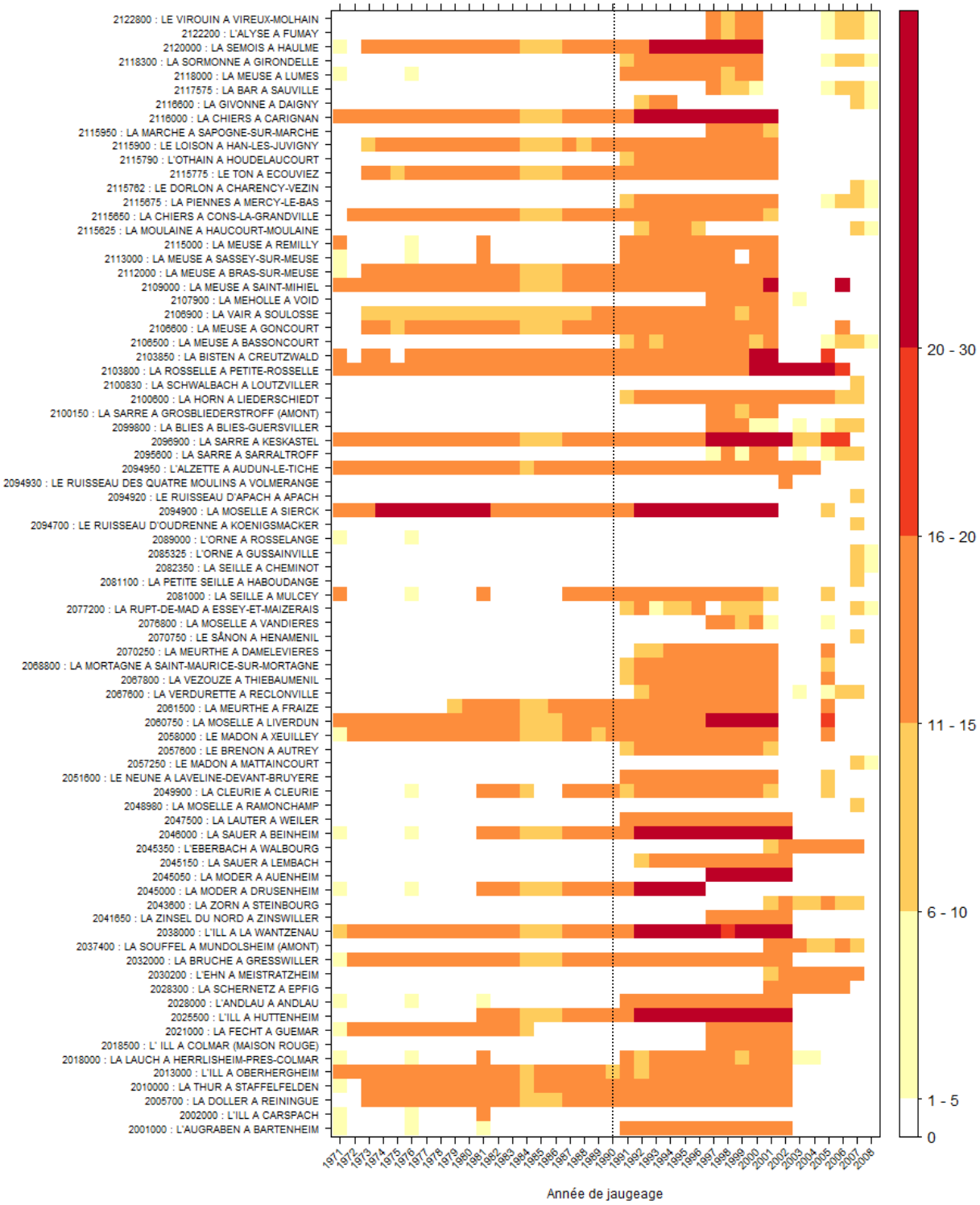


Figure 21 : Evolution du nombre de jaugeages épisodiques par année pour chacune des 80 stations RCS jaugées. Le code tout à gauche représente le numéro national, identifiant de la station RCS

Nous confirmons la densité de cette information avec une classe modale d'environ 11-15 jaugeages épisodiques par an pour beaucoup de stations RCS.

V.2 Validation des jaugeages ponctuels à l'aide de la station hydrométrique voisine à la station RCS

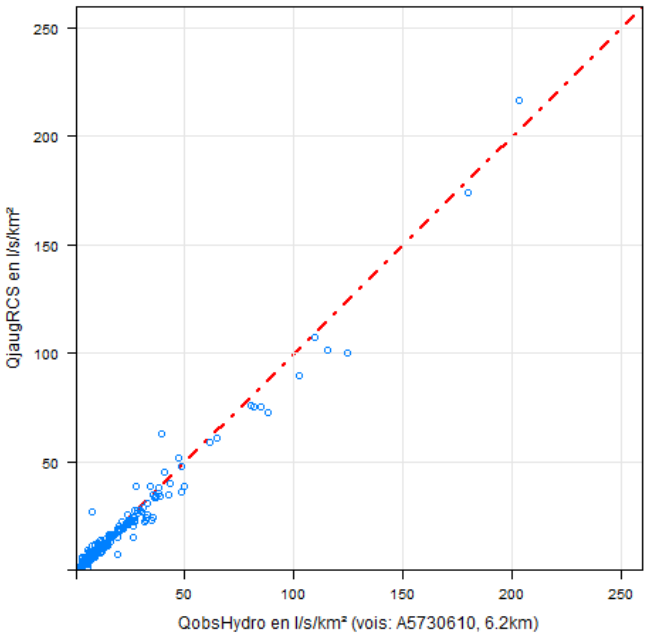
N'étant pas dans une optique d'une modélisation la « plus représentative d'une large période », nous avons utilisé l'échantillon des 277 stations hydrométriques (c'est-à-dire sans filtre sur la « durée/complétude »). Nous avons tout de même retiré les stations ayant un régime hydrologique fortement influencé (en basses et hautes eaux) et les stations sans signification hydrologique portant le nombre de stations à 241 stations. Afin d'apprécier la vraisemblance des jaugeages ponctuels, nous les avons comparés aux débits moyen journalier de la station hydrométrique la plus proche au sens d'une distance entre centroïdes des bassins. Attention cette approche est une « pseudo-validation » car les jaugeages ponctuels sont mesurés en débit instantané et peuvent ne pas refléter la tendance sur la journée en période de crue.

Comme nous le verrons par la suite cette information complémentaire apporte un gain réel de prévisilibité du débit à la méthode par transposition.

Par contre il convient d'étudier minutieusement les jaugeages ponctuels afin d'écarter ceux qui pourraient influencer négativement l'efficacité de la méthode. Une liste indiquant la station hydrométrique la plus proche pour chacune des stations RCS jaugés sur la période 1990-2009 est présentée en annexe E. De plus, nous avons fait figurer les statistiques d'adéquation (R^2, moyenne de l'erreur, etc.) entre débits moyens journaliers à la station hydrométrique et débits instantanés aux dates concomitantes. En utilisant le premier voisin nous comptons 55 stations RCS (sur les 78 ayant des jaugeages observés sur la période de référence) pour lesquelles il y a plus de 20 mesures concomitantes. Les deux stations ne contrôlant pas nécessairement des bassins de même surface, nous travaillerons sur les débits spécifiques.

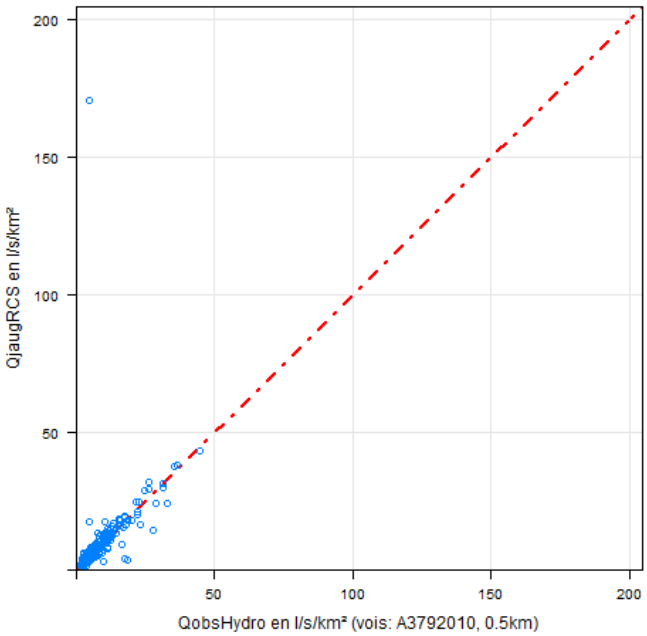
Globalement nous obtenons de bons résultats avec un R^2 moyen et médian respectivement de 0.75 et 0.80. La Figure 22 présente quatre exemples d'adéquation (*a* : bonne adéquation, *b* : présence d'un débit instantané très atypique, *c* : bonne adéquation, *d* : apport du ruisseau de la Madine, émissaire du Lac de Madine).

a)



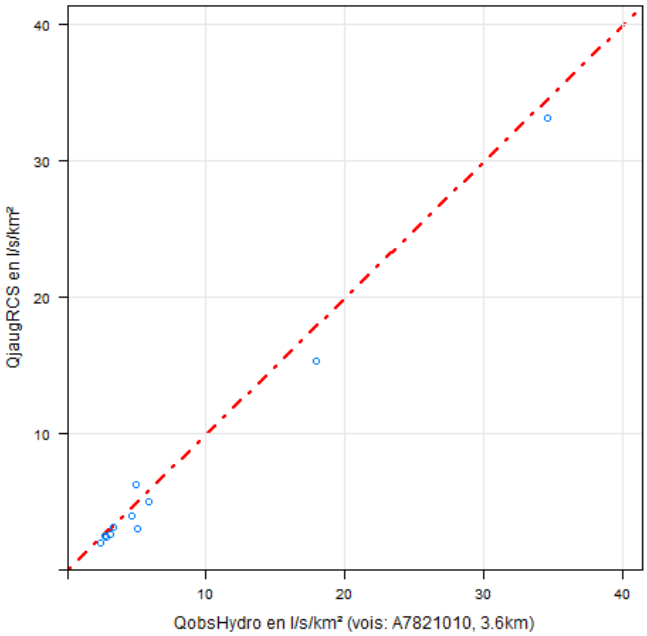
Station RCS : La Moselle à Liverdun
Station hydrométrique : La Moselle à Toul

b)



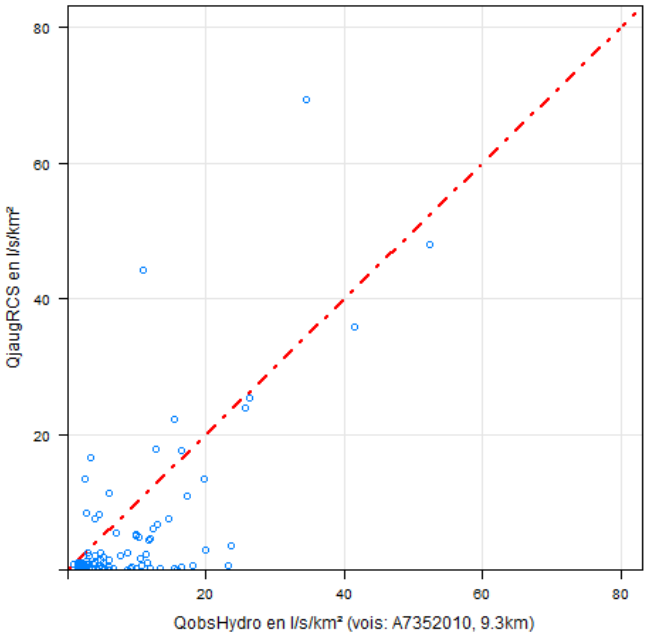
Station RCS : La Sauer à Beinheim
Station hydrométrique : La Sauer à Beinheim

c)



Station RCS : la Seille à Cheminot
Station hydrométrique : la Seille à Nomeny

d)



Station RCS : le Rupt de Mad à Essey-et-Maizerais
Station hydrométrique : le Rupt de Mad à Onville

Figure 22 : Exemples de nuages de points comparant des jaugeages ponctuels effectués au droit d'une station des RCS et les débits moyen journalier mesurés à la station hydrométrique la plus proche (distance entre centroïdes indiqués dans l'étiquette de l'axe des abscisses).

V.3 Ajout de l'information hydrométrique ponctuelle dans la méthode de transposition spatiale des paramètres

Dans l'article de Perrin et al. (2007) analysant l'impact du nombre de débits utilisés pour l'optimisation sur les paramètres et l'efficacité de la modélisation hydrologique, il est prouvé que chaque paramètre du modèle GR4J se stabilise à partir d'environ 350 données de débits. Bien entendu, cela sous l'hypothèse d'un tirage représentatif alternant périodes sèches et humides. Ce constat a été établi sur 12 bassins des Etats-Unis selon une procédure de tirage aléatoire de *n* débits sur la chronique observée avec 100 simulations.

Dans le cas où le nombre de débits pour caler le modèle pluie-débit est insuffisant (chroniques de débits très courtes ou discrètes), une méthode alternative nommée DISP (DIScrete Parameterization, Perrin et al. 2008) permet d'optimiser le modèle pluie-débit pour des périodes de calage non continues.

Bien entendu cette méthode ne génère un gain de prévisibilité réel par rapport à une simple optimisation sur les débits observés que si la station-cible ne possède pas un nombre suffisant de débits (pas de gain significatifs après une ou deux années).

Par ailleurs, dans le cadre de notre étude nous élargirons cette méthode comme l'ont fait Rojas-Serna et al. (article en révision) afin d'obtenir une estimation locale composite du débit basée sur un modèle de reconstitution « hybride ». Celui-ci consiste à utiliser deux types d'informations : i) l'information régionale (par transposition spatiale de paramètres, cf. §IV) et ii) l'information locale disponible en cherchant dans la bibliothèque de paramètres régionale, le jeu de paramètres fournissant une reconstitution des débits la plus fidèle aux *N* points de jaugeages ponctuels observés.

Chacune de ces deux informations est prise en compte à travers l'attribution d'un rang au bassin-donneur : plus le rang est faible plus il y a ressemblance entre le bassin-cible et le bassin-donneur (au sens de la proximité géographique ou au sens de la reconstitution des débits aux points de jaugeages disponibles au droit de la station-cible). Enfin un rang composite est calculé sur la base d'une moyenne pondérée entre les deux rangs (α correspondant au pondérateur). C'est ce rang final qui nous permettra d'identifier les *M* meilleurs voisins et de transposer ensuite leurs paramètres à la station-cible. Un résumé de cette méthode est présenté en Figure 23.

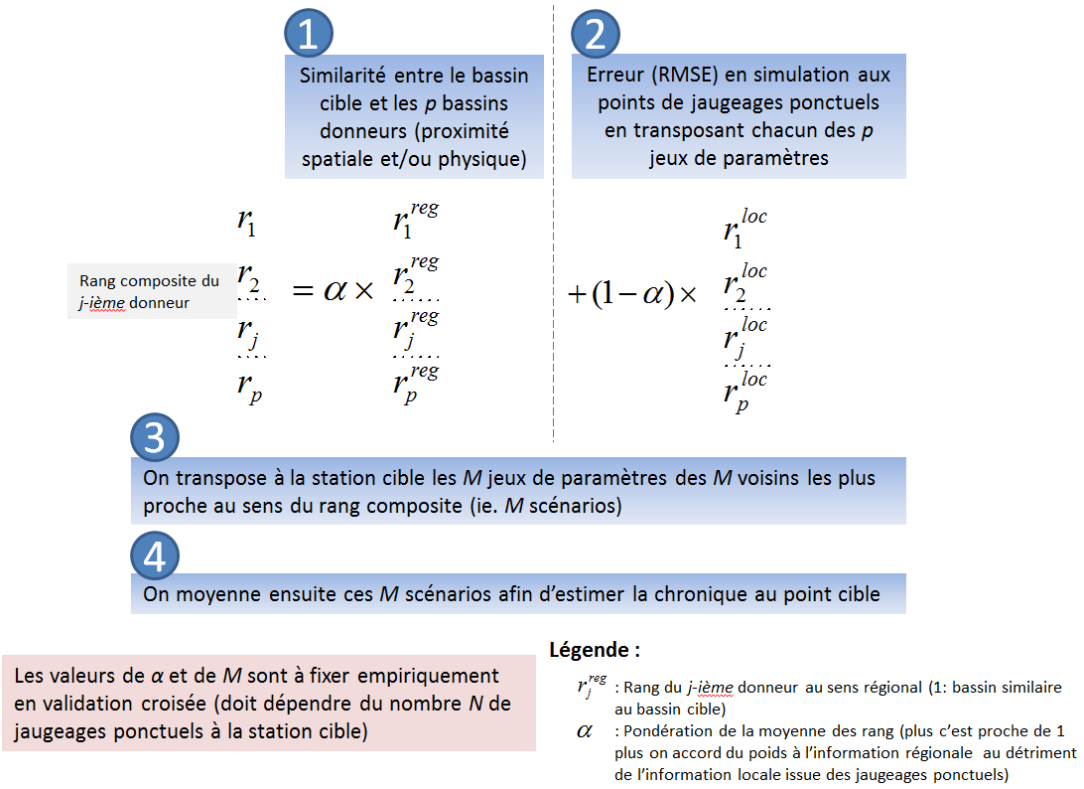


Figure 23: Schéma récapitulatif de la méthode hybride (inspiré des travaux Rojas-Serna et al. , en révision) permettant de prendre en compte l'information hydrologique régionale et l'information hydrométrique locale issue des jaugeages ponctuels.

La valeur α permet de pondérer le rang final et par conséquent l'efficacité de la méthode. Plus elle est proche de 0 plus nous donnons du poids à l'information hydrométrique disponible à la station-cible. Si ce pondérateur est égal à 0 nous sélectionnerons les *M* meilleurs voisins qui reconstituent au mieux les *N* jaugeages ponctuels disponibles à la station-cible (le critère de proximité géographique n'intervient pas dans l'estimation locale du débit). A contrario, la méthode de transposition spatiale appliquée au §IV équivaut à une valeur α = 1.

V.4 Optimisation de la pondération en validation croisée

L'avantage de cette méthode est d'inclure l'information hydrométrique ponctuelle disponible au droit des stations des RCS. Le poids de cette information est défini par le pondérateur α qui doit être variable selon le nombre de jaugeages ponctuels disponibles au droit de la station RCS. Afin de pouvoir appliquer cette méthode en mode opérationnel, il convient d'étudier le lien en validation croisée entre le pondérateur α et le nombre *N* de jaugeages.

Pour ce faire nous avons considéré chacune des 104 stations hydrométriques comme station-cible puis appliqué la méthode ci-dessus en faisant varier les valeurs α et *N*. Comme nous l'avons vu précédemment les points de jaugeages ponctuels au droit des stations des RCS sont répartis uniformément durant l'année et pour faciliter le calage des paramètres nous les avons supposés uniforme au cours des années. Suite à cette hypothèse, nous avons donc procédé à un tirage aléatoire de *N* jaugeages dans la chronique de débits de la station-cible. Ensuite un rang dit « local » peut être dérivé et enfin un rang composite peut être construit pour chaque valeur de α.

La transposition spatiale à partir des *M* voisins nous permet de conclure à l'efficacité (au travers du C2M) de la méthode pour chaque combinaison de α et de *N*. Au vu des résultats ci-dessus (§ IV.2) nous avons décidé d'utiliser les quatre plus proches voisins.

En conclusion la moyenne du C2M toutes stations hydrométriques confondues peut être calculée pour chaque paramétrisation de la méthode (cf. Figure 24a). La limite de cette recherche d'optimum en validation croisée est que nous considérons les débits moyens journaliers échantillonnés comme des jaugeages ponctuels, ce qu'ils ne sont pas. Nous emploierons de manière abusive l'expression « jaugeages ponctuels » pour qualifier l'échantillon des débits moyens journaliers échantillonnés.

N'ayant pas l'optimum pour la valeur α en mode opérationnel pour un nombre quelconque de jaugeages ponctuels, nous avons optimisé une fonction exponentielle (minimisation du RMSE) à l'aide des optimums obtenus en validation croisée afin de calculer au droit des stations RCS la pondération α selon le nombre *N* de jaugeages ponctuels disponibles (cf. Figure 24b). Nous obtenons la formule suivante :

$$\alpha = exp\left[-\frac{N}{16}\right]$$

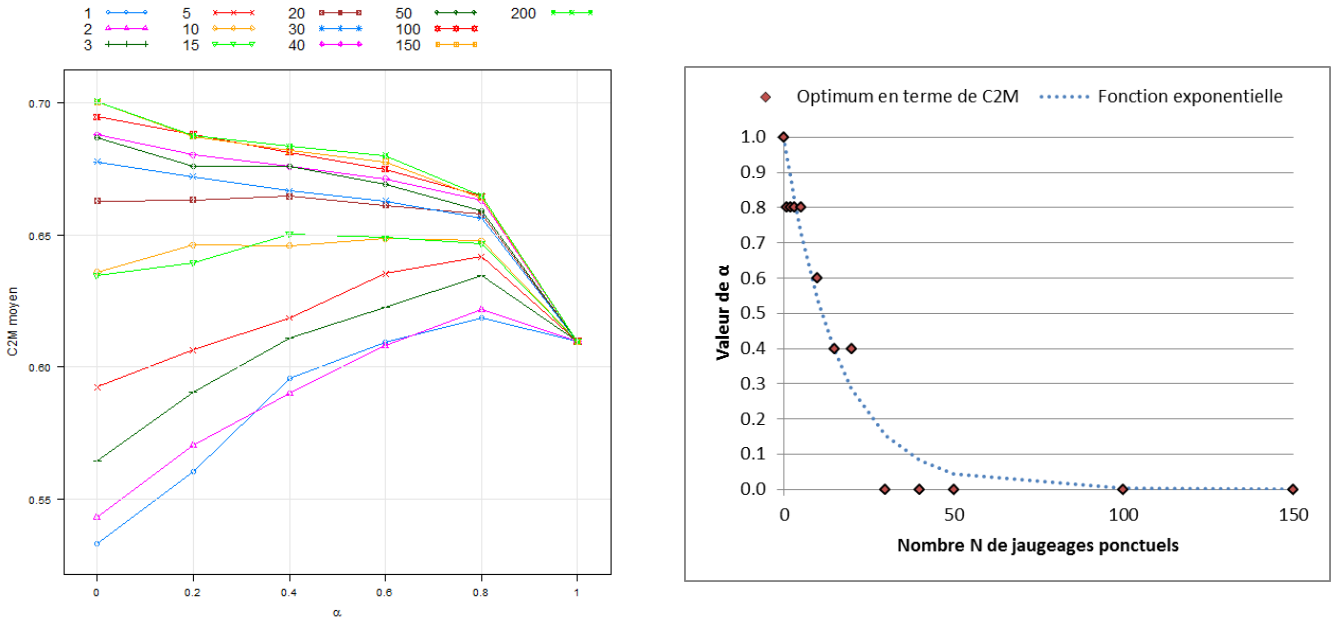


Figure 24 : Evolution de l'efficacité de la méthode selon la pondération a et le nombre N de jaugeages ponctuels en considérant 4 bassins-donneurs (graphique de gauche). Détermination d'une fonction exponentielle permettant d'obtenir la valeur α selon le nombre N de jaugeages ponctuels (graphique de droite).

Nous retrouvons bien évidement le résultat obtenu par la méthode de transposition selon la proximité spatiale (C2M moyen de 0.61) lorsque α est égale à 1, quel que soit le nombre *N* de jaugeages. L'information hydrométrique, même partielle au travers d'un seul jaugeage, est importante et fournit un gain d'efficacité non négligeable. Nous constatons qu'à partir de 20 jaugeages ponctuels aucun optimum ne semble se dégager et que seule l'information dérivée des

jaugeages suffit afin d'établir les quatre bassins-donneurs les plus semblables au bassin-cible (α=1).

V.5 Comparaison de l'efficacité entre trois méthodes proposées

Nous avons constaté précédemment que l'information hydrométrique ponctuelle même partielle est importante et apporte un gain de performance par rapport à une méthode de transposition spatiale basée seulement sur la distance entre centroïdes des bassins afin de déterminer les plus proches voisins. Dans cette partie nous comparerons les résultats pour les 3 méthodes suivantes :

- M1 : méthode dite de référence (cf. §IV.1)
- M2 : méthode M1 + ajout de l'information hydrométrique ponctuelles (cf. §V.3)
- M3 : calage d'un modèle GR4J directement sur les débits ponctuels (algorithme DISP)

Cette partie étant en cours d'analyse et pour montrer l'intérêt de données de débits non continues, nous avons volontairement choisi un paramétrage commun aux méthodes M2 et M3. Au vu de la banque de données des jaugeages ponctuels, nous avons fixé 50 jaugeages répartis uniformément sur tout la période 1900-2009. Notons qu'avec cette valeur et comme nous l'avons vu sur la Figure 24, le pondérateur α=0. Bien entendu nous avons utilisé les mêmes débits échantillonnés pour les méthodes M2 et M3. La Figure 25 illustre l'efficacité selon la méthode et les valeurs de C2M figurent en annexe B.

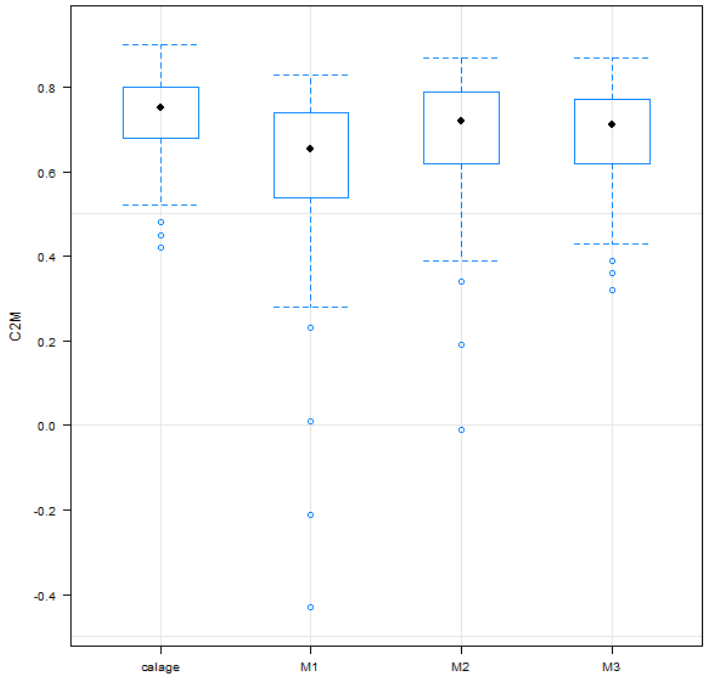


Figure 25 : Comparaison de la distribution du C2M conditionnée par la méthode utilisée. Résultat en validation croisée sur l'échantillon des 104 stations hydrométriques

Ce graphique nous permet de confirmer que les méthodes M2 et M3 apportent de meilleurs résultats en comparaison de la méthode de référence M1. Le gain entre M2 et M1 s'explique par

un choix de voisins différents basé sur un fonctionnement hydrologique similaire (même dynamique des débits échantillonnés) et non pas sur un simple critère de proximité spatiale (cas de M1). Notons que le gain d'efficacité maximum s'observe sur les stations déjà identifiées comme bizarres car la méthode M1 avait des difficultés à être appliquée correctement (notamment sur les « monstres hydrologiques »).

VI. Application de la méthode en mode opérationnel aux stations des RCS

VI.1 Inventaire du voisinage au droit des stations des RCS

Avant de mettre en œuvre la méthode en opérationnel, il convient tout d'abord d'étudier le voisinage au droit des 98 stations RCS afin de sortir de l'échantillon les stations des RCS qui compte une station hydrométrique au même endroit (parmi les 104 stations de référence) et que l'on peut considérer comme jaugées. C'est le « cas idéal » où il n'est pas nécessaire de mettre en œuvre une méthode de régionalisation et où il suffit de dériver les phases hydrologiques directement à partir de la station hydrométrique pérenne sous l'hypothèse qu'elle soit en service lors de la reconstitution. Si cela n'est pas le cas, et à condition que la station hydrométrique ait enregistré un nombre de débits journaliers suffisants, on pourrait envisager de caler le modèle GR4J sur les débits antérieurs à l'arrêt de la station.

Suite à l'examen des 4 plus proche voisins (cf. annexe F), nous constatons tout d'abord que 20 stations RCS portent le même nom que la station hydrométrique la plus proche. Attention ce constat seul ne suffit pas à identifier les stations RCS comme fusionnelle avec une station hydrométrique. C'est pour cette raison que nous mentionnons dans le Tableau 6 la distance entre la station RCS et la station hydrométrique ainsi que la différence de surface drainée. Rappelons que ces grandeurs sont obtenues à l'aide du plan de drainage à 100 m ce qui implique une erreur de ± 50m sur les coordonnées des stations.

Numéro national	Nom	Surface théorique (MNT)	Nom du 1er voisin	Surface théorique du 1er voisin	Différenciel de surface (en absolu)	Distance entre centroïdes (en m)	Distance entre stations (en m)
2005700	LA DOLLER à REININGUE	187.5	LA DOLLER à REININGUE	187.4	0	0	279
2018500	L'ILL à COLMAR (MAISON ROUGE)	1832.6	L'ILL à COLMAR [LADHOF]	1814.4	18	719	279
2018780	LA PETITE FECHT à STOSSWIHR (B)	15.6	LA PETITE FECHT à STOSSWIHR [VILLAGE]	43.8	28	2600	3685
2028000	L'ANDLAU à ANDLAU	37.4	L'ANDLAU à ANDLAU	43.8	6	788	1726
2046000	LA SAUER à BEINHEIM	522.4	LA SAUER à BEINHEIM	508.0	14	467	1442
2047500	LA LAUTER à WEILER	271.9	LA LAUTER à WISSEMBOURG [WEILER]	271.9	0	0	193
2049900	LA CLEURIE à CLEURIE	57.8	LA CLEURIE à CLEURIE	64.1	6	598	1125
2051600	LE NEUNE à LAVELINE-DEVANT-BRUYERE	94.6	LE NEUNE à LAVELINE-DEVANT-BRUYERES	95.5	1	21	709
2056200	LA MOSELLE à TONNOY	1991.2	LA MOSELLE à TONNOY	1989.2	2	138	1914
2061500	LA MEURTHE à FRAIZE	73.4	LA MEURTHE à FRAIZE	66.3	7	692	2032
2070250	LA MEURTHE à DAMELEVIERES	2285.8	LA MEURTHE à DAMELEVIERES	2288.1	2	65	337
2089000	L'ORNE à ROSSELANGE	1272.2	L'ORNE à ROSSELANGE	1273.5	1	0	456
2096900	LA SARRE à KESKASTEL	877.9	LA SARRE à KESKASTEL	877.9	0	0	126
2106600	LA MEUSE à GONCOURT	374.5	LA MEUSE à GONCOURT	374.5	0	0	119
2106900	LE VAIR à SOULOSSE	447.4	LE VAIR à SOULOSSE-SOUS-SAINT-ÉLOPHE	447.4	0	0	119
2109000	LA MEUSE à SAINT-MIHIEL	2546.5	LA MEUSE à SAINT-MIHIEL	2549.1	3	0	772
2115775	LE TON à ECOUVIEZ	304.8	LE TON à ÉCOUVIEZ	304.7	0	0	108
2115900	LE LOISON à HAN-LES-JUVIGNY	346.4	LE LOISON à HAN-LES-JUVIGNY	346.4	0	0	102
2116000	LA CHIERS à CARIGNAN	2112.2	LA CHIERS à CARIGNAN	1969.4	143	2338	3125
2120000	LA SEMOIS à HAULME	1337.4	LA SEMOY à HAULME	1337.4	0	0	102

Tableau 6 : Liste des stations RCS ayant une station hydrométrique portant le même nom. Les informations de surface drainée (km²) et de distance (m) sont obtenues à l'aide du plan de drainage construit sous HydroDem

Ne possédant pas les surfaces drainées au droit des stations des RCS nous n'avons pu, comme pour les stations hydrométriques, valider leurs coordonnées géographiques grâce à leur surface de bassin versant. Par conséquent s'il y a un différentiel entre deux stations, nous ne savons pas si c'est la station RCS qui est mal positionnée sur le plan de drainage ou si elle est réellement située à un endroit différent de la station hydrométrique portant le même nom.

Il conviendrait donc de valider les surfaces des bassins contrôlés par les 98 stations RCS à l'aide de l'annexe G. Dans un deuxième temps il faudrait identifier les stations RCS strictement confondues à une station hydrométrique. Ne possédant pas la connaissance du réseau RCS, ce travail d'identification devra être réalisé avec l'expertise des agents de l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse.

Une extension de l'échantillon de référence peut être envisagée afin de permettre d'inclure d'autres stations hydrométriques confondues ou très proches de stations RCS et qui n'avaient pas été retenues à cause du critère de « durée/complétude ». En effet, comme nous l'avons vu précédemment, le modèle GR4J est assez robuste et un calage sur peu de données peut donner de meilleurs résultats qu'une transposition en utilisant des voisins « toxiques » ou encore si la station-cible a un comportement hydrologique très atypique.

Par conséquent nous pouvons nous poser la question si, pour certaines stations RCS il ne serait pas plus avantageux de caler le modèle sur une station hydrométrique hors échantillon située au même endroit (ou presque) que de mettre en œuvre la méthode. Cela peut s'avérer utilise pour des stations isolées d'un point de vu physiographique. Une liste des stations RCS concernées par cet isolement figure en annexe G.

Par exemple, pour l'estimation au droit de la station RCS de la Vezouze à Thiebaumenil on pourrait inclure la station hydrométrique située au même endroit mais qui ne possède que 85% de complétude sur la période de référence. Il serait aussi pertinent de se questionner sur le poids accordé à la reconstruction de l'hydrogramme.

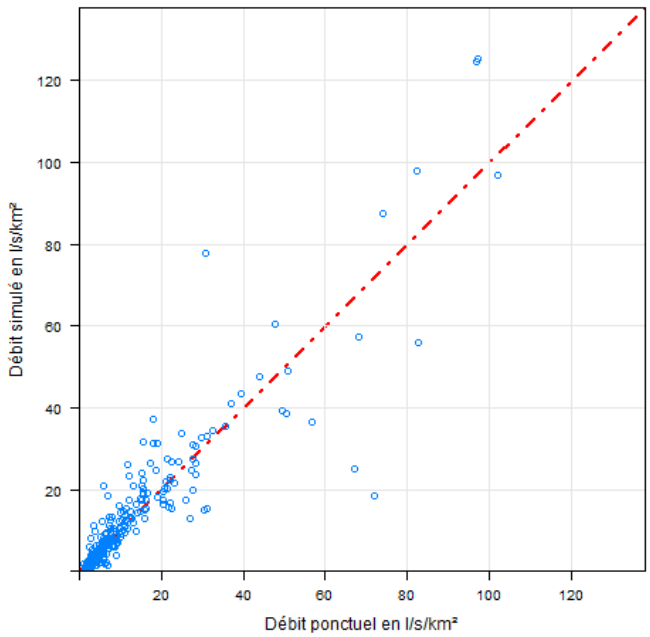
VI.2 Application de la méthode de transposition spatiale des paramètres

De la même manière que pour dériver les données d'entrée du modèle GR4J au droit des 277 stations hydrométriques (cf. §IV.1 p.27 du deuxième rapport intermédiaire) nous avons reconstitué la lame d'eau et l'évapotranspiration potentielle journalière au droit des 98 stations RCS sur toute la période 1971-2010. Il convient de noter que l'exactitude des données climatologiques dépend bien entendu du bon géo-référencement des stations RCS (cf. constat ci-dessus).

Une fois ces données bancarisées, nous avons appliqué la méthode au droit de chacune des stations RCS en transposant les jeux de paramètres des 4 stations hydrométriques les plus proches (choix des voisins répertoriés en annexe F).

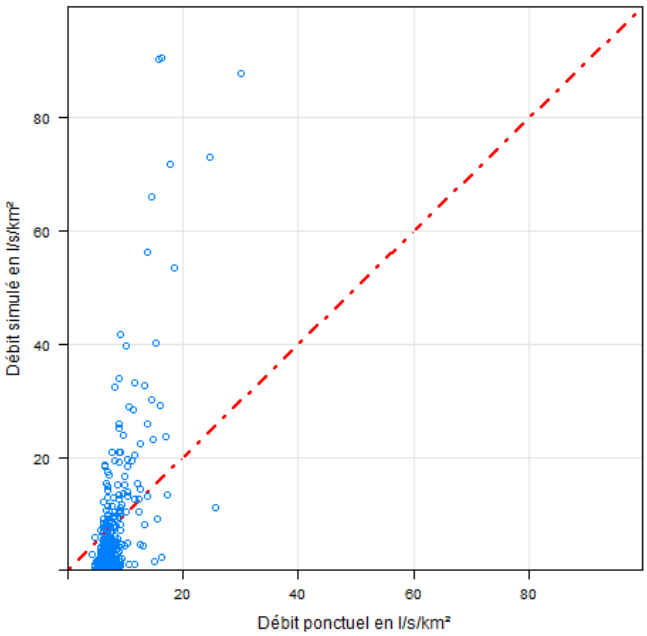
Nous présenterons ci-dessous les prémisses du post-traitement des chroniques de débits simulés au droit des stations RCS. L'importance des jaugeages ponctuels est encore ici importante afin d'étudier la vraisemblance entre les valeurs de jaugeages et les débits simulés aux même dates. Ce procédé n'est pas une validation au vrai sens du terme mais permet sous hypothèse d'un nombre suffisant de jaugeages fiables de rendre compte de l'ajustement et peut s'avérer utile afin d'identifier de mauvais résultats imputables par exemple au choix des voisins. De plus, comme nous l'avons dit précédemment, les jaugeages ponctuels sont mesurés instantanément et ne peuvent refléter l'évolution de l'écoulement pendant toute une journée. La Figure 26 présente cette adéquation au droit de quatre stations RCS présentant des jaugeages ponctuels.

a)



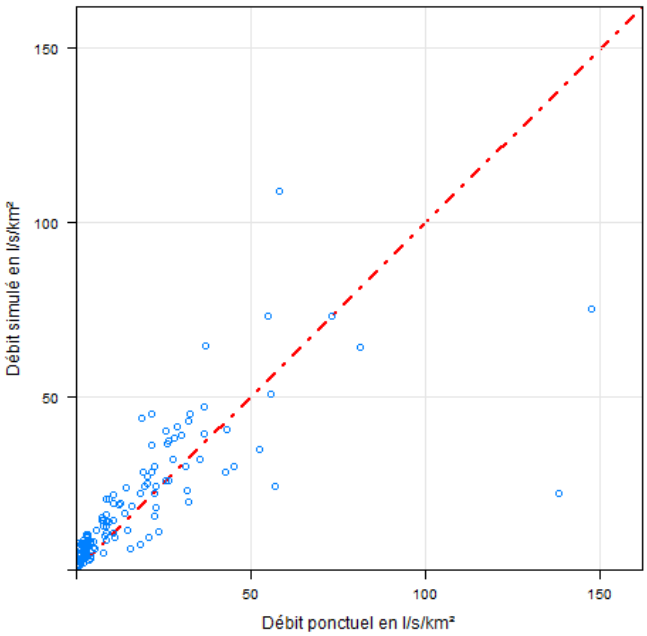
Station RCS : La Moselle à Sierck

b)



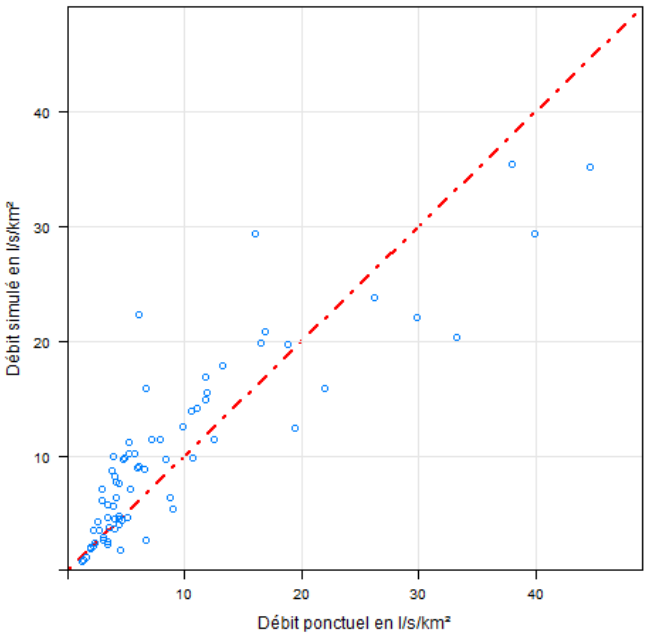
Station RCS : La Rosselle à petite Rosselle

c)



Station RCS : La Sormonne à Girondelle

d)



Station RCS : La Sarre à Sarraltrof

Figure 26 : Nuages de points entre débits moyens jounaliers simulés selon la méthode de référence (transposition spatiale des paramètres) et débit instantané au droit de quatre stations RCS possédant des jaugeages ponctuels.

Globalement nous avons de bons résultats, mais on observe tout de même pour certaines stations de mauvais résultats dûs très certainement à la présence de voisins « toxiques ». De plus le choix des bassins-donneurs se limitant à l'échantillon de référence, nous perdons de l'information issues de stations hydrométrique hors échantillon et qui se situent à proximité de la station-cible. Par exemple on peut supposer que la reconstitution des débits journaliers à la station RCS de la Rosselle à petite-Rosselle serait meilleure en utilisant la station hydrométrique située au même endroit. Cette dernière ne figurant pas parmi les 104 stations, les quatre plus proches voisins retournés sont situés sur le bassin de la Nied (cf. Figure 26b).

VII. Extraction des phases hydrologiques à partir des hydrogrammes simulés

VII.1 Choix méthodologique

VII.1.1 Estimation du débit de base

Depuis l'Vovich (1972) la bibliographie concernant l'estimation du débit de base abonde (Chapman en 1999, Eckert en 2004 et 2012, etc.). En s'inspirant de ces méthodes et en mettant à profit celle que nous avons utilisée pour étudier les phases de tarissement nous proposons la procédure suivante. Pour de plus amples informations, le lecteur pourra consulter la thèse de C. Lang (2007) notamment le chapitre 5. Dans ses travaux, les phases de tarissement sont désignées par « courbes séquences ».

En estimant des valeurs de débit de base, on vise à isoler la composante de l'écoulement provenant uniquement des aquifères. Cette condition est remplie lors des phases de tarissement des cours d'eau. On s'emploie donc dans un premier temps à extraire toutes les périodes qui remplissent les deux conditions suivantes :

- ✓ les débits consécutifs sont décroissants,
- ✓ il n'y a pas de précipitations significatives pendant cette période et durant les *n* jours antérieurs. La durée *n* du temps de ressuyage (TR) a été fixée selon la formule empirique de Langbein (cité par Rutledge et Daniel, 1994) soit $TR=A^{0.2}$ avec A la superficie du bassin versant. Le seuil de pluie significative (SPS) a lui aussi été tiré des travaux de C. Lang qui le fixe à 1mm/j.

Une fois les phases de tarissement extraites, nous pouvons ensuite traiter chacune d'elles en vérifiant qu'elles s'ajustent convenablement à une loi de tarissement (Maillet). Cette procédure aboutit éventuellement à l'exclusion de certaines valeurs de débit, au début des phases, qui ne s'intègrent pas au tracé théorique de la loi de vidange.

Les phases de tarissement ainsi définies constituent les points d'amarrage de notre estimation. Cette dernière s'appuie ensuite sur une interpolation entre les phases. Si un débit observé apparaît comme inférieur à notre estimation de débit de base par interpolation, celui-ci est considéré comme une phase de tarissement et intégré dans les calculs d'interpolation (procédure récursive). La Figure 27 illustre la séparation des écoulements obtenue pour le bassin versant de la Moselotte à Vagney en 2003.

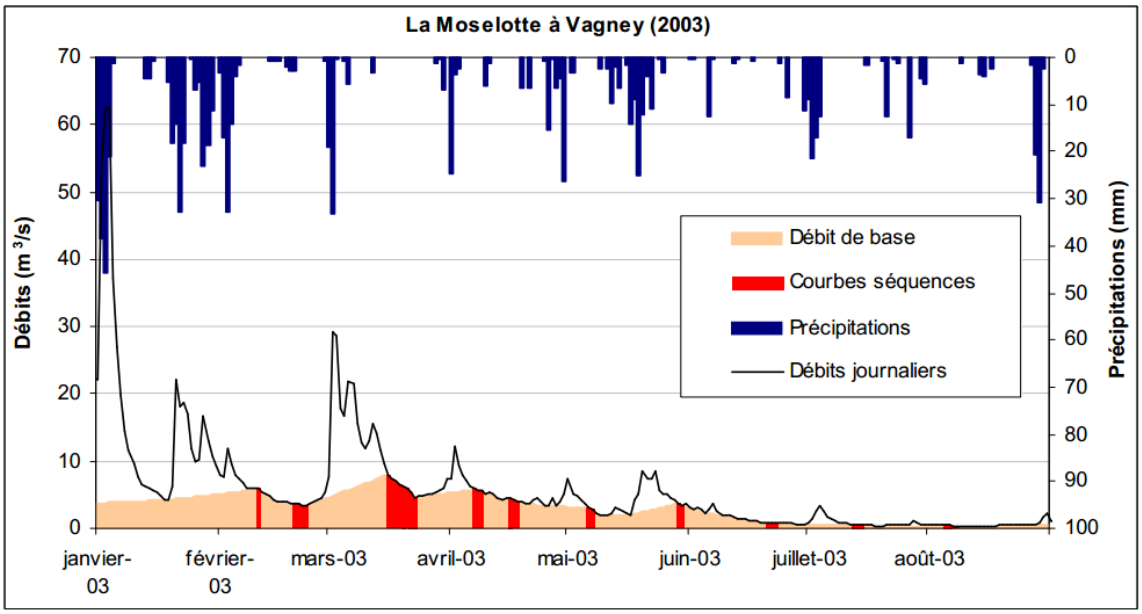


Figure 27 : Exemple de séparation des écoulements pour le bassin de la Moselotte à Vagney en 2003 (représentation extraite de la thèse de C. Lang, 2007)

Comparée aux autres méthodes, notre démarche n'envisage pas de recharges autres que celles induites par le début des phases de tarissement. Notre estimation correspond donc à un débit de base a minima. Comme l'énonce C. Lang (2007), cette méthode, bien qu'en apparence très sommaire comparée à d'autres de la littérature, garantit la justesse de la trame initiale tout en étant simple à mettre en œuvre et aboutit à des décompositions graphiquement satisfaisantes.

VII.1.2 Extraction d'autres phases et variables hydrologiques

L'objectif final assigné à ce projet de recherche est de reconstituer rétrospectivement la phase hydrologique (montée de crue, décrue, tarissement) et les débits moyens journaliers (Qmj) au droit des stations du RCS du bassin Rhin-Meuse. En effet après application de la méthode par transposition spatiale, nous obtenons un hydrogramme simulé pour chaque station RCS. A partir de là nous avons choisi de dériver plusieurs types d'information hydrologique pour chaque pas de temps de la chronique.

Ce choix a été établi a priori et peut ne pas refléter l'attente du commanditaire. Mais manquant d'informations quant au contexte d'utilisation opérationnelle, plusieurs types de variables hydrologiques sont proposés. Ceci pourra faire l'objet d'une discussion avec le commanditaire de l'étude en Copil.

Voici la liste non exhaustive des 9 variables hydrologiques déterminées au pas de temps *t* :

- Qc_t : le débit moyen journalier calculé selon la méthode de transposition spatiale des paramètres,
- Qb_t : le débit de base estimé selon la méthode expliquée dans la §VII.1.1,
- Ph_t : la phase hydrologique identifiée parmi cinq types de « phases » (construction expliquée ci-dessous),

- $Magn_t$: magnitude du débit Qc_t calculé selon la formule $(Qc_t - Qb_t)/ Qb_t$,
- $qCDC_t$: quantile correspondant dans la courbe des débits classés (CDC),
- NjP_t : le nombre de jours de la période comprenant le jour *t*. Une période pouvant soit être une période de tarissement ou soit être la période entre la fin et le début d'une nouvelle période de tarissement,
- $NjPic_t$: le nombre de jours avant que le débit maximal de la période soit atteint (égale à 0 si le pic de crue est le jour même),
- $NjDebPS_t$: le nombre de jours avant le début de la période suivante,
- $CE10j_t$: cumul des lames d'eau écoulées sous 10 jours rapporté au cumul de la pluie sous 10 jours (i.e. coefficient d'écoulement lissé sur 10j).

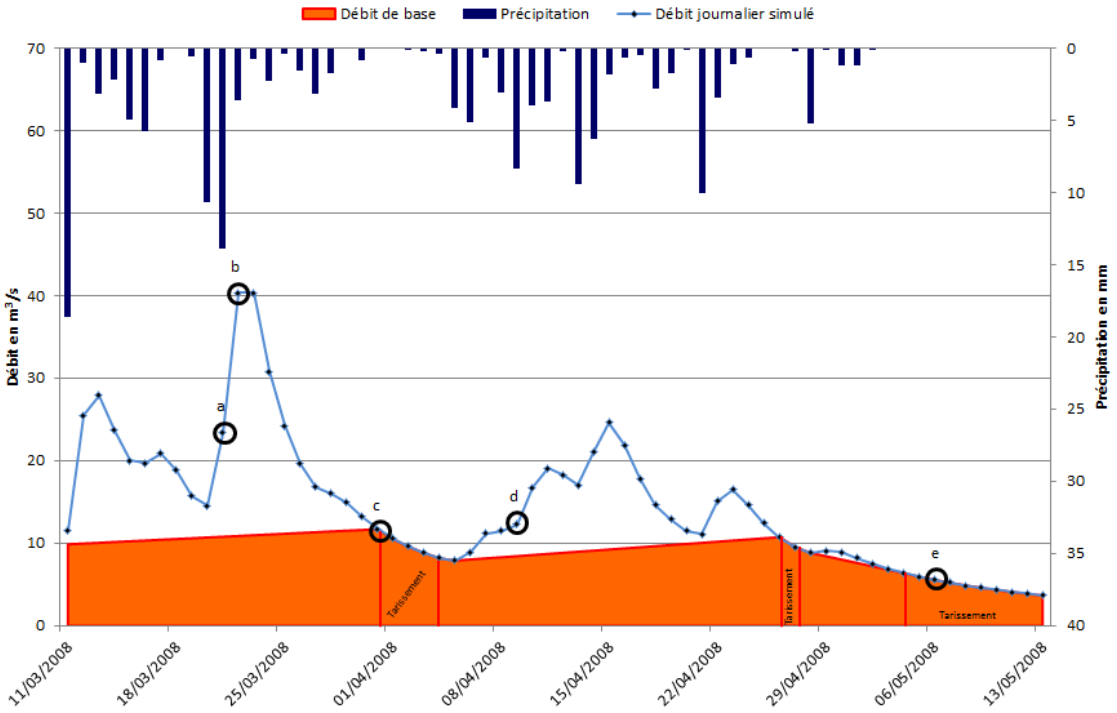
Concernant l'extraction des phases hydrologique et dans un premier temps, nous avons appliqué un recodage simple en 5 types de phases hydrologique calculés sur ± 1 jour à la date *t* :

- Crue si $Qc_{t-1} < Qc_t < Qc_{t+1}$ (Ph_t = « C ») : débits consécutifs croissants
- Pic de Crue si $Qc_{t-1} < Qc_t > Qc_{t+1}$ (Ph_t = « PdC ») : maximum local
- Décrue si $Qc_{t-1} > Qc_t > Qc_{t+1}$ (Ph_t = « D ») : débits consécutifs décroissants
- PBD si $Qc_{t-1} > Qc_t < Qc_{t+1}$ (Ph_t = « PBD ») : minimum local
- Tarissement si Qc_t se situe dans une phase de tarissement (Ph_t = « T »)

Les informations ci-dessus sont maintenant disponibles au droit des 98 stations RCS sur toute la période 1990-2009. Un exemple est présenté dans le paragraphe suivant.

VII.2 Exemple au droit d'une station RCS

Un exemple d'extraction des phases et variables hydrologiques est donné sur la Figure 28. Les résultats concernent la station RCS de la Seille à Cheminot (surface théorique de 1060 km²) sur la période du 11 mars au 13 mai 2005. Les variables hydrologiques sont déterminées pour 5 dates d'analyse de l'eau par échantillonnage in situ. Les dates sont fictives.



Information	a 21/03/2008	b 22/03/2008	c 31/03/2008	d 09/04/2008	e 06/05/2008
Précipitation	13.9	3.6	0.0	8.3	0.0
Débit simulé	23.4	40.4	11.7	12.3	5.6
Débit de base	10.8	10.9	11.7	8.5	5.6
Phase	C	P	T	C	T
Quantile CDC	6.7	2.1	20.6	19.4	42.8
Magnitude	1.2	2.7		0.5	
Coefficient d'écoulement sous 10 jours	0.40	0.40	1.30	0.38	0.80
Nombre de jours de la période	21	21	5	21	10
Nombre de jours avant la période suivante	10	9	5	17	8
Nombre de jours avant le pic de crue	1	0		6	

Figure 28 : Exemple de résultats issus de l'application de la chaîne d'extraction des phases hydrologiques et de calcul des variables hydrologiques au droit de la station RCS de la Seille à Cheminot. Hydrogramme simulé par la méthode de transposition spatiale des paramètres du modèle pluie-débit GR4J avec 4 bassins-donneurs.

Par exemple nous pouvons constater qu'à la date du 21 mars la lame d'eau est d'environ 14mm et le débit simulé d'environ 23 m^3/s. Ce débit est enregistré au sein d'une période hors tarissement de 21 jours et la prochaine période de tarissement débutera dans 10 jours (par soustraction cela fait 12 jours que la phase de tarissement précédente est terminée). Le débit simulé quant à lui est atteint ou dépassé dans 7% des cas et le débit de base représente environ la moitié du débit total. Le débit maximum de la période sera observé dans un jour.

VIII. Conclusions et perspectives

L'étude DEPHy menée par le CEGUM a abouti à une synthèse des différentes méthodes que l'on peut mettre en œuvre pour estimer des écoulements dans des bassins non jaugés. L'application systématique de toutes ces méthodes à l'échantillon des bassins retenus (RCS et RCO) s'est avérée impossible dans le temps imparti. La méthode d'estimation locale des débits par transposition spatiale des paramètres d'un modèle hydrologique s'est avérée relativement performante et a fait l'objet d'une analyse approfondie et d'un déploiement aux stations des RCS.

L'étude DEPHy a permis de produire:

- ✓ Un patrimoine de données dédié à la régionalisation hydrologique en Rhin-Meuse
- ✓ Une BD hydro-climatologique transfrontalière validée et « ready-to-use »
- ✓ Un diagnostic sur une méthode de régionalisation (transposition spatiale des paramètres du modèle GR4J)
- ✓ Une caractérisation du voisinage hydrologique des stations des RCS
- ✓ Des critères de sélection des bassins-donneurs
- ✓ Un diagnostic sur la plus-value apportée par l'information hydrométrique ponctuelle
- ✓ Un inventaire des monstres hydrologiques identifiés lors de la méthode de régionalisation précitée
- ✓ Les phases hydrologiques aux stations des RCS sur leur période d'observation

A l'issue de ces travaux, le CEGUM est en mesure de mettre à disposition du commanditaire :

- Les bases de données établies au titre du projet,
- Les résultats des tests d'application de la méthode de transposition spatiale des paramètres et de la méthode hybride combinant transposition spatiale des paramètres et information hydrométrique ponctuelle,
- Le noyau de calcul (algorithme, équation, liens aux bases de données utiles) relatif à cette méthode ainsi que les hydrogrammes simulés à chacune des 98 stations des RCS et pour la période 1971-2010. La marge d'erreur afférente à ce noyau de calcul n'a malheureusement pas pu être déterminée dans le cadre de cette étude, faute de temps.

- De proposer les perspectives de développement suivantes : un programme informatique pourrait être mis au point dans un langage et selon des spécificités techniques précisées par les utilisateurs potentiels (Agence de l'Eau Rhin-Meuse et DREAL Lorraine). L'objectif de ce programme serait de proposer un outil simple, convivial et ergonomique, d'estimation des écoulements au droit de stations des réseaux (RCS et RCO). Outre les données hydrométriques issues de la Banque Hydro, pour fonctionner l'outil devrait disposer des grilles de précipitations et de température SAFRAN de Météo France. Si les partenaires ne peuvent obtenir ces données, il faudrait envisager d'adapter l'outil l'utilisation de données climatologiques ponctuelles.

Notons pour finir que les travaux menés dans le cadre du projet DEPHy ont donné lieu à deux soumissions de résumé de communication à des colloques de portée internationale :

Plasse J., Lang-Delus C., Drogue G. (2012). Evaluation of three regionalization approaches for continuous streamflow simulation. Application to water quality measurements reanalysis. Soumis à IAHS PUB SYMPOSIUM 2012 Theme 8: Case Studies.

Plasse J., Drogue G., François D., Battaglia P., Conan C. (2013). Apport des jaugeages ponctuels à la reconstitution de chroniques de débits par simulation pluie-débit : l'exemple du bassin Rhin-Meuse. Soumis à colloque SHF 2013- Mesures et incertitudes Thème 2 : Gestion des réseaux de mesure, Gestion des données.

Bibliographie

Chapman T. (1999). A comparison of algorithms for stream flow recession and baseflow separation. Hydrological Processes, 714(July 1998), 701–714.

Eckhardt K. (2005). How to construct recursive digital filters for baseflow separation. Hydrological Processes, 19(2), 507–515.

Eckhardt K. (2012). Technical Note: Analytical sensitivity analysis of a two parameter recursive digital baseflow separation filter. Hydrology and Earth System Sciences, 16(2), 451–455.

Mathevet T. (2005). Quels modèles pluie-débit globaux pour le pas de temps horaire ? Développement empirique et comparaison de modèles sur un large échantillon de bassins versants. Thèse de Doctorat, ENGREF (Paris), Cemagref (Antony), France, 463 pp.

Oudin L. et al. (2008). Spatial proximity, physical similarity, regression and ungaged catchments: a comparison of regionalization approaches based on 913 French catchments. Water Resources Research, 44(W03413).

Oudin L. et al. (2010). Are seemingly physically similar catchments truly hydrologically similar? Water Resour. Res, W11558.

Perrin C. et al. (2003). Improvement of a parsimonious model for streamflow simulation, J. Hydrol. Amsterdam, 279(1–4), 275–289.

Perrin C. et al. (2007). Impact of limited streamflow da ta on the efficiency and the parameters of rain fall–runoff models, Hydrological Sciences 52(1) February 2007

Perrin C. et al. (2008). Discrete parameterization of hydrological models: evaluating the use of parameter sets libraries over 900 catchments, Water Resour. Res., 44, W08447.

Rojas-Serna C. (2005). Quelle connaissance hydrométrique minimale pour définir les paramètres d'un modèle pluie-débit ? Thèse de Doctorat, Cemagref (Antony), ENGREF (Paris), France, 319 pp.

Rutledge A.T. et Daniel C.C. (1994). Testing an automated method to estimate ground-water recharge from streamflow records, Ground water, vol., 32, n°2.

l'Vovich M .l. (1972). Hydrologic budget of continents and estimate of the balance of global freschwater ressources, Soviet hydrology, p p 349-360.

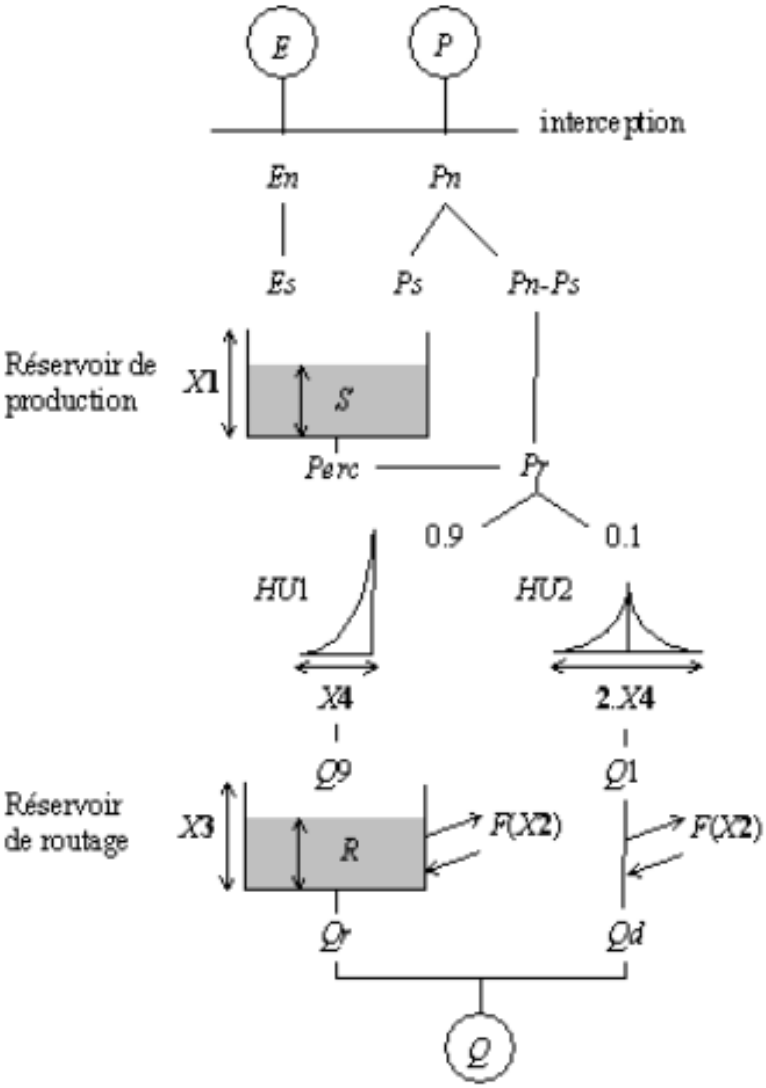
Annexes

Annexe A : Architecture du modèle pluie-débit GR4J

Le modèle a quatre paramètres optimisables :

- ✓ X1 : capacité du réservoir de production (mm)
- ✓ X2 : coefficient d'échanges souterrains (mm)
- ✓ X3 : capacité à un jour du réservoir de routage (mm)
- ✓ X4 : temps de base de l'hydrogramme unitaire HU1 (j)

Version retenue : Perrin et al. 2003



Annexe B : Résultat de l'application de GR4J sur l'échantillon des 104 stations hydrométriques

Code hydro	Nom	Surface (en km²)	C2M (en calage à la station)	C2M (M1: méthode de référence)	C2M (M2: ajout de l'information ponctuelle)	C2M(M3: calage directement sur les débits échantillonnés)
A0220200	LE LERTZBACH à HEGENHEIM	15	0.48	0.23	0.34	0.36
A1050310	L'ILL à ALTKIRCH	233	0.71	0.68	0.64	0.65
A1072010	LE THALBACH à WITTERSDORF	70	0.69	0.60	0.65	0.68
A1080330	L'ILL à DIDENHEIM	656	0.80	0.80	0.79	0.74
A1122010	LA LARGUE à DANNEMARIE	129	0.74	0.69	0.57	0.48
A1150200	LA LARGUE à SPECHBACH-LE-BAS	239	0.77	0.72	0.75	0.75
A1222020	LA DOLLER à LAUW	92.5	0.82	0.74	0.8	0.80
A1252010	LA DOLLER à REININGUE	180	0.79	0.72	0.74	0.77
A1310310	L'ILL à ENSISHEIM	1038	0.72	0.72	0.71	0.71
A1350310	L'ILL à COLMAR [LADHOF]	1784	0.80	0.74	0.79	0.79
A1402020	LA THUR à WILDENSTEIN	7.6	0.61	0.50	0.45	0.39
A1462050	LA THUR à PULVERSHEIM	250	0.80	0.75	0.79	0.79
A2023030	LA PETITE FECHT à STOSSWIHR [VILLAGE]	45.8	0.77	0.74	0.75	0.72
A2042010	LA FECHT à WINTZENHEIM [LA FORGE]	211	0.80	0.74	0.8	0.79
A2113010	LA BEHINE à LAPOUTROIE	38.4	0.68	0.67	0.67	0.67
A2122010	LA WEISS à KAYSERSBERG [FRELAND-GARE]	117	0.77	0.75	0.77	0.72
A2312020	LE GIESSEN à THANVILLE	99	0.77	0.71	0.75	0.70
A2332110	LA LIEPVRETTE à LIEPVRE	108	0.71	0.63	0.69	0.68
A2352020	LE GIESSEN à SELESTAT [AMONT]	260	0.77	0.61	0.65	0.74
A2512010	L'ANDLAU à ANDLAU	41.8	0.75	0.68	0.72	0.72
A2612010	L'EHN à NIEDERNAI	57.6	0.65	0.35	0.61	0.60
A2732010	LA BRUCHE à RUSS [WISCHES]	229	0.80	0.54	0.75	0.74
A2842010	LA MOSSIG à SOULTZ-LES-BAINS	163	0.64	0.43	0.63	0.60
A2860110	LA BRUCHE à HOLTZHEIM [2]	688	0.82	0.67	0.8	0.80
A3301010	LA MODER à SCHWEIGHOUSE-SUR-MODER [AVAL]	622	0.68	0.61	0.64	0.67
A3422010	LA ZORN à SAVERNE [SCHINDERTHAL]	185	0.71	0.41	0.64	0.60
A3472010	LA ZORN à WALTENHEIM-SUR-ZORN	688	0.69	0.54	0.69	0.61
A3792010	LA SAUER à BEINHEIM	541	0.79	0.69	0.74	0.75
A3832010	LE SELTZBACH à NIEDERROEDERN	202	0.72	0.42	0.65	0.61
A3902010	LA LAUTER à WISSEMBOURG [WEILER]	278	0.55	-0.43	-0.01	0.50
A4020610	LA MOSELLE à FRESSE-SUR-MOSELLE	71	0.65	0.63	0.61	0.58
A4050620	LA MOSELLE à RUPT-SUR-MOSELLE	152	0.71	0.69	0.71	0.71
A4140202	LA MOSELOTTE à VAGNEY [ZAINVILLERS]	184	0.74	0.72	0.74	0.72
A4173010	LA CLEURIE à CLEURIE	63	0.69	0.67	0.67	0.68
A4200630	LA MOSELLE à SAINT-NABORD [NOIRGUEUX]	626	0.79	0.79	0.79	0.77
A4250640	LA MOSELLE à ÉPINAL	1217	0.83	0.80	0.82	0.77
A4333010	LE NEUNE à LAVELINE-DEVANT-BRUYERES	96	0.74	0.69	0.72	0.68
A4362030	LA VOLOGNE à CHENIMENIL	355	0.82	0.82	0.8	0.82
A4632010	L'AVIERE à FRIZON	105	0.63	0.50	0.61	0.61
A5012010	L'EURON à FROVILLE	91.9	0.74	0.48	0.71	0.71
A5110610	LA MOSELLE à TONNOY	1976	0.85	0.82	0.85	0.84
A5242010	LE GITE à VELOTTE-ET-TATIGNECOURT	114	0.71	0.71	0.69	0.70
A5261020	LE MADON à MIRECOURT [CRUES]	381	0.77	0.75	0.77	0.77
A5431010	LE MADON à PULLIGNY	943	0.80	0.77	0.79	0.77
A5500610	LA MOSELLE à PONT-SAINT-VINCENT	3070	0.87	0.83	0.85	0.85
A5730610	LA MOSELLE à TOUL	3338	0.87	0.79	0.85	0.87
A6001010	LA MEURTHE à FRAIZE	67	0.57	0.50	0.55	0.55
A6051020	LA MEURTHE à SAINT-DIE	374	0.75	0.64	0.75	0.74
A6151030	LA MEURTHE à RAON-L'ÉTAPE	727	0.75	0.75	0.75	0.74
A6221010	LA MEURTHE à AZERAILLES	960	0.74	0.71	0.71	0.72
A6431110	LA VEZOUZE à FREMONVILLE	108	0.79	0.50	0.77	0.77
A6443010	LE VACON à BARBAS	35.4	0.69	0.32	0.6	0.65
A6621210	LA MORTAGNE à SAINTE-HELENE	100	0.68	0.32	0.48	0.67
A6731220	LA MORTAGNE à GERBEVILLER	493	0.74	0.60	0.67	0.70

A6761010	LA MEURTHE à DAMELEVIERES	2280	0.82	0.80	0.8	0.80
A6921010	LA MEURTHE à LANEUVEVILLE-DEVANT-NANCY	2780	0.79	0.67	0.77	0.77
A6941020	LA MEURTHE à MALZEVILLE	2960	0.80	0.69	0.77	0.79
A6953010	L'AMEZULE à LAY-SAINT-CHRISTOPHE	84.8	0.74	0.56	0.72	0.70
A7010610	LA MOSELLE à CUSTINES	6830	0.87	0.79	0.87	0.87
A7122010	L'ESCH à JEZAINVILLE	231	0.80	0.64	0.77	0.79
A7352010	LE RUPT DE MAD à ONVILLE	358	0.68	0.64	0.64	0.64
A7642010	LA PETITE SEILLE à CHATEAU-SALINS	143	0.61	0.49	0.59	0.59
A7821010	LA SEILLE à NOMENY	925	0.65	0.63	0.61	0.56
A7881010	LA SEILLE à METZ [PONT LOTHAIRE]	1280	0.71	0.71	0.71	0.70
A7930610	LA MOSELLE à HAUCONCOURT	9387	0.85	0.80	0.83	0.85
A8006210	LE RUISSEAU DE VAUX à MORGEMOULIN	42.3	0.71	0.59	0.68	0.65
A8071010	L'ORNE à BONCOURT	412	0.79	0.64	0.74	0.67
A8431010	L'ORNE à ROSSELANGE	1226	0.83	0.80	0.83	0.84
A8500610	LA MOSELLE à UCKANGE	10770	0.87	0.74	0.87	0.87
A8732010	LA CANNER à KOENIGSMACKER	110	0.59	0.44	0.57	0.56
A9001050	LA SARRE BLANCHE à LANEUVEVILLE-LES-LORQUIN	72	0.42	0.28	0.39	0.32
A9013050	LA SARRE ROUGE à VASPERVILLER	89	0.52	0.01	0.48	0.49
A9021040	LA SARRE à HERMELANGE	186	0.48	0.39	0.45	0.43
A9072050	L'ISCH à POSTROFF	147	0.53	0.38	0.52	0.52
A9091050	LA SARRE à KESKASTEL	879	0.69	0.61	0.65	0.63
A9091060	LA SARRE à DIEDENDORF	733	0.57	0.33	0.55	0.52
A9221010	LA SARRE à SARREINSMING	1760	0.80	0.68	0.79	0.79
A9352050	L'EICHEL à OERMINGEN	277	0.45	0.43	0.45	0.44
A9425050	LA BLIES à BLIESBRUCK	1815	0.65	0.64	0.53	0.55
A9752010	LA NIED FRANCAISE à CONDE-NORTHEN [PONTIGNY]	499	0.61	0.61	0.59	0.54
A9832010	LA NIED ALLEMANDE à FAULQUEMONT	187	0.65	0.64	0.64	0.65
A9862010	LA NIED ALLEMANDE à VARIZE	364	0.72	0.72	0.72	0.65
A9942010	LA NIED à BOUZONVILLE	1160	0.77	0.77	0.75	0.74
B0220010	LA MEUSE à GONCOURT	364	0.80	0.72	0.79	0.80
B1092010	LE MOUZON à CIRCOURT-SUR-MOUZON [VILLARS]	405	0.79	0.68	0.77	0.75
B1150010	LA MEUSE à DOMREMY-LA-PUCELLE	1031	0.83	0.80	0.82	0.84
B1282010	LE VAIR à SOULOSSE-SOUS-SAINT-ÉLOPHE	443	0.77	0.74	0.71	0.71
B1322010	LE VAIR à BELMONT-SUR-VAIR	140	0.65	0.49	0.52	0.45
B1340010	LA MEUSE à VAUCOULEURS [CHALAINES]	1717	0.85	0.83	0.8	0.84
B2042010	L'AROFFE à VANNES-LE-CHATEL	198	0.67	-0.21	0.19	0.61
B2220010	LA MEUSE à SAINT-MIHIEL	2540	0.90	0.64	0.82	0.82
B3150020	LA MEUSE à STENAY	3904	0.89	0.56	0.82	0.79
B4031010	LA CHIERS à MONTIGNY-SUR-CHIERS	274	0.69	0.53	0.59	0.64
B4132010	LA CRUSNES à PIERREPONT	206	0.77	0.64	0.74	0.71
B4224310	LE TON à ÉCOUVIEZ	308	0.64	0.41	0.46	0.63
B4572010	LE LOISON à HAN-LES-JUVIGNY	348	0.79	0.60	0.75	0.77
B4601010	LA CHIERS à CHAUVENCY-LE-CHATEAU	1700	0.79	0.80	0.77	0.74
B4631010	LA CHIERS à CARIGNAN	1967	0.82	0.74	0.75	0.72
B5172010	LA BAR à CHEVEUGES	389	0.67	0.59	0.59	0.49
B5322010	LA VENCE à LA FRANCHEVILLE	124	0.80	0.61	0.71	0.77
B5572010	LA SORMONNE à BELVAL	368	0.85	0.71	0.8	0.80
B6111010	LA SEMOY à HAULME	1336	0.82	0.61	0.74	0.72
B7200000	LA MEUSE à CHOOZ [TROU DU DIABLE]	10120	0.89	0.63	0.87	0.87
B7322010	LA HOUILLE à LANDRICHAMPS	186	0.82	0.69	0.79	0.79

Annexe C : Identification des 4 plus proches voisins de la station-cible selon le critère de proximité spatiale (en validation croisée)

Code hydro	Nom	Nom du 1er voisin	C2M en transposition	Nom du 2ème voisin	C2M en transposition	Nom du 3ème voisin	C2M en transposition	Nom du 4ème voisin	C2M en transposition
A0220200	LE LERTZBACH à HEGENHEIM	LE THALBACH à WITTERSDORF	0.3	L'ILL à ALTKIRCH	0.25	L'ILL à DIDENHEIM	0.15	LA LARGUE à DANNEMARIE	0.15
A1050310	L'ILL à ALTKIRCH	L'ILL à DIDENHEIM	0.69	LE THALBACH à WITTERSDORF	0.67	LA LARGUE à DANNEMARIE	0.64	LA LARGUE à SPECHBACH-LE-BAS	0.6
A1072010	LE THALBACH à WITTERSDORF	L'ILL à DIDENHEIM	0.61	L'ILL à ALTKIRCH	0.64	L'ILL à ENSISHEIM	0.61	LA LARGUE à SPECHBACH-LE-BAS	0.48
A1080330	L'ILL à DIDENHEIM	LA LARGUE à SPECHBACH-LE-BAS	0.75	L'ILL à ENSISHEIM	0.79	L'ILL à ALTKIRCH	0.79	LA LARGUE à DANNEMARIE	0.75
A1122010	LA LARGUE à DANNEMARIE	L'ILL à DIDENHEIM	0.69	LA LARGUE à SPECHBACH-LE-BAS	0.67	L'ILL à ALTKIRCH	0.68	L'ILL à ENSISHEIM	0.67
A1150200	LA LARGUE à SPECHBACH-LE-BAS	L'ILL à DIDENHEIM	0.74	L'ILL à ENSISHEIM	0.72	LA LARGUE à DANNEMARIE	0.71	L'ILL à ALTKIRCH	0.69
A1222020	LA DOLLER à LAUW	LA DOLLER à REININGUE	0.8	LA MOSELLE à FRESSE-SUR-MOSELLE	0.61	LA THUR à PULVERSHEIM	0.77	LA MOSELLE à RUPT-SUR-MOSELLE	0.65
A1252010	LA DOLLER à REININGUE	LA DOLLER à LAUW	0.75	LA THUR à PULVERSHEIM	0.69	L'ILL à COLMAR [LADHOF]	0.72	LA MOSELLE à FRESSE-SUR-MOSELLE	0.53
A1310310	L'ILL à ENSISHEIM	LA LARGUE à SPECHBACH-LE-BAS	0.67	L'ILL à DIDENHEIM	0.71	LE THALBACH à WITTERSDORF	0.67	L'ILL à COLMAR [LADHOF]	0.68
A1350310	L'ILL à COLMAR [LADHOF]	L'ILL à ENSISHEIM	0.74	LA DOLLER à REININGUE	0.71	LA THUR à PULVERSHEIM	0.64	LA LARGUE à SPECHBACH-LE-BAS	0.59
A1402020	LA THUR à WILDENSTEIN	LA MOSELOTTE à VAGNEY [ZAINVILLERS]	0.6	LA FECHT à WINTZENHEIM [LA FORGE]	0.41	LA PETITE FECHT à STOSSWIHR [VILLAGE]	0.42	LA THUR à PULVERSHEIM	0.49
A1462050	LA THUR à PULVERSHEIM	LA DOLLER à REININGUE	0.71	LA DOLLER à LAUW	0.75	LA MOSELLE à FRESSE-SUR-MOSELLE	0.61	LA THUR à WILDENSTEIN	0.59
A2023030	LA PETITE FECHT à STOSSWIHR [VILLAGE]	LA FECHT à WINTZENHEIM [LA FORGE]	0.71	LA MEURTHE à FRAIZE	0.65	LA WEISS à KAYSERSBERG [FRELAND-GARE]	0.74	LA BEHINE à LAPOUTROIE	0.74
A2042010	LA FECHT à WINTZENHEIM [LA FORGE]	LA PETITE FECHT à STOSSWIHR [VILLAGE]	0.75	LA THUR à WILDENSTEIN	0.34	LA MEURTHE à FRAIZE	0.63	LA WEISS à KAYSERSBERG [FRELAND-GARE]	0.75
A2113010	LA BEHINE à LAPOUTROIE	LA WEISS à KAYSERSBERG [FRELAND-GARE]	0.67	LA MEURTHE à FRAIZE	0.63	LA MEURTHE à SAINT-DIE	0.52	LA PETITE FECHT à STOSSWIHR [VILLAGE]	0.64
A2122010	LA WEISS à KAYSERSBERG [FRELAND-GARE]	LA BEHINE à LAPOUTROIE	0.75	LA MEURTHE à FRAIZE	0.68	LA PETITE FECHT à STOSSWIHR [VILLAGE]	0.72	LA MEURTHE à SAINT-DIE	0.6
A2312020	LE GIESSEN à THANVILLE	LE GIESSEN à SELESTAT [AMONT]	0.74	L'ANDLAU à ANDLAU	0.61	LA LIEPVRETTE à LIEPVRE	0.69	LA BRUCHE à RUSS [WISCHES]	0.46
A2332110	LA LIEPVRETTE à LIEPVRE	LE GIESSEN à SELESTAT [AMONT]	0.64	LE GIESSEN à THANVILLE	0.63	LA BEHINE à LAPOUTROIE	0.45	LA WEISS à KAYSERSBERG [FRELAND-GARE]	0.48
A2352020	LE GIESSEN à SELESTAT [AMONT]	LE GIESSEN à THANVILLE	0.74	LA LIEPVRETTE à LIEPVRE	0.69	L'ANDLAU à ANDLAU	0.5	LA BRUCHE à RUSS [WISCHES]	0.31
A2512010	L'ANDLAU à ANDLAU	LE GIESSEN à THANVILLE	0.56	L'EHN à NIEDERNAI	0.6	LA BRUCHE à RUSS [WISCHES]	0.6	LE GIESSEN à SELESTAT [AMONT]	0.44
A2612010	L'EHN à NIEDERNAI	L'ANDLAU à ANDLAU	0.4	LA BRUCHE à HOLTZHEIM [2]	0.39	LE GIESSEN à THANVILLE	0.41	LA BRUCHE à RUSS [WISCHES]	-0.01
A2732010	LA BRUCHE à RUSS [WISCHES]	LE GIESSEN à THANVILLE	0.47	L'ANDLAU à ANDLAU	0.68	LA BRUCHE à HOLTZHEIM [2]	0.56	LE GIESSEN à SELESTAT [AMONT]	0.32
A2842010	LA MOSSIG à SOULTZ-LES-BAINS	LA BRUCHE à HOLTZHEIM [2]	0.26	LA ZORN à WALTENHEIM-SUR-ZORN	0.61	LA ZORN à SAVERNE [SCHINDERTHAL]	0.29	L'EHN à NIEDERNAI	0.1
A2860110	LA BRUCHE à HOLTZHEIM [2]	L'EHN à NIEDERNAI	0.64	LA MOSSIG à SOULTZ-LES-BAINS	0.48	LA BRUCHE à RUSS [WISCHES]	0.53	L'ANDLAU à ANDLAU	0.68
A3301010	LA MODER à SCHWEIGHOUSE-SUR-MODER [AVAL]	LA SAUER à BEINHEIM	0.41	LA ZORN à WALTENHEIM-SUR-ZORN	0.55	LE SELTZBACH à NIEDERROEDERN	-0.03	LA LAUTER à WISSEMBOURG [WEILER]	0.32
A3422010	LA ZORN à SAVERNE [SCHINDERTHAL]	LA ZORN à WALTENHEIM-SUR-ZORN	0.24	LA MOSSIG à SOULTZ-LES-BAINS	0.28	LA SARRE à DIEDENDORF	0.3	LA SARRE à KESKASTEL	0.11
A3472010	LA ZORN à WALTENHEIM-SUR-ZORN	LA ZORN à SAVERNE [SCHINDERTHAL]	0.31	LA MOSSIG à SOULTZ-LES-BAINS	0.67	LA SARRE à DIEDENDORF	0.03	LA MODER à SCHWEIGHOUSE-SUR-MODER [AVAL]	0.61
A3792010	LA SAUER à BEINHEIM	LE SELTZBACH à NIEDERROEDERN	0.28	LA MODER à SCHWEIGHOUSE-SUR-MODER [AVAL]	0.54	LA LAUTER à WISSEMBOURG [WEILER]	0.32	LA ZORN à WALTENHEIM-SUR-ZORN	0.59
A3832010	LE SELTZBACH à NIEDERROEDERN	LA SAUER à BEINHEIM	0.49	LA LAUTER à WISSEMBOURG [WEILER]	0.16	LA MODER à SCHWEIGHOUSE-SUR-MODER [AVAL]	0.4	LA ZORN à WALTENHEIM-SUR-ZORN	0.49
A3902010	LA LAUTER à WISSEMBOURG [WEILER]	LA SAUER à BEINHEIM	-0.38	LE SELTZBACH à NIEDERROEDERN	-0.74	LA MODER à SCHWEIGHOUSE-SUR-MODER [AVAL]	-0.18	LA BLIES à BLIESBRUCK	-0.36
A4020610	LA MOSELLE à FRESSE-SUR-MOSELLE	LA MOSELLE à RUPT-SUR-MOSELLE	0.64	LA DOLLER à LAUW	0.5	LA MOSELOTTE à VAGNEY [ZAINVILLERS]	0.64	LA MOSELLE à SAINT-NABORD [NOIRGUEUX]	0.61
A4050620	LA MOSELLE à RUPT-SUR-MOSELLE	LA MOSELLE à FRESSE-SUR-MOSELLE	0.71	LA MOSELLE à SAINT-NABORD [NOIRGUEUX]	0.69	LA MOSELOTTE à VAGNEY [ZAINVILLERS]	0.71	LA DOLLER à LAUW	0.56
A4140202	LA MOSELOTTE à VAGNEY [ZAINVILLERS]	LA MOSELLE à SAINT-NABORD [NOIRGUEUX]	0.71	LA THUR à WILDENSTEIN	0.72	LA MOSELLE à RUPT-SUR-MOSELLE	0.74	LA MOSELLE à ÉPINAL	0.65
A4173010	LA CLEURIE à CLEURIE	LA MOSELLE à ÉPINAL	0.65	LA VOLOGNE à CHENIMENIL	0.59	LA MOSELLE à SAINT-NABORD [NOIRGUEUX]	0.64	LA MOSELOTTE à VAGNEY [ZAINVILLERS]	0.63
A4200630	LA MOSELLE à SAINT-NABORD [NOIRGUEUX]	LA MOSELOTTE à VAGNEY [ZAINVILLERS]	0.75	LA MOSELLE à ÉPINAL	0.75	LA MOSELLE à RUPT-SUR-MOSELLE	0.75	LA CLEURIE à CLEURIE	0.74
A4250640	LA MOSELLE à ÉPINAL	LA CLEURIE à CLEURIE	0.77	LA MOSELLE à SAINT-NABORD [NOIRGUEUX]	0.77	LA VOLOGNE à CHENIMENIL	0.77	LA MOSELOTTE à VAGNEY [ZAINVILLERS]	0.68
A4333010	LE NEUNE à LAVELINE-DEVANT-BRUYERES	LA VOLOGNE à CHENIMENIL	0.65	LA MORTAGNE à SAINTE-HELENE	0.54	LA CLEURIE à CLEURIE	0.31	LA MEURTHE à FRAIZE	0.67
A4362030	LA VOLOGNE à CHENIMENIL	LE NEUNE à LAVELINE-DEVANT-BRUYERES	0.75	LA CLEURIE à CLEURIE	0.67	LA MOSELLE à ÉPINAL	0.74	LA MORTAGNE à SAINTE-HELENE	0.43
A4632010	L'AVIERE à FRIZON	LA MOSELLE à TOUL	0.29	LA MOSELLE à PONT-SAINT-VINCENT	0.38	LE GITE à VELOTTE-ET-TATIGNECOURT	0.6	LE MADON à MIRECOURT [CRUES]	0.6
A5012010	L'EURON à FROVILLE	LA MOSELLE à CUSTINES	0.44	LA MOSELLE à HAUCONCOURT	0.42	LA MOSELLE à TOUL	0.42	LA MORTAGNE à GERBEVILLER	0.5
A5110610	LA MOSELLE à TONNOY	LA VOLOGNE à CHENIMENIL	0.74	LA CLEURIE à CLEURIE	0.74	LA MOSELLE à ÉPINAL	0.83	LA MOSELLE à PONT-SAINT-VINCENT	0.83
A5242010	LE GITE à VELOTTE-ET-TATIGNECOURT	LE MADON à MIRECOURT [CRUES]	0.69	L'AVIERE à FRIZON	0.68	LA MOSELLE à TOUL	0.52	LE MADON à PULLIGNY	0.67
A5261020	LE MADON à MIRECOURT [CRUES]	LE GITE à VELOTTE-ET-TATIGNECOURT	0.75	LE MADON à PULLIGNY	0.74	L'AVIERE à FRIZON	0.72	LE VAIR à BELMONT-SUR-VAIR	0.68
A5431010	LE MADON à PULLIGNY	LE MADON à MIRECOURT [CRUES]	0.77	LE GITE à VELOTTE-ET-TATIGNECOURT	0.75	LE VAIR à SOULOSSE-SOUS-SAINT-ÉLOPHE	0.75	L'AVIERE à FRIZON	0.68

A5500610	LA MOSELLE à PONT-SAINT-VINCENT	LA MOSELLE à TOUL	0.85	L'AVIERE à FRIZON	0.59	LE GITE à VELOTTE-ET-TATIGNECOURT	0.69	LA MOSELLE à TONNOY	0.85
A5730610	LA MOSELLE à TOUL	LA MOSELLE à PONT-SAINT-VINCENT	0.85	L'AVIERE à FRIZON	0.54	LE GITE à VELOTTE-ET-TATIGNECOURT	0.64	LA MOSELLE à CUSTINES	0.85
A6001010	LA MEURTHE à FRAIZE	LA BEHINE à LAPOUTROIE	0.52	LA PETITE FECHT à STOSSWIHR [VILLAGE]	0.45	LA WEISS à KAYSERSBERG [FRELAND-GARE]	0.5	LA MEURTHE à SAINT-DIE	0.39
A6051020	LA MEURTHE à SAINT-DIE	LA MEURTHE à RAON-L'ÉTAPE	0.75	LA BEHINE à LAPOUTROIE	0.55	LA MEURTHE à FRAIZE	0.55	LA WEISS à KAYSERSBERG [FRELAND-GARE]	0.57
A6151030	LA MEURTHE à RAON-L'ÉTAPE	LA MEURTHE à AZERAILLES	0.71	LA MEURTHE à SAINT-DIE	0.75	LA MORTAGNE à SAINTE-HELENE	0.67	LE NEUNE à LAVELINE-DEVANT-BRUYERES	0.69
A6221010	LA MEURTHE à AZERAILLES	LA MEURTHE à RAON-L'ÉTAPE	0.69	LA MEURTHE à SAINT-DIE	0.68	LA MEURTHE à DAMELEVIERES	0.61	LA MORTAGNE à SAINTE-HELENE	0.56
A6431110	LA VEZOUZE à FREMONVILLE	LE VACON à BARBAS	-0.12	LA SARRE à DIEDENDORF	0.18	LA BRUCHE à RUSS [WISCHES]	0.72	LA MEURTHE à LANEUVEVILLE-DEVANT-NANCY	0.53
A6443010	LE VACON à BARBAS	LA VEZOUZE à FREMONVILLE	0.25	LA MEURTHE à LANEUVEVILLE-DEVANT-NANCY	0.32	LA MEURTHE à MALZEVILLE	0.34	LA MEURTHE à DAMELEVIERES	0.33
A6621210	LA MORTAGNE à SAINTE-HELENE	LE NEUNE à LAVELINE-DEVANT-BRUYERES	0.35	LA VOLOGNE à CHENIMENIL	0.01	LA MORTAGNE à GERBEVILLER	0.18	LA MEURTHE à RAON-L'ÉTAPE	0.55
A6731220	LA MORTAGNE à GERBEVILLER	LA MOSELLE à CUSTINES	0.32	LA MORTAGNE à SAINTE-HELENE	0.45	LA MEURTHE à DAMELEVIERES	0.6	LA MEURTHE à MALZEVILLE	0.55
A6761010	LA MEURTHE à DAMELEVIERES	LA MEURTHE à LANEUVEVILLE-DEVANT-NANCY	0.8	LA MEURTHE à MALZEVILLE	0.8	LA MORTAGNE à GERBEVILLER	0.67	LA MEURTHE à AZERAILLES	0.71
A6921010	LA MEURTHE à LANEUVEVILLE-DEVANT-NANCY	LA MEURTHE à MALZEVILLE	0.77	LA MEURTHE à DAMELEVIERES	0.79	LA MORTAGNE à GERBEVILLER	0.64	LE VACON à BARBAS	0.04
A6941020	LA MEURTHE à MALZEVILLE	LA MEURTHE à LANEUVEVILLE-DEVANT-NANCY	0.79	LA MEURTHE à DAMELEVIERES	0.79	LA MORTAGNE à GERBEVILLER	0.64	LE VACON à BARBAS	0.1
A6953010	L'AMEZULE à LAY-SAINT-CHRISTOPHE	LA MOSELLE à UCKANGE	0.52	LA SEILLE à METZ [PONT LOTHAIRE]	0.64	LA SEILLE à NOMENY	0.56	LA MOSELLE à HAUCONCOURT	0.5
A7010610	LA MOSELLE à CUSTINES	L'EURON à FROVILLE	0.4	LA MORTAGNE à GERBEVILLER	0.53	LA MOSELLE à TOUL	0.85	LA MOSELLE à HAUCONCOURT	0.85
A7122010	L'ESCH à JEZAINVILLE	LE RUPT DE MAD à ONVILLE	0.64	LA MEUSE à STENAY	0.43	L'AMEZULE à LAY-SAINT-CHRISTOPHE	0.47	L'ORNE à ROSSELANGE	0.65
A7352010	LE RUPT DE MAD à ONVILLE	L'ESCH à JEZAINVILLE	0.54	L'ORNE à ROSSELANGE	0.64	LA MEUSE à STENAY	0.41	L'ORNE à BONCOURT	0.47
A7642010	LA PETITE SEILLE à CHATEAU-SALINS	LA SEILLE à NOMENY	0.48	LA SEILLE à METZ [PONT LOTHAIRE]	0.49	LA NIED FRANCAISE à CONDE-NORTHEN [PONTIGNY]	0.46	LA NIED ALLEMANDE à FAULQUEMONT	0.4
A7821010	LA SEILLE à NOMENY	LA PETITE SEILLE à CHATEAU-SALINS	0.59	LA SEILLE à METZ [PONT LOTHAIRE]	0.64	L'AMEZULE à LAY-SAINT-CHRISTOPHE	0.49	LA NIED FRANCAISE à CONDE-NORTHEN [PONTIGNY]	0.6
A7881010	LA SEILLE à METZ [PONT LOTHAIRE]	LA SEILLE à NOMENY	0.71	LA PETITE SEILLE à CHATEAU-SALINS	0.63	LA NIED FRANCAISE à CONDE-NORTHEN [PONTIGNY]	0.68	L'AMEZULE à LAY-SAINT-CHRISTOPHE	0.59
A7930610	LA MOSELLE à HAUCONCOURT	L'EURON à FROVILLE	0.37	LA MOSELLE à UCKANGE	0.85	LA MOSELLE à CUSTINES	0.83	LA MEURTHE à MALZEVILLE	0.79
A8006210	LE RUISSEAU DE VAUX à MORGEMOULIN	L'ORNE à BONCOURT	0.59	LE LOISON à HAN-LES-JUVIGNY	0.61	LA MEUSE à CHOOZ [TROU DU DIABLE]	0.34	L'ORNE à ROSSELANGE	0.57
A8071010	L'ORNE à BONCOURT	LE RUISSEAU DE VAUX à MORGEMOULIN	0.68	L'ORNE à ROSSELANGE	0.68	LE LOISON à HAN-LES-JUVIGNY	0.69	LA MEUSE à CHOOZ [TROU DU DIABLE]	0.35
A8431010	L'ORNE à ROSSELANGE	L'ORNE à BONCOURT	0.72	LE RUISSEAU DE VAUX à MORGEMOULIN	0.71	LA CRUSNES à PIERREPONT	0.63	LE RUPT DE MAD à ONVILLE	0.79
A8500610	LA MOSELLE à UCKANGE	LA MOSELLE à HAUCONCOURT	0.87	L'AMEZULE à LAY-SAINT-CHRISTOPHE	0.49	L'EURON à FROVILLE	0.4	LA SEILLE à NOMENY	0.83
A8732010	LA CANNER à KOENIGSMACKER	LA NIED à BOUZONVILLE	0.45	LA NIED FRANCAISE à CONDE-NORTHEN [PONTIGNY]	0.43	LA NIED ALLEMANDE à VARIZE	0.46	LA NIED ALLEMANDE à FAULQUEMONT	0.38
A9001050	LA SARRE BLANCHE à LANEUVEVILLE-LES-LORQUIN	LA VEZOUZE à FREMONVILLE	0.39	LE VACON à BARBAS	-0.14	LA SARRE à DIEDENDORF	0.06	LA ZORN à SAVERNE [SCHINDERTHAL]	0.3
A9013050	LA SARRE ROUGE à VASPERVILLER	LA VEZOUZE à FREMONVILLE	0.01	LA ZORN à SAVERNE [SCHINDERTHAL]	0.29	LA SARRE à DIEDENDORF	-0.33	LA BRUCHE à HOLTZHEIM [2]	-0.23
A9021040	LA SARRE à HERMELANGE	LA VEZOUZE à FREMONVILLE	0.25	LA SARRE à DIEDENDORF	0.43	LA ZORN à SAVERNE [SCHINDERTHAL]	0.32	LE VACON à BARBAS	0.26
A9072050	L'ISCH à POSTROFF	LA SARRE à SARREINSMING	0.41	LA SARRE à KESKASTEL	0.42	LA SARRE à DIEDENDORF	0.32	LA ZORN à SAVERNE [SCHINDERTHAL]	0.22
A9091050	LA SARRE à KESKASTEL	LA SARRE à DIEDENDORF	0.52	LA SARRE à SARREINSMING	0.69	LA ZORN à SAVERNE [SCHINDERTHAL]	0.42	LA VEZOUZE à FREMONVILLE	0.46
A9091060	LA SARRE à DIEDENDORF	LA SARRE à KESKASTEL	0.32	LA ZORN à SAVERNE [SCHINDERTHAL]	0.32	LA SARRE à SARREINSMING	0.26	LA VEZOUZE à FREMONVILLE	0.1
A9221010	LA SARRE à SARREINSMING	LA SARRE à KESKASTEL	0.8	LA SARRE à DIEDENDORF	0.53	LA ZORN à SAVERNE [SCHINDERTHAL]	0.44	LA ZORN à WALTENHEIM-SUR-ZORN	0.55
A9352050	L'EICHEL à OERMINGEN	LA SARRE à SARREINSMING	0.41	LA MODER à SCHWEIGHOUSE-SUR-MODER [AVAL]	0.31	LA ZORN à WALTENHEIM-SUR-ZORN	0.35	LA SARRE à KESKASTEL	0.42
A9425050	LA BLIES à BLIESBRUCK	LA LAUTER à WISSEMBOURG [WEILER]	0.3	LA MODER à SCHWEIGHOUSE-SUR-MODER [AVAL]	0.5	LA SAUER à BEINHEIM	0.63	LE SELTZBACH à NIEDERROEDERN	0.32
A9752010	LA NIED FRANCAISE à CONDE-NORTHEN [PONTIGNY]	LA NIED à BOUZONVILLE	0.6	LA NIED ALLEMANDE à VARIZE	0.6	LA SEILLE à METZ [PONT LOTHAIRE]	0.59	LA PETITE SEILLE à CHATEAU-SALINS	0.53
A9832010	LA NIED ALLEMANDE à FAULQUEMONT	LA NIED ALLEMANDE à VARIZE	0.64	LA NIED à BOUZONVILLE	0.63	LA NIED FRANCAISE à CONDE-NORTHEN [PONTIGNY]	0.64	LA PETITE SEILLE à CHATEAU-SALINS	0.54
A9862010	LA NIED ALLEMANDE à VARIZE	LA NIED ALLEMANDE à FAULQUEMONT	0.71	LA NIED à BOUZONVILLE	0.71	LA NIED FRANCAISE à CONDE-NORTHEN [PONTIGNY]	0.71	LA PETITE SEILLE à CHATEAU-SALINS	0.63
A9942010	LA NIED à BOUZONVILLE	LA NIED ALLEMANDE à VARIZE	0.75	LA NIED FRANCAISE à CONDE-NORTHEN [PONTIGNY]	0.75	LA NIED ALLEMANDE à FAULQUEMONT	0.72	LA PETITE SEILLE à CHATEAU-SALINS	0.68
B0220010	LA MEUSE à GONCOURT	LA MEUSE à DOMREMY-LA-PUCELLE	0.74	LE MOUZON à CIRCOURT-SUR-MOUZON [VILLARS]	0.77	LA MEUSE à VAUCOULEURS [CHALAINES]	0.67	LE VAIR à BELMONT-SUR-VAIR	0.57
B1092010	LE MOUZON à CIRCOURT-SUR-MOUZON [VILLARS]	LA MEUSE à DOMREMY-LA-PUCELLE	0.71	LA MEUSE à VAUCOULEURS [CHALAINES]	0.64	LE VAIR à BELMONT-SUR-VAIR	0.53	LE VAIR à SOULOSSE-SOUS-SAINT-ÉLOPHE	0.74
B1150010	LA MEUSE à DOMREMY-LA-PUCELLE	LE MOUZON à CIRCOURT-SUR-MOUZON [VILLARS]	0.75	LA MEUSE à VAUCOULEURS [CHALAINES]	0.8	LA MEUSE à GONCOURT	0.75	LE VAIR à BELMONT-SUR-VAIR	0.64
B1282010	LE VAIR à SOULOSSE-SOUS-SAINT-ÉLOPHE	LE VAIR à BELMONT-SUR-VAIR	0.6	LA MEUSE à VAUCOULEURS [CHALAINES]	0.72	LE MOUZON à CIRCOURT-SUR-MOUZON [VILLARS]	0.72	LA MEUSE à SAINT-MIHIEL	0.52
B1322010	LE VAIR à BELMONT-SUR-VAIR	LE VAIR à SOULOSSE-SOUS-SAINT-ÉLOPHE	0.47	LE MOUZON à CIRCOURT-SUR-MOUZON [VILLARS]	0.35	LA MEUSE à VAUCOULEURS [CHALAINES]	0.4	LE MADON à MIRECOURT [CRUES]	0.57
B1340010	LA MEUSE à VAUCOULEURS [CHALAINES]	LE MOUZON à CIRCOURT-SUR-MOUZON [VILLARS]	0.67	LA MEUSE à DOMREMY-LA-PUCELLE	0.82	LE VAIR à SOULOSSE-SOUS-SAINT-ÉLOPHE	0.8	LA MEUSE à SAINT-MIHIEL	0.71
B2042010	L'AROFFE à VANNES-LE-CHATEL	LA MEUSE à SAINT-MIHIEL	-0.28	LE VAIR à SOULOSSE-SOUS-SAINT-ÉLOPHE	-0.15	LE MADON à PULLIGNY	-0.26	LA MEUSE à VAUCOULEURS [CHALAINES]	-0.22
B2220010	LA MEUSE à SAINT-MIHIEL	LA MEUSE à VAUCOULEURS [CHALAINES]	0.74	L'AROFFE à VANNES-LE-CHATEL	0.16	LE VAIR à SOULOSSE-SOUS-SAINT-ÉLOPHE	0.6	LA MEUSE à DOMREMY-LA-PUCELLE	0.61
B3150020	LA MEUSE à STENAY	L'AROFFE à VANNES-LE-CHATEL	-0.08	L'ESCH à JEZAINVILLE	0.49	LA MEUSE à SAINT-MIHIEL	0.72	LE RUPT DE MAD à ONVILLE	0.63
B4031010	LA CHIERS à MONTIGNY-SUR-CHIERS	LE TON à ÉCOUVIEZ	0.48	LA CRUSNES à PIERREPONT	0.42	LA CHIERS à CHAUVENCY-LE-CHATEAU	0.55	LA CHIERS à CARIGNAN	0.47
B4132010	LA CRUSNES à PIERREPONT	LA CHIERS à MONTIGNY-SUR-CHIERS	0.29	LA CHIERS à CHAUVENCY-LE-CHATEAU	0.63	LA CHIERS à CARIGNAN	0.67	L'ORNE à ROSSELANGE	0.49
B4224310	LE TON à ÉCOUVIEZ	LA CHIERS à CARIGNAN	0.39	LA CHIERS à CHAUVENCY-LE-CHATEAU	0.4	LA CHIERS à MONTIGNY-SUR-CHIERS	0.27	LA CRUSNES à PIERREPONT	0.2
B4572010	LE LOISON à HAN-LES-JUVIGNY	LA MEUSE à CHOOZ [TROU DU DIABLE]	0.5	LE RUISSEAU DE VAUX à MORGEMOULIN	0.71	LA CHIERS à CARIGNAN	0.46	LA CHIERS à CHAUVENCY-LE-CHATEAU	0.49
B4601010	LA CHIERS à CHAUVENCY-LE-CHATEAU	LA CHIERS à CARIGNAN	0.75	LE TON à ÉCOUVIEZ	0.6	LA CRUSNES à PIERREPONT	0.65	LE LOISON à HAN-LES-JUVIGNY	0.35
B4631010	LA CHIERS à CARIGNAN	LA CHIERS à CHAUVENCY-LE-CHATEAU	0.79	LE TON à ÉCOUVIEZ	0.6	LE LOISON à HAN-LES-JUVIGNY	0.27	LA CHIERS à MONTIGNY-SUR-CHIERS	0.43
B5172010	LA BAR à CHEVEUGES	LA VENCE à LA FRANCHEVILLE	0.46	LA SORMONNE à BELVAL	0.55	LA MEUSE à CHOOZ [TROU DU DIABLE]	0.64	LA SEMOY à HAULME	0.49
B5322010	LA VENCE à LA FRANCHEVILLE	LA SORMONNE à BELVAL	0.63	LA BAR à CHEVEUGES	0.5	LA HOUILLE à LANDRICHAMPS	0.5	LA SEMOY à HAULME	0.55
B5572010	LA SORMONNE à BELVAL	LA VENCE à LA FRANCHEVILLE	0.65	LA HOUILLE à LANDRICHAMPS	0.74	LA BAR à CHEVEUGES	0.63	LA SEMOY à HAULME	0.46
B6111010	LA SEMOY à HAULME	LE TON à ÉCOUVIEZ	0.4	LA HOUILLE à LANDRICHAMPS	0.6	LA CHIERS à CARIGNAN	0.61	LA CHIERS à CHAUVENCY-LE-CHATEAU	0.64
B7200000	LA MEUSE à CHOOZ [TROU DU DIABLE]	LE LOISON à HAN-LES-JUVIGNY	0.49	LE RUISSEAU DE VAUX à MORGEMOULIN	0.37	L'ORNE à BONCOURT	0.29	LA CHIERS à CARIGNAN	0.79
B7322010	LA HOUILLE à LANDRICHAMPS	LA SORMONNE à BELVAL	0.68	LA SEMOY à HAULME	0.53	LA VENCE à LA FRANCHEVILLE	0.46	LA BAR à CHEVEUGES	0.74

Annexe D : Inventaire des jaugeages disponibles au droit des 98 stations RCS

Numéro national	Nom	Surface théorique (MNT)	Nombre de jaugeages (1971-2010)	Nombre de jaugeages (1990-2009)
2001000	L'AUGRABEN à BARTENHEIM	92.8	155	144
2001025	LE RIEDGRABEN à LANDSER	17.4	0	0
2002000	L'ILL à CARSPACH	227.8	20	0
2003350	LA LARGUE à SEPPOIS-LE-BAS	66.9	0	0
2005700	LA DOLLER à REININGUE	187.5	352	156
2010000	LA THUR à STAFFELFELDEN	256.6	362	156
2013000	L'ILL à OBERHERGHEIM	1340.1	375	149
2016050	LA LAUCH à BUHL (AVAL)	64.7	0	0
2018000	LA LAUCH à HERRLISHEIM-PRES-COLMAR	299.9	166	147
2018500	L'ILL à COLMAR (MAISON ROUGE)	1832.6	72	72
2018780	LA PETITE FECHT à STOSSWIHR (B)	15.6	0	0
2021000	LA FECHT à GUEMAR	524.5	230	72
2025500	L'ILL à HUTTENHEIM	3201.9	383	285
2028000	L'ANDLAU à ANDLAU	37.4	156	144
2028300	LA SCHERNETZ à EPFIG	25.0	72	72
2030200	L'EHN à MEISTRATZHEIM	60.4	82	82
2032000	LA BRUCHE à GRESSWILLER	433.3	366	156
2037400	LA SOUFFEL à MUNDOLSHEIM (AMONT)	72.6	77	76
2038000	L'ILL à LA WANTZENAU	4663.4	499	282
2041650	LA ZINSEL DU NORD à ZINSWILLER	90.0	72	72
2043600	LA ZORN à STEINBOURG	393.3	76	76
2045000	LA MODER à DRUSENHEIM	1546.1	248	142
2045050	LA MODER à AUENHEIM	1705.3	144	144
2045150	LA SAUER à LEMBACH	94.3	130	130
2045350	L'EBERBACH à WALBOURG	22.9	81	81
2046000	LA SAUER à BEINHEIM	522.4	394	286
2047500	LA LAUTER à WEILER	271.9	144	144
2048980	LA MOSELLE à RAMONCHAMP	120.2	9	9
2049900	LA CLEURIE à CLEURIE	57.8	236	150
2051600	LE NEUNE à LAVELINE-DEVANT-BRUYERE	94.6	142	142
2052500	LA MOSELLE à ARCHETTES	1127.2	0	0
2056200	LA MOSELLE à TONNOY	1991.2	0	0
2057250	LE MADON à MATTAINCOURT	371.1	11	11
2057600	LE BRENON à AUTREY	148.9	128	128
2058000	LE MADON à XEUILLEY	1007.8	365	156
2060750	LA MOSELLE à LIVERDUN	3708.9	448	226
2061500	LA MEURTHE à FRAIZE	73.4	281	156
2064770	LE RABODEAU à MOYENMOUTIER (AMONT)	112.7	0	0
2065090	LA PLAINE à RAON-SUR-PLAINE	13.3	0	0
2067150	LA MEURTHE à SAINT-CLEMENT	1041.6	0	0
2067600	LA VERDURETTE à RECLONVILLE	68.0	143	143
2067800	LA VEZOUZE à THIEBAUMENIL	471.3	142	142
2068800	LA MORTAGNE à SAINT-MAURICE-SUR-MORTAGNE	341.2	139	139
2070250	LA MEURTHE à DAMELEVIERES	2285.8	129	129
2070750	LE SANON à HENAMENIL	175.3	8	8
2072700	LA MEURTHE à TOMBLAINE	2874.1	0	0
2076180	L'ESCHE à MARTINCOURT (SAINT-JEAN)	129.5	0	0
2076800	LA MOSELLE à VANDIERES	7248.1	55	55
2077200	LE RUPT DE MAD à ESSEY-ET-MAIZERAIS	131.0	98	98

Numéro national	Nom	Surface théorique (MNT)	Nombre de jaugeages (1971-2010)	Nombre de jaugeages (1990-2009)
2081000	LA SEILLE à MULCEY	200.8	214	150
2081100	LA PETITE SEILLE à HABOUDANGE	44.8	8	8
2082350	LA SEILLE à CHEMINOT	1064.7	11	11
2085325	L'ORNE à GUSSAINVILLE	256.6	13	13
2089000	L'ORNE à ROSSELANGE	1272.2	8	0
2094700	LE RUISSEAU D'OUDRENNE à KOENIGSMACKER	20.8	8	8
2094800	LE RUISSEAU D'ALTBACH à BEYREN-LES-SIERCK	71.6	0	0
2094900	LA MOSELLE à SIERCK	11470.0	616	270
2094920	LE RUISSEAU D'APACH à APACH	24.3	8	8
2094930	LE RUISSEAU DES QUATRE MOULINS à VOLMERANGE	24.3	12	12
2094950	L'ALZETTE à AUDUN-LE-TICHE	21.5	412	181
2094970	LA SARRE BLANCHE à TURQUESTEIN-BLANCRUPT	7.6	0	0
2095600	LA SARRE à SARRALTROFF	418.4	72	72
2096900	LA SARRE à KESKASTEL	877.9	505	282
2099800	LA BLIES à BLIES-GUERSVILLER	1877.1	66	66
2100150	LA SARRE à GROSBLIEDERSTROFF (AMONT)	3749.9	58	58
2100600	LA HORN à LIEDERSCHIEDT	94.7	195	195
2100830	LE SCHWALBACH à LOUTZVILLER	94.0	8	8
2103800	LA ROSSELLE à PETITE-ROSSELLE	197.7	513	281
2103850	LA BISTEN à CREUTZWALD	63.0	396	189
2106410	LA NIED à GUERSTLING	1172.0	0	0
2106430	LE REMEL à NEUNKIRCHEN-LES-BOUZONVILLE	104.5	0	0
2106500	LA MEUSE à BASSONCOURT	136.9	153	153
2106600	LA MEUSE à GONCOURT	374.5	352	159
2106900	LE VAIR à SOULOSSE	447.4	318	140
2107900	LA MEHOLLE à VOID	71.1	63	63
2109000	LA MEUSE à SAINT-MIHIEL	2546.5	406	188
2112000	LA MEUSE à BRAS-SUR-MEUSE	3309.3	344	144
2113000	LA MEUSE à SASSEY-SUR-MEUSE	3735.0	140	120
2115000	LA MEUSE à REMILLY	4165.1	160	132
2115625	LA MOULAINE à HAUCOURT-MOULAINE	29.4	72	72
2115650	LA CHIERS à CONS-LA-GRANDVILLE	243.4	354	143
2115675	LA PIENNE à MERCY-LE-BAS	48.2	155	155
2115685	LE RUISSEAU DE NANHEUL à PIERREPONT	57.0	0	0
2115762	LE DORLON à CHARENCY-VEZIN	24.4	11	11
2115775	LE TON à ECOUVIEZ	304.8	339	144
2115790	L'OTHAIN à HOUDELAUCOURT	72.9	131	131
2115900	LE LOISON à HAN-LES-JUVIGNY	346.4	336	144
2115950	LA MARCHE à SAPOGNE-SUR-MARCHE	96.4	59	59
2116000	LA CHIERS à CARIGNAN	2112.2	479	261
2116600	LA GIVONNE à DAIGNY	45.4	45	45
2117575	LA BAR à SAUVILLE	257.9	63	63
2118000	LA MEUSE à LUMES	7140.2	127	119
2118300	LA SORMONNE à GIRONDELLE	33.9	142	142
2120000	LA SEMOIS à HAULME	1337.4	422	224
2122200	L'ALYSE à FUMAY	26.8	70	70
2122800	LE VIROUIN à VIREUX-MOLHAIN	589.0	70	70
2123500	LA HOUILLE à FROMELENNES	208.8	0	0
2124000	LA MEUSE à GIVET	10577.6	0	0

Annexe E : Validation des jaugeages à l'aide de la station hydrométrique la plus proche

Numéro national	Nom	Nom du 1er voisin	Différenciel de surface (en absolu)	Distance entre centroïdes (en m)	Nombre de mesures concomitantes	Coefficient R^2	Erreur moyenne	Erreur médiane	RMSE
2001000	L'AUGRABEN à BARTENHEIM	LE LIESBACH à BLOTZHEIM	83.47	2604	39	0.33	0.59	0.41	2.13
2005700	LA DOLLER à REININGUE	LA DOLLER à REININGUE	0	0	155	0.82	1.89	-0.12	23.88
2010000	LA THUR à STAFFELFELDEN	LA THUR à PULVERSHEIM	2.58	168	147	0.98	-0.17	-0.29	4.82
2013000	L'ILL à OBERHERGHEIM	L'ILL à OBERHERGHEIM	0	0	103	0.99	-0.43	-0.18	1.95
2018000	LA LAUCH à HERRLISHEIM-PRES-COLMAR	LA LAUCH à EGUISHEIM	16.96	675	12	1	0.24	0.25	0.42
2018500	L'ILL à COLMAR (MAISON ROUGE)	L'ILL à COLMAR [LADHOF]	18.24	719	72	0.89	-0.5	0.1	5.51
2021000	LA FECHT à GUEMAR	LA FECHT à GUEMAR	0	0	0				
2025500	L'ILL à HUTTENHEIM	LA LAUCH à EGUISHEIM	2885	2535	29	0.86	5.81	4.84	7.09
2028000	L'ANDLAU à ANDLAU	L'ANDLAU à ANDLAU	6.48	788	142	0.87	2.96	1.56	8.73
2028300	LA SCHERNETZ à EPFIG	L'ANDLAU à SCHAEFFERSHEIM	119.7	6482	0				
2030200	L'EHN à MEISTRATZHEIM	L'EHN à NIEDERNAI	5.64	883	82	0.51	1.66	1.42	5.59
2032000	LA BRUCHE à GRESSWILLER	LA BRUCHE [TOTALE] à MUTZIG	1.73	71	127	0.82	0.3	0.23	12.49
2037400	LA SOUFFEL à MUNDOLSHEIM (AMONT)	LA SOUFFEL à MUNDOLSHEIM	46.47	1778	0				
2038000	L'ILL à LA WANTZENAU	LA FECHT à GUEMAR	4138.83	9862	0				
2041650	LA ZINSEL DU NORD à ZINSWILLER	LA MODER à SCHWEIGHOUSE-SUR-MODER [AVAL]	529.89	6074	72	0.43	3.22	3.05	7.25
2043600	LA ZORN à STEINBOURG	LA ZORN à WALTENHEIM-SUR-ZORN	290.41	6825	76	0.67	1.33	0.7	5.88
2045000	LA MODER à DRUSENHEIM	LA MODER à DRUSENHEIM	0	0	0				
2045050	LA MODER à AUENHEIM	LA MODER à DRUSENHEIM	159.19	2368	14	0.46	4.46	4.39	7.77
2045150	LA SAUER à LEMBACH	LA SAUER à GOERSDORF [LIEBFRAUENTHAL]	98.47	5012	96	0.37	0.42	0.45	3.83
2045350	L'EBERBACH à WALBOURG	LA SAUER à BEINHEIM	485.09	7298	73	0.72	-1.05	-2.06	5.19
2046000	LA SAUER à BEINHEIM	LA SAUER à BEINHEIM	14.43	467	285	0.26	0.74	0.12	10.09
2047500	LA LAUTER à WEILER	LA LAUTER à WISSEMBOURG [WEILER]	0	0	141	0.77	-0.31	-0.26	2.02
2048980	LA MOSELLE à RAMONCHAMP	LA MOSELLE à RUPT-SUR-MOSELLE	32.31	2016	9	0.92	2.02	1.04	7.42
2049900	LA CLEURIE à CLEURIE	LA CLEURIE à CLEURIE	6.33	598	141	0.8	5	1.65	22.11
2051600	LE NEUNE à LAVELINE-DEVANT-BRUYERE	LE NEUNE à LAVELINE-DEVANT-BRUYERES	0.95	21	140	0.93	-0.04	-0.17	8.07
2057250	LE MADON à MATTAINCOURT	LE MADON à MIRECOURT [CRUES]	13.98	351	11	0.96	2.05	0.65	4.24
2057600	LE BRENON à AUTREY	LE BRENON à AUTREY	0.3	128	126	0.79	-0.3	-0.05	6.37
2058000	LE MADON à XEUILLEY	LE MADON à PULLIGNY	54.88	1436	156	0.92	-0.13	-0.16	3.05
2060750	LA MOSELLE à LIVERDUN	LA MOSELLE à TOUL	349.59	6160	226	0.97	-1.24	-0.82	4.41
2061500	LA MEURTHE à FRAIZE	LA MEURTHE à FRAIZE	7.12	692	156	0.73	2.12	-1.23	13.01
2067600	LA VERDURETTE à RECLONVILLE	LA MEURTHE à LANEUVEVILLE-DEVANT-NANCY	2710.01	5148	143	0.58	-5.5	-3.4	10.96
2067800	LA VEZOUZE à THIEBAUMENIL	LA VEZOUZE à THIEBAUMENIL	0	0	122	0.36	-2.62	-1.18	17.86
2068800	LA MORTAGNE à SAINT-MAURICE-SUR-MORTAGNE	LA MORTAGNE à ROVILLE-AUX-CHENES	44.88	1718	119	0.82	-1.28	-1.15	6.51
2070250	LA MEURTHE à DAMELEVIERES	LA MEURTHE à DAMELEVIERES	2.29	65	129	0.98	0.42	0.01	2.3
2070750	LE SANON à HENAMENIL	LE RUISSEAU DES AMIS à MARAINVILLER	137.38	6712	0				
2076800	LA MOSELLE à VANDIERES	L'EURON à FROVILLE	7157.46	3458	55	0.27	1.33	3.09	13.03
2077200	LE RUPT DE MAD à ESSEY-ET-MAIZERAIS	LE RUPT DE MAD à ONVILLE	236.01	9303	95	0.49	-3.24	-2.76	8.55
2081000	LA SEILLE à MULCEY	LA SEILLE à MOYENVIC	153.58	4757	148	0.01	16.52	2.97	134.19
2081100	LA PETITE SEILLE à HABOUDANGE	LA PETITE SEILLE à CHATEAU-SALINS	102.39	4114	8	0.92	-0.11	0.13	0.97
2082350	LA SEILLE à CHEMINOT	LA SEILLE à NOMENY	134.46	3644	11	0.99	-0.68	-0.39	1.21
2085325	L'ORNE à GUSSAINVILLE	L'ORNE à ÉTAIN	120.75	3752	13	0.9	-2.4	-0.07	7.02
2094700	LE RUISSEAU D'OUDRENNE à KOENIGSMACKER	LE RUISSEAU DE MONTENACH à SIERCK-LES-BAINS	27.98	6227	0				
2094900	LA MOSELLE à SIERCK	LA MOSELLE à UCKANGE	646.33	4242	270	0.83	-0.19	-0.14	6.78
2094920	LE RUISSEAU D'APACH à APACH	LE RUISSEAU DE MANDEREN à MANDEREN	15.25	1773	0				
2094930	LE RUISSEAU DES QUATRE MOULINS à VOLMERANGE	LE VEYMERANGE à TERVILLE	0.42	7706	0				
2094950	L'ALZETTE à AUDUN-LE-TICHE	L'ALZETTE à AUDUN-LE-TICHE	0.5	67	180	0.74	0.57	0.26	8.97
2095600	LA SARRE à SARRALTROFF	LA SARRE à SARREBOURG	108.45	2484	70	0.74	0.2	0.17	6.01
2096900	LA SARRE à KESKASTEL	LA SARRE à KESKASTEL	0	0	282	0.85	0.77	0	9.07
2099800	LA BLIES à BLIES-GUERSVILLER	LA BLIES à BLIESBRUCK	64.56	784	49	0.55	1.81	1.65	5.77
2100150	LA SARRE à GROSBLIEDERSTROFF (AMONT)	LA SARRE à SARREGUEMINES [WELFERDING]	7.49	45	0				
2100600	LA HORN à LIEDERSCHIEDT	L'HORN à BOUSSEVILLER	0	0	188	0.47	1.51	0.2	5.42
2100830	LE SCHWALBACH à LOUTZVILLER	L'HORN à BOUSSEVILLER	0.66	8454	8	0.86	0.52	-0.14	2.91
2103800	LA ROSSELLE à PETITE-ROSSELLE	LA ROSSELLE à FORBACH [PETITE-ROSSELLE]	13.92	579	265	0.5	-1.09	-0.63	3.18
2103850	LA BISTEN à CREUTZWALD	LA BISTEN à CREUTZWALD	0.12	80	181	0.8	0.53	0.27	4.16
2106500	LA MEUSE à BASSONCOURT	LA MEUSE à GONCOURT	237.53	8749	151	0.74	-0.81	-0.15	11.52
2106600	LA MEUSE à GONCOURT	LA MEUSE à GONCOURT	0	0	159	0.74	-1.38	0	13.16
2106900	LE VAIR à SOULOSSE	LE VAIR à SOULOSSE-SOUS-SAINT-ÉLOPHE	0	0	135	0.87	-0.21	-0.11	6.68
2107900	LA MEHOLLE à VOID	LA MEUSE à STENAY	3851.39	4768	60	0.79	7.49	4.66	14.56
2109000	LA MEUSE à SAINT-MIHIEL	LA MEUSE à SAINT-MIHIEL	2.54	0	188	0.86	-0.23	0	6.14
2112000	LA MEUSE à BRAS-SUR-MEUSE	LA MEUSE à BELLEVILLE-SUR-MEUSE [AVAL BARRAGE]	97.8	2511	85	0.85	0.36	0.24	6.77
2113000	LA MEUSE à SASSEY-SUR-MEUSE	LA MEUSE à STENAY	187.57	5245	120	0.9	-0.22	0.02	4.91
2115000	LA MEUSE à REMILLY	LA MEUSE à STENAY	242.55	5928	132	0.83	-0.29	-0.01	6.01
2115625	LA MOULAINE à HAUCOURT-MOULAINE	L'ALZETTE à AUDUN-LE-TICHE	7.45	6110	59	0.78	-1.32	0.9	10.53
2115650	LA CHIERS à CONS-LA-GRANDVILLE	LA CHIERS à LONGWY	30.95	1108	91	0.81	-0.06	1.9	9.97
2115675	LA PIENNE à MERCY-LE-BAS	LA CRUSNES à PIERREPONT	158.74	6516	155	0.73	-2.8	-2.55	6.66
2115762	LE DORLON à CHARENCY-VEZIN	LA CHIERS à BREVILLY [CHIERS]	2104.82	2700	1				
2115775	LE TON à ECOUVIEZ	LE TON à ÉCOUVIEZ	0	0	140	0.95	0.25	0.08	2.72
2115790	L'OTHAIN à HOUDELAUCOURT	L'OTHAIN à SPINCOURT [HOUDELAUCOURT]	10.29	574	0				
2115900	LE LOISON à HAN-LES-JUVIGNY	LE LOISON à HAN-LES-JUVIGNY	0	0	143	0.88	0.58	0.02	6.72
2115950	LA MARCHE à SAPOGNE-SUR-MARCHE	LA THONNE à THONNE-LES-PRES	42.43	7964	0				
2116000	LA CHIERS à CARIGNAN	LA CHIERS à BREVILLY [CHIERS]	16.96	503	0				
2116600	LA GIVONNE à DAIGNY	LA VRIGNE à VRIGNE-AUX-BOIS	14.18	11806	0				
2117575	LA BAR à SAUVILLE	LA BAR à CHEVEUGES	139.74	3286	63	0.68	-1.67	-1.99	4.9
2118000	LA MEUSE à LUMES	LA MEUSE à SEDAN	634.09	6141	67	0.94	1.12	1.18	3.89
2118300	LA SORMONNE à GIRONDELLE	LA SORMONNE à BELVAL	338.65	11647	134	0.66	1.25	-1.25	13.26
2120000	LA SEMOIS à HAULME	LA SEMOY à HAULME	0	0	224	0.96	-0.46	-0.07	5.24
2122200	L'ALYSE à FUMAY	LA HOUILLE à LANDRICHAMPS	157.83	18147	69	0.82	-0.73	0.08	7.94
2122800	LE VIROUIN à VIREUX-MOLHAIN	LA SORMONNE à BELVAL	216.45	26810	70	0.88	-1.76	-1.9	5.53

Annexe F : Identification des 4 plus proches voisins de la station-cible selon le critère de proximité spatiale (aux stations RCS)

Numéro national	Nom	Nom du 1er voisin	Distance (en m)	Nom du 2ème voisin	Distance (en m)	Nom du 3ème voisin	Distance (en m)	Nom du 4ème voisin	Distance (en m)
2001000	L'AUGRABEN à BARTENHEIM	LE THALBACH à WITTERSDORF	13100	L'ILL à ALTKIRCH	15563	L'ILL à DIDENHEIM	20485	LA LARGUE à DANNEMARIE	25091
2001025	LE RIEDGRABEN à LANDSER	LE THALBACH à WITTERSDORF	6558	L'ILL à ENSISHEIM	10936	L'ILL à DIDENHEIM	11804	L'ILL à ALTKIRCH	15145
2002000	L'ILL à CARSPACH	L'ILL à ALTKIRCH	199	L'ILL à DIDENHEIM	8352	LE THALBACH à WITTERSDORF	8938	LA LARGUE à DANNEMARIE	9660
2003350	LA LARGUE à SEPPOIS-LE-BAS	LA LARGUE à DANNEMARIE	4527	L'ILL à ALTKIRCH	9227	L'ILL à DIDENHEIM	11500	LA LARGUE à SPECHBACH-LE-BAS	12860
2005700	LA DOLLER à REININGUE	LA DOLLER à REININGUE	0	LA DOLLER à LAUW	6470	LA THUR à PULVERSHEIM	10291	L'ILL à COLMAR [LADHOF]	13614
2010000	LA THUR à STAFFELFELDEN	LA THUR à PULVERSHEIM	168	LA DOLLER à REININGUE	10308	LA DOLLER à LAUW	11021	LA MOSELLE à FRESSE-SUR-MOSELLE	13825
2013000	L'ILL à OBERHERGHEIM	L'ILL à ENSISHEIM	5618	L'ILL à COLMAR [LADHOF]	7054	LA LARGUE à SPECHBACH-LE-BAS	12285	L'ILL à DIDENHEIM	13732
2016050	LA LAUCH à BUHL (AVAL)	LA THUR à PULVERSHEIM	8735	LA FECHT à WINTZENHEIM [LA FORGE]	9611	LA THUR à WILDENSTEIN	12499	LA PETITE FECHT à STOSSWIHR [VILLAGE]	14424
2018000	LA LAUCH à HERRLISHEIM-PRES-COLMAR	LA FECHT à WINTZENHEIM [LA FORGE]	13011	LA THUR à PULVERSHEIM	13853	LA PETITE FECHT à STOSSWIHR [VILLAGE]	18039	L'ILL à COLMAR [LADHOF]	18452
2018500	L'ILL à COLMAR (MAISON ROUGE)	L'ILL à COLMAR [LADHOF]	719	L'ILL à ENSISHEIM	12904	LA DOLLER à REININGUE	13681	LA THUR à PULVERSHEIM	16510
2018780	LA PETITE FECHT à STOSSWIHR (B)	LA PETITE FECHT à STOSSWIHR [VILLAGE]	2600	LA FECHT à WINTZENHEIM [LA FORGE]	5567	LA MEURTHE à FRAIZE	8622	LA THUR à WILDENSTEIN	9230
2021000	LA FECHT à GUEMAR	LA WEISS à KAYSERSBERG [FRELAND-GARE]	5585	LA BEHINE à LAPOUTROIE	8357	LA PETITE FECHT à STOSSWIHR [VILLAGE]	8623	LA FECHT à WINTZENHEIM [LA FORGE]	9751
2025500	L'ILL à HUTTENHEIM	LA FECHT à WINTZENHEIM [LA FORGE]	15171	LA THUR à PULVERSHEIM	16156	L'ILL à COLMAR [LADHOF]	18259	LA PETITE FECHT à STOSSWIHR [VILLAGE]	20084
2028000	L'ANDLAU à ANDLAU	L'ANDLAU à ANDLAU	788	LE GIESSEN à THANVILLE	7770	L'EHN à NIEDERNAI	8767	LA BRUCHE à RUSS [WISCHES]	11189
2028300	LA SCHERNETZ à EPFIG	L'ANDLAU à ANDLAU	6841	LE GIESSEN à THANVILLE	10338	L'EHN à NIEDERNAI	11495	LE GIESSEN à SELESTAT [AMONT]	12438
2030200	L'EHN à MEISTRATZHEIM	L'EHN à NIEDERNAI	883	L'ANDLAU à ANDLAU	8971	LA BRUCHE à HOLTZHEIM [2]	10866	LE GIESSEN à THANVILLE	17022
2032000	LA BRUCHE à GRESSWILLER	LA BRUCHE à HOLTZHEIM [2]	6217	LA BRUCHE à RUSS [WISCHES]	7272	L'ANDLAU à ANDLAU	11096	L'EHN à NIEDERNAI	11867
2037400	LA SOUFFEL à MUNDOLSHEIM (AMONT)	LA MOSSIG à SOULTZ-LES-BAINS	14143	LA ZORN à WALTENHEIM-SUR-ZORN	20245	L'EHN à NIEDERNAI	22968	LA BRUCHE à HOLTZHEIM [2]	23914
2038000	L'ILL à LA WANTZENAU	LA WEISS à KAYSERSBERG [FRELAND-GARE]	12755	LA BEHINE à LAPOUTROIE	15280	LA LIEPVRETTE à LIEPVRE	17912	LA FECHT à WINTZENHEIM [LA FORGE]	17917
2041650	LA ZINSEL DU NORD à ZINSWILLER	LA MODER à SCHWEIGHOUSE-SUR-MODER [AVAL]	6074	LA SAUER à BEINHEIM	24547	LA ZORN à WALTENHEIM-SUR-ZORN	26329	LA LAUTER à WISSEMBOURG [WEILER]	29357
2043600	LA ZORN à STEINBOURG	LA ZORN à WALTENHEIM-SUR-ZORN	6825	LA ZORN à SAVERNE [SCHINDERTHAL]	7998	LA MOSSIG à SOULTZ-LES-BAINS	16279	LA SARRE à DIEDENDORF	17324
2045000	LA MODER à DRUSENHEIM	LA ZORN à WALTENHEIM-SUR-ZORN	12544	LA MODER à SCHWEIGHOUSE-SUR-MODER [AVAL]	12549	LA MOSSIG à SOULTZ-LES-BAINS	23530	LA ZORN à SAVERNE [SCHINDERTHAL]	24789
2045050	LA MODER à AUENHEIM	LA ZORN à WALTENHEIM-SUR-ZORN	13385	LA MODER à SCHWEIGHOUSE-SUR-MODER [AVAL]	13463	LA MOSSIG à SOULTZ-LES-BAINS	23180	LA SAUER à BEINHEIM	24905
2045150	LA SAUER à LEMBACH	LA LAUTER à WISSEMBOURG [WEILER]	9288	LA SAUER à BEINHEIM	18833	LA MODER à SCHWEIGHOUSE-SUR-MODER [AVAL]	20436	LE SELTZBACH à NIEDERROEDERN	22704
2045350	L'EBERBACH à WALBOURG	LA SAUER à BEINHEIM	7298	LA MODER à SCHWEIGHOUSE-SUR-MODER [AVAL]	14045	LE SELTZBACH à NIEDERROEDERN	15848	LA LAUTER à WISSEMBOURG [WEILER]	26703
2046000	LA SAUER à BEINHEIM	LA SAUER à BEINHEIM	467	LE SELTZBACH à NIEDERROEDERN	8351	LA MODER à SCHWEIGHOUSE-SUR-MODER [AVAL]	20399	LA LAUTER à WISSEMBOURG [WEILER]	22866
2047500	LA LAUTER à WEILER	LA LAUTER à WISSEMBOURG [WEILER]	0	LA SAUER à BEINHEIM	22664	LE SELTZBACH à NIEDERROEDERN	23016	LA MODER à SCHWEIGHOUSE-SUR-MODER [AVAL]	29442
2048980	LA MOSELLE à RAMONCHAMP	LA MOSELLE à RUPT-SUR-MOSELLE	2016	LA MOSELLE à FRESSE-SUR-MOSELLE	2420	LA DOLLER à LAUW	11280	LA MOSELOTTE à VAGNEY [ZAINVILLERS]	11554
2049900	LA CLEURIE à CLEURIE	LA CLEURIE à CLEURIE	598	LA MOSELLE à ÉPINAL	4123	LA VOLOGNE à CHENIMENIL	7613	LA MOSELLE à SAINT-NABORD [NOIRGUEUX]	10966
2051600	LE NEUNE à LAVELINE-DEVANT-BRUYERE	LE NEUNE à LAVELINE-DEVANT-BRUYERES	21	LA VOLOGNE à CHENIMENIL	5903	LA MORTAGNE à SAINTE-HELENE	10574	LA CLEURIE à CLEURIE	13323
2052500	LA MOSELLE à ARCHETTES	LA MOSELLE à ÉPINAL	1735	LA CLEURIE à CLEURIE	3517	LA MOSELLE à SAINT-NABORD [NOIRGUEUX]	7502	LA MOSELOTTE à VAGNEY [ZAINVILLERS]	9937
2056200	LA MOSELLE à TONNOY	LA MOSELLE à TONNOY	138	LA VOLOGNE à CHENIMENIL	14246	LA CLEURIE à CLEURIE	15009	LA MOSELLE à PONT-SAINT-VINCENT	15077
2057250	LE MADON à MATTAINCOURT	LE MADON à MIRECOURT [CRUES]	351	LE GITE à VELOTTE-ET-TATIGNECOURT	7018	LE MADON à PULLIGNY	13386	L'AVIERE à FRIZON	13940
2057600	LE BRENON à AUTREY	L'AROFFE à VANNES-LE-CHATEL	10943	LE MADON à PULLIGNY	17291	LE VAIR à SOULOSSE-SOUS-SAINT-ÉLOPHE	22006	LA MEUSE à SAINT-MIHIEL	25583
2058000	LE MADON à XEUILLEY	LE MADON à PULLIGNY	1436	LE GITE à VELOTTE-ET-TATIGNECOURT	14419	LE MADON à MIRECOURT [CRUES]	14480	LE VAIR à SOULOSSE-SOUS-SAINT-ÉLOPHE	19577
2060750	LA MOSELLE à LIVERDUN	LA MOSELLE à TOUL	6160	L'AVIERE à FRIZON	9994	LA MOSELLE à PONT-SAINT-VINCENT	10278	LE GITE à VELOTTE-ET-TATIGNECOURT	11010
2061500	LA MEURTHE à FRAIZE	LA MEURTHE à FRAIZE	692	LA BEHINE à LAPOUTROIE	7278	LA PETITE FECHT à STOSSWIHR [VILLAGE]	8501	LA WEISS à KAYSERSBERG [FRELAND-GARE]	8670
2064770	LE RABODEAU à MOYENMOUTIER (AMONT)	LA MEURTHE à AZERAILLES	10117	LA BRUCHE à RUSS [WISCHES]	11444	LA MEURTHE à RAON-L'ÉTAPE	13613	LA MEURTHE à DAMELEVIERES	16699
2065090	LA PLAINE à RAON-SUR-PLAINE	LA BRUCHE à RUSS [WISCHES]	10761	LA VEZOUZE à FREMONVILLE	11109	LA BRUCHE à HOLTZHEIM [2]	13368	LE VACON à BARBAS	17770

2067150	LA MEURTHE à SAINT-CLEMENT	LA MEURTHE à AZERAILLES	2132	LA MEURTHE à RAON-L'ÉTAPE	6843	LA MEURTHE à DAMELEVIERES	12469	LA MEURTHE à SAINT-DIE	14735
2067600	LA VERDURETTE à RECLONVILLE	LA MEURTHE à LANEUVEVILLE-DEVANT-NANCY	5148	LA MEURTHE à MALZEVILLE	5924	LA MEURTHE à DAMELEVIERES	8799	LE VACON à BARBAS	9942
2067800	LA VEZOUZE à THIEBAUMENIL	LE VACON à BARBAS	3013	LA VEZOUZE à FREMONVILLE	10038	LA MEURTHE à LANEUVEVILLE-DEVANT-NANCY	13280	LA MEURTHE à MALZEVILLE	13648
2068800	LA MORTAGNE à SAINT-MAURICE-SUR-MORTAGNE	LA MORTAGNE à GERBEVILLER	4741	LA MORTAGNE à SAINTE-HELENE	8594	LA MEURTHE à DAMELEVIERES	15316	LA MOSELLE à CUSTINES	15959
2070250	LA MEURTHE à DAMELEVIERES	LA MEURTHE à DAMELEVIERES	65	LA MEURTHE à LANEUVEVILLE-DEVANT-NANCY	6147	LA MEURTHE à MALZEVILLE	7938	LA MORTAGNE à GERBEVILLER	13897
2070750	LE SANON à HENAMENIL	LA SEILLE à NOMENY	19017	LE VACON à BARBAS	19222	LA PETITE SEILLE à CHATEAU-SALINS	22911	LA MEURTHE à MALZEVILLE	24020
2072700	LA MEURTHE à TOMBLAINE	LA MEURTHE à MALZEVILLE	744	LA MEURTHE à LANEUVEVILLE-DEVANT-NANCY	1226	LA MEURTHE à DAMELEVIERES	7171	LA MORTAGNE à GERBEVILLER	14562
2076180	L'ESCHE à MARTINCOURT (SAINT-JEAN)	L'ESCH à JEZAINVILLE	4392	LE RUPT DE MAD à ONVILLE	11234	LA MEUSE à STENAY	26561	L'AMEZULE à LAY-SAINT-CHRISTOPHE	34008
2076800	LA MOSELLE à VANDIERES	L'EURON à FROVILLE	3458	LA MOSELLE à CUSTINES	3842	LA MOSELLE à HAUCONCOURT	13274	LA MORTAGNE à GERBEVILLER	15486
2077200	LE RUPT DE MAD à ESSEY-ET-MAIZERAIS	LE RUPT DE MAD à ONVILLE	9303	L'ESCH à JEZAINVILLE	12441	LA MEUSE à STENAY	23910	L'ORNE à ROSSELANGE	37059
2081000	LA SEILLE à MULCEY	LA PETITE SEILLE à CHATEAU-SALINS	14971	LA SEILLE à NOMENY	16997	LA SARRE à SARREINSMING	19584	LA SARRE à KESKASTEL	20216
2081100	LA PETITE SEILLE à HABOUDANGE	LA PETITE SEILLE à CHATEAU-SALINS	4114	LA SEILLE à NOMENY	11035	LA SEILLE à METZ [PONT LOTHAIRE]	13098	LA NIED ALLEMANDE à FAULQUEMONT	16918
2082350	LA SEILLE à CHEMINOT	LA SEILLE à NOMENY	3644	LA SEILLE à METZ [PONT LOTHAIRE]	5569	LA PETITE SEILLE à CHATEAU-SALINS	8164	L'AMEZULE à LAY-SAINT-CHRISTOPHE	19413
2085325	L'ORNE à GUSSAINVILLE	L'ORNE à BONCOURT	4427	LE RUISSEAU DE VAUX à MORGEMOULIN	5000	L'ORNE à ROSSELANGE	15764	LE LOISON à HAN-LES-JUVIGNY	18621
2089000	L'ORNE à ROSSELANGE	L'ORNE à ROSSELANGE	0	L'ORNE à BONCOURT	11395	LE RUISSEAU DE VAUX à MORGEMOULIN	20764	LA CRUSNES à PIERREPONT	24751
2094700	LE RUISSEAU D'OUDRENNE à KOENIGSMACKER	LA CANNER à KOENIGSMACKER	9247	LA NIED à BOUZONVILLE	34744	LA CRUSNES à PIERREPONT	39267	LA NIED ALLEMANDE à VARIZE	40369
2094800	LE RUISSEAU D'ALTBACH à BEYREN-LES-SIERCK	LA CANNER à KOENIGSMACKER	26184	LA CHIERS à MONTIGNY-SUR-CHIERS	30675	LA CRUSNES à PIERREPONT	33202	LA CHIERS à CHAUVENCY-LE-CHATEAU	45405
2094900	LA MOSELLE à SIERCK	LA MOSELLE à UCKANGE	4242	L'AMEZULE à LAY-SAINT-CHRISTOPHE	11176	LA MOSELLE à HAUCONCOURT	15565	LA SEILLE à NOMENY	23842
2094920	LE RUISSEAU D'APACH à APACH	LA CANNER à KOENIGSMACKER	19219	LA NIED à BOUZONVILLE	41492	LA NIED ALLEMANDE à VARIZE	45524	LA CRUSNES à PIERREPONT	45986
2094930	LE RUISSEAU DES QUATRE MOULINS à VOLMERANGE	LA CRUSNES à PIERREPONT	19038	LA CHIERS à MONTIGNY-SUR-CHIERS	22576	LA CANNER à KOENIGSMACKER	24882	LA CHIERS à CHAUVENCY-LE-CHATEAU	33313
2094950	L'ALZETTE à AUDUN-LE-TICHE	LA CRUSNES à PIERREPONT	11682	LA CHIERS à MONTIGNY-SUR-CHIERS	12378	LA CHIERS à CHAUVENCY-LE-CHATEAU	23502	LA CHIERS à CARIGNAN	26642
2094970	LA SARRE BLANCHE à TURQUESTEIN-BLANCRUPT	LA VEZOUZE à FREMONVILLE	11669	LA BRUCHE à HOLTZHEIM [2]	12311	LA BRUCHE à RUSS [WISCHES]	12338	LA ZORN à SAVERNE [SCHINDERTHAL]	17770
2095600	LA SARRE à SARRALTROFF	LA SARRE à DIEDENDORF	7237	LA SARRE à KESKASTEL	10419	LA VEZOUZE à FREMONVILLE	12084	LA ZORN à SAVERNE [SCHINDERTHAL]	13896
2096900	LA SARRE à KESKASTEL	LA SARRE à KESKASTEL	0	LA SARRE à DIEDENDORF	3226	LA SARRE à SARREINSMING	12684	LA ZORN à SAVERNE [SCHINDERTHAL]	15810
2099800	LA BLIES à BLIES-GUERSVILLER	LA BLIES à BLIESBRUCK	784	LA LAUTER à WISSEMBOURG [WEILER]	31152	LA MODER à SCHWEIGHOUSE-SUR-MODER [AVAL]	38423	LA SAUER à BEINHEIM	47089
2100150	LA SARRE à GROSBLIEDERSTROFF (AMONT)	LA BLIES à BLIESBRUCK	25698	LA SARRE à SARREINSMING	27218	LA MODER à SCHWEIGHOUSE-SUR-MODER [AVAL]	27653	LA NIED ALLEMANDE à FAULQUEMONT	37709
2100600	LA HORN à LIEDERSCHIEDT	LA MODER à SCHWEIGHOUSE-SUR-MODER [AVAL]	16638	LA BLIES à BLIESBRUCK	22107	LA LAUTER à WISSEMBOURG [WEILER]	24405	LA SAUER à BEINHEIM	29346
2100830	LE SCHWALBACH à LOUTZVILLER	LA MODER à SCHWEIGHOUSE-SUR-MODER [AVAL]	20549	LA BLIES à BLIESBRUCK	22622	LA SARRE à SARREINSMING	32451	LA LAUTER à WISSEMBOURG [WEILER]	32648
2103800	LA ROSSELLE à PETITE-ROSSELLE	LA NIED ALLEMANDE à FAULQUEMONT	12168	LA NIED ALLEMANDE à VARIZE	14554	LA NIED à BOUZONVILLE	20884	LA NIED FRANCAISE à CONDE-NORTHEN [PONTIGNY]	29344
2103850	LA BISTEN à CREUTZWALD	LA NIED ALLEMANDE à VARIZE	13787	LA NIED à BOUZONVILLE	15436	LA NIED ALLEMANDE à FAULQUEMONT	16217	LA NIED FRANCAISE à CONDE-NORTHEN [PONTIGNY]	25387
2106410	LA NIED à GUERSTLING	LA NIED à BOUZONVILLE	514	LA NIED ALLEMANDE à VARIZE	8793	LA NIED FRANCAISE à CONDE-NORTHEN [PONTIGNY]	10520	LA NIED ALLEMANDE à FAULQUEMONT	15461
2106430	LE REMEL à NEUNKIRCHEN-LES-BOUZONVILLE	LA CANNER à KOENIGSMACKER	15906	LA NIED à BOUZONVILLE	33566	LA NIED ALLEMANDE à VARIZE	36909	LA NIED ALLEMANDE à FAULQUEMONT	40794
2106500	LA MEUSE à BASSONCOURT	LA MEUSE à GONCOURT	8749	LA MEUSE à DOMREMY-LA-PUCELLE	20581	LE MOUZON à CIRCOURT-SUR-MOUZON [VILLARS]	23766	LA MEUSE à VAUCOULEURS [CHALAINES]	29800
2106600	LA MEUSE à GONCOURT	LA MEUSE à GONCOURT	0	LA MEUSE à DOMREMY-LA-PUCELLE	11991	LE MOUZON à CIRCOURT-SUR-MOUZON [VILLARS]	16345	LA MEUSE à VAUCOULEURS [CHALAINES]	21298
2106900	LE VAIR à SOULOSSE	LE VAIR à SOULOSSE-SOUS-SAINT-ÉLOPHE	0	LE VAIR à BELMONT-SUR-VAIR	10675	LA MEUSE à VAUCOULEURS [CHALAINES]	12992	LE MOUZON à CIRCOURT-SUR-MOUZON [VILLARS]	16015
2107900	LA MEHOLLE à VOID	LA MEUSE à STENAY	4768	L'AROFFE à VANNES-LE-CHATEL	27367	LA MEUSE à SAINT-MIHIEL	27698	L'ESCH à JEZAINVILLE	34399
2109000	LA MEUSE à SAINT-MIHIEL	LA MEUSE à SAINT-MIHIEL	0	LA MEUSE à VAUCOULEURS [CHALAINES]	13895	L'AROFFE à VANNES-LE-CHATEL	16257	LE VAIR à SOULOSSE-SOUS-SAINT-ÉLOPHE	16731
2112000	LA MEUSE à BRAS-SUR-MEUSE	LA MEUSE à STENAY	14861	LA MEUSE à SAINT-MIHIEL	17265	L'AROFFE à VANNES-LE-CHATEL	18357	LA MEUSE à VAUCOULEURS [CHALAINES]	31046
2113000	LA MEUSE à SASSEY-SUR-MEUSE	LA MEUSE à STENAY	5245	L'AROFFE à VANNES-LE-CHATEL	25598	LA MEUSE à SAINT-MIHIEL	26867	L'ESCH à JEZAINVILLE	33235
2115000	LA MEUSE à REMILLY	LA MEUSE à STENAY	5928	L'ESCH à JEZAINVILLE	29039	LE RUPT DE MAD à ONVILLE	29504	L'AROFFE à VANNES-LE-CHATEL	35575
2115625	LA MOULAINE à HAUCOURT-MOULAINE	LA CHIERS à MONTIGNY-SUR-CHIERS	7551	LA CRUSNES à PIERREPONT	9445	LA CHIERS à CHAUVENCY-LE-CHATEAU	17784	LA CHIERS à CARIGNAN	20751
2115650	LA CHIERS à CONS-LA-GRANDVILLE	LA CHIERS à MONTIGNY-SUR-CHIERS	1810	LE TON à ÉCOUVIEZ	16765	LA CRUSNES à PIERREPONT	16767	LA CHIERS à CHAUVENCY-LE-CHATEAU	18903
2115675	LA PIENNE à MERCY-LE-BAS	LA CRUSNES à PIERREPONT	6516	LA CHIERS à CHAUVENCY-LE-CHATEAU	18200	L'ORNE à ROSSELANGE	18289	L'ORNE à BONCOURT	20352
2115685	LE RUISSEAU DE NANHEUL à PIERREPONT	LA CRUSNES à PIERREPONT	5075	LA CHIERS à MONTIGNY-SUR-CHIERS	10750	LA CHIERS à CHAUVENCY-LE-CHATEAU	13498	LA CHIERS à CARIGNAN	16917
2115762	LE DORLON à CHARENCY-VEZIN	LA CHIERS à CARIGNAN	3031	LA CHIERS à CHAUVENCY-LE-CHATEAU	5855	LE TON à ÉCOUVIEZ	8940	LA CHIERS à MONTIGNY-SUR-CHIERS	17794
2115775	LE TON à ECOUVIEZ	LE TON à ÉCOUVIEZ	0	LA CHIERS à CARIGNAN	11925	LA CHIERS à CHAUVENCY-LE-CHATEAU	13698	LA CHIERS à MONTIGNY-SUR-CHIERS	15554
2115790	L'OTHAIN à HOUDELAUCOURT	L'ORNE à ROSSELANGE	11535	L'ORNE à BONCOURT	12819	LA CRUSNES à PIERREPONT	14168	LE RUISSEAU DE VAUX à MORGEMOULIN	19042
2115900	LE LOISON à HAN-LES-JUVIGNY	LE LOISON à HAN-LES-JUVIGNY	0	LA MEUSE à CHOOZ [TROU DU DIABLE]	12332	LE RUISSEAU DE VAUX à MORGEMOULIN	15628	LA CHIERS à CARIGNAN	16361
2115950	LA MARCHE à SAPOGNE-SUR-MARCHE	LA SEMOY à HAULME	17297	LE TON à ÉCOUVIEZ	18057	LA CHIERS à CARIGNAN	23175	LA CHIERS à CHAUVENCY-LE-CHATEAU	26739
2116000	LA CHIERS à CARIGNAN	LA CHIERS à CARIGNAN	2338	LA CHIERS à CHAUVENCY-LE-CHATEAU	6066	LE TON à ÉCOUVIEZ	11006	LE LOISON à HAN-LES-JUVIGNY	16697
2116600	LA GIVONNE à DAIGNY	LA SEMOY à HAULME	24526	LA BAR à CHEVEUGES	26393	LA VENCE à LA FRANCHEVILLE	28539	LA HOUILLE à LANDRICHAMPS	28590
2117575	LA BAR à SAUVILLE	LA BAR à CHEVEUGES	3286	LA VENCE à LA FRANCHEVILLE	23616	LA SORMONNE à BELVAL	40606	LA MEUSE à CHOOZ [TROU DU DIABLE]	41832
2118000	LA MEUSE à LUMES	LE RUISSEAU DE VAUX à MORGEMOULIN	19639	L'ORNE à BONCOURT	19997	L'ORNE à ROSSELANGE	26490	LE RUPT DE MAD à ONVILLE	27419
2118300	LA SORMONNE à GIRONDELLE	LA SORMONNE à BELVAL	11647	LA VENCE à LA FRANCHEVILLE	28708	LA HOUILLE à LANDRICHAMPS	37442	LA BAR à CHEVEUGES	49717
2120000	LA SEMOIS à HAULME	LA SEMOY à HAULME	0	LE TON à ÉCOUVIEZ	31030	LA HOUILLE à LANDRICHAMPS	39301	LA CHIERS à CARIGNAN	39398
2122200	L'ALYSE à FUMAY	LA HOUILLE à LANDRICHAMPS	18147	LA SORMONNE à BELVAL	22754	LA VENCE à LA FRANCHEVILLE	35249	LA BAR à CHEVEUGES	51951
2122800	LE VIROUIN à VIREUX-MOLHAIN	LA SORMONNE à BELVAL	26810	LA HOUILLE à LANDRICHAMPS	29326	LA VENCE à LA FRANCHEVILLE	42628	LA BAR à CHEVEUGES	61563
2123500	LA HOUILLE à FROMELENNES	LA HOUILLE à LANDRICHAMPS	1141	LA SORMONNE à BELVAL	36021	LA SEMOY à HAULME	40048	LA VENCE à LA FRANCHEVILLE	42129
2124000	LA MEUSE à GIVET	LA MEUSE à CHOOZ [TROU DU DIABLE]	3724	LE LOISON à HAN-LES-JUVIGNY	10641	LE RUISSEAU DE VAUX à MORGEMOULIN	18246	LA CHIERS à CARIGNAN	25962

Annexe G : Extension du voisinage hydrologique en incorporant des stations hydrométriques hors-échantillon de référence

Numéro national	Nom	Surface théorique (MNT)	Code hydro du 1er voisin	Nom	Surface théorique (MNT)	Distance entre centroïdes	Influence du régime	Signification hydrologique	Finalité	Date de début	Date de fin	Pourcentage de complétude sur la période 1990-2009
2001000	L'AUGRABEN à BARTENHEIM	92.8	A0230200	L'AUGRABEN à BARTENHEIM [LA CHAUSSEE]	92.8	0	fortement	FALSE	HG	12/01/1993	13/10/1997	24
2003350	LA LARGUE à SEPPOIS-LE-BAS	66.9	A1122020	LA LARGUE à FRIESEN	99.1	1876.93	pas ou faiblement	TRUE	HG	01/01/1971	31/12/2009	65
2013000	L'ILL à OBERHERGHEIM	1340.1	A1320310	L'ILL à OBERHERGHEIM	1340.1	0	fortement en étiage	TRUE	HG	01/01/1971	12/10/2000	53
2016050	LA LAUCH à BUHL (AVAL)	64.7	A1512010	LA LAUCH à BUHL	64.7	0	pas ou faiblement	TRUE	HG	01/01/1971	10/01/1978	0
2018000	LA LAUCH à HERRLISHEIM-PRES-COLMAR	299.9	A1552020	LA LAUCH à EGUISHEIM	316.9	675.48	pas ou faiblement	TRUE	HG	30/03/1971	04/05/1992	12
2018780	LA PETITE FECHT à STOSSWIHR (B)	15.6	A2023020	LA PETITE FECHT à STOSSWIHR [GROSSMATT]	16.2	73.71	pas ou faiblement	TRUE	HG	01/01/1971	24/09/1975	0
2021000	LA FECHT à GUEMAR	524.5	A2062010	LA FECHT à GUEMAR	524.5	0	pas ou faiblement	TRUE	HG	01/01/1971	31/12/1973	0
2025500	L'ILL à HUTTENHEIM	3201.9	A2230310	L'ILL à KOGENHEIM	3198.7	180.96	fortement	TRUE		10/09/2006	31/12/2009	17
2028300	LA SCHERNETZ à EPFIG	25.0	A2532010	L'ANDLAU à SCHAEFFERSHEIM	144.7	6482.33	pas ou faiblement	TRUE	HG	01/01/1973	02/01/1989	0
2032000	LA BRUCHE à GRESSWILLER	433.3	A2762090	LA BRUCHE [TOTALE] à MUTZIG	435.1	71.25	pas ou faiblement	TRUE	HG	19/11/1981	15/08/2000	53
2037400	LA SOUFFEL à MUNDOLSHEIM (AMONT)	72.6	A2932010	LA SOUFFEL à MUNDOLSHEIM	119.0	1777.7	pas ou faiblement	TRUE	HG	13/05/1975	31/12/2000	55
2038000	L'ILL à LA WANTZENAU	4663.4	A2280350	L'ILL à STRASBOURG [CHASSEUR FROID, LA ROBERTSAU]	4507.5	2559.73	fortement	TRUE	HG	01/01/1974	31/12/2009	98
2045000	LA MODER à DRUSENHEIM	1546.1	A3501010	LA MODER à DRUSENHEIM	1546.1	0	pas ou faiblement	TRUE	HG	31/05/2002	31/12/2009	38
2045050	LA MODER à AUENHEIM	1705.3	A3501010	LA MODER à DRUSENHEIM	1546.1	2368.18	pas ou faiblement	TRUE	HG	31/05/2002	31/12/2009	38
2045150	LA SAUER à LEMBACH	94.3	A3712010	LA SAUER à GOERSDORF [LIEBFRAUENTHAL]	192.8	5011.67	pas ou faiblement	TRUE	HG	01/01/1971	09/01/2001	55
2056200	LA MOSELLE à TONNOY	1991.2	A5110608	LA MOSELLE à VELLE-SUR-MOSELLE	1987.2	138.3	pas ou faiblement	TRUE	HG et AC	01/01/1970	01/01/1970	0
2057600	LE BRENON à AUTREY	148.9	A5422010	LE BRENON à AUTREY	149.2	128.42	pas ou faiblement	TRUE	HG	01/01/1971	12/06/2007	86
2064770	LE RABODEAU à MOYENMOUTIER (AMONT)	112.7	A6142010	LE RABODEAU à MOYENMOUTIER	151.6	1939.1	pas ou faiblement	TRUE	HG	01/01/1971	31/12/1984	0
2067150	LA MEURTHE à SAINT-CLEMENT	1041.6	A6341010	LA MEURTHE à LUNEVILLE	1103.8	2006.4	fortement	TRUE	HG et AC	18/12/1982	31/12/2009	87
2067800	LA VEZOUZE à THIEBAUMENIL	471.3	A6541110	LA VEZOUZE à THIEBAUMENIL	471.3	0	pas ou faiblement	TRUE	HG et AC	20/01/1992	31/12/2009	85
2068800	LA MORTAGNE à SAINT-MAURICE-SUR-MORTAGNE	341.2	A6701210	LA MORTAGNE à ROVILLE-AUX-CHENES	296.3	1718.19	pas ou faiblement	TRUE	HG et AC	17/02/1992	31/12/2009	85
2070750	LE SANON à HENAMENIL	175.3	A6543010	LE RUISSEAU DES AMIS à MARAINVILLER	37.9	6712.31	pas ou faiblement	TRUE	HG	01/01/1984	23/08/2006	82
2081000	LA SEILLE à MULCEY	200.8	A7581020	LA SEILLE à MOYENVIC	354.4	4756.54	pas ou faiblement	TRUE	HG	01/01/1971	31/12/2009	99
2085325	L'ORNE à GUSSAINVILLE	256.6	A8021010	L'ORNE à ÉTAIN	135.8	3752.21		TRUE	AC	01/11/1997	31/12/2009	47
2094700	LE RUISSEAU D'OUDRENNE à KOENIGSMACKER	20.8	A8853010	LE RUISSEAU DE MONTENACH à SIERCK-LES-BAINS	48.8	6227.13	pas ou faiblement	TRUE	HG	01/01/1971	31/12/1984	0
2094800	LE RUISSEAU D'ALTBACH à BEYREN-LES-SIERCK	71.6	A8823010	LA BOLER à GAVISSE	94.8	5911.58		TRUE		22/01/1977	08/11/1983	0
2094920	LE RUISSEAU D'APACH à APACH	24.3	A8883010	LE RUISSEAU DE MANDEREN à MANDEREN	9.1	1773.48	pas ou faiblement	TRUE	HG	01/01/1971	11/02/1982	0
2094930	LE RUISSEAU DES QUATRE MOULINS à VOLMERANGE	24.3	A8603030	LE VEYMERANGE à TERVILLE	24.7	7705.92		TRUE		01/01/1985	21/03/1987	0
2094950	L'ALZETTE à AUDUN-LE-TICHE	21.5	A8902010	L'ALZETTE à AUDUN-LE-TICHE	22.0	66.75	fortement en étiage	TRUE	HG	01/01/1973	31/12/2006	84
2095600	LA SARRE à SARRALTROFF	418.4	A9021010	LA SARRE à SARREBOURG	310.0	2483.91	pas ou faiblement	TRUE	HG et AC	26/12/1995	31/12/2009	70
2100150	LA SARRE à GROSBLIEDERSTROFF (AMONT)	3749.9	A9251050	LA SARRE à SARREGUEMINES [WELFERDING]	3742.4	45.19	pas ou faiblement	TRUE	HG	01/10/1975	04/09/1996	7
2100600	LA HORN à LIEDERSCHIEDT	94.7	A9402110	L'HORN à BOUSSEVILLER	94.7	0	pas ou faiblement	TRUE	HG	01/01/1971	31/12/2009	100
2100830	LE SCHWALBACH à LOUTZVILLER	94.0	A9402110	L'HORN à BOUSSEVILLER	94.7	8453.94	pas ou faiblement	TRUE	HG	01/01/1971	31/12/2009	100
2103800	LA ROSSELLE à PETITE-ROSSELLE	197.7	A9532010	LA ROSSELLE à FORBACH [PETITE-ROSSELLE]	183.7	578.88	pas ou faiblement	TRUE	HG	01/01/1971	19/04/2009	81
2103850	LA BISTEN à CREUTZWALD	63.0	A9612010	LA BISTEN à CREUTZWALD	62.9	79.89	pas ou faiblement	TRUE	HG	01/01/1980	31/12/2009	94
2106410	LA NIED à GUERSTLING	1172.0	A9942020	LA NIED à FILSTROFF	1161.5	64.77	fortement en étiage	TRUE	HG et AC	29/05/2002	31/12/2009	38
2106430	LE REMEL à NEUNKIRCHEN-LES-BOUZONVILLE	104.5	A8883010	LE RUISSEAU DE MANDEREN à MANDEREN	9.1	7278.38	pas ou faiblement	TRUE	HG	01/01/1971	11/02/1982	0
2112000	LA MEUSE à BRAS-SUR-MEUSE	3309.3	B2360010	LA MEUSE à VERDUN [PONT CHAUSSEE]	3208.3	2511.09	fortement	TRUE	AC	02/09/1993	31/12/2009	72
2115625	LA MOULAINE à HAUCOURT-MOULAINE	29.4	A8902010	L'ALZETTE à AUDUN-LE-TICHE	22.0	6110.13	fortement en étiage	TRUE	HG	01/01/1973	31/12/2006	84
2115650	LA CHIERS à CONS-LA-GRANDVILLE	243.4	B4021010	LA CHIERS à LONGWY	212.4	1108.1	pas ou faiblement	TRUE	AC	26/07/1993	31/12/2009	77
2115762	LE DORLON à CHARENCY-VEZIN	24.4	B4660101	LA CHIERS à BREVILLY [CHIERS]	2129.2	2700.05	fortement en étiage	TRUE		01/01/2008	31/12/2009	10
2115790	L'OTHAIN à HOUDELAUCOURT	72.9	B4310200	L'OTHAIN à SPINCOURT [HOUDELAUCOURT]	83.2	573.71	fortement en étiage	TRUE		12/03/2002	31/12/2009	31
2115950	LA MARCHE à SAPOGNE-SUR-MARCHE	96.4	B4253010	LA THONNE à THONNE-LES-PRES	54.0	7963.84	pas ou faiblement	TRUE	HG	01/10/1973	31/12/1991	10
2116000	LA CHIERS à CARIGNAN	2112.2	B4660101	LA CHIERS à BREVILLY [CHIERS]	2129.2	502.69	fortement en étiage	TRUE		01/01/2008	31/12/2009	10
2116600	LA GIVONNE à DAIGNY	45.4	B5043010	LA VRIGNE à VRIGNE-AUX-BOIS	31.3	11806.28	pas ou faiblement	TRUE	HG	10/03/1978	17/05/1988	0
2118000	LA MEUSE à LUMES	7140.2	B5400010	LA MEUSE à CHARLEVILLE-MEZIERES	7291.7	3753.74	fortement	TRUE		29/09/1993	31/12/2009	68