



HAL
open science

Quel référentiel pluviométrique pour débiaiser les sorties de modèles climatiques? Apport de l'information hydrologique pour spatialiser les précipitations journalières à échelle fine

G. Drogue, Didier François

► To cite this version:

G. Drogue, Didier François. Quel référentiel pluviométrique pour débiaiser les sorties de modèles climatiques? Apport de l'information hydrologique pour spatialiser les précipitations journalières à échelle fine. 27ème Colloque de l'Association Internationale de Climatologie: Climat: système & interactions, Jul 2014, Dijon, France. pp.119-124. hal-01714592

HAL Id: hal-01714592

<https://hal.univ-lorraine.fr/hal-01714592>

Submitted on 24 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.

QUEL RÉFÉRENTIEL PLUVIOMÉTRIQUE POUR DÉBIAISER LES SORTIES DE MODÈLES CLIMATIQUES ? APPORT DE L'INFORMATION HYDROLOGIQUE POUR SPATIALISER LES PRÉCIPITATIONS JOURNALIÈRES À ÉCHELLE FINE

DROGUE G., FRANÇOIS D.

Laboratoire LOTERR, UFR Sciences Humaines et Sociales-Metz, Université de Lorraine, Île du Saulcy CS 60228 57045 Metz cedex 01, France [gilles.drogue@univ-lorraine.fr ; didier.francois@univ-lorraine.fr]

Résumé – Compte tenu de l'incertitude épistémique qui limite les performances des modèles de climat, les modélisateurs ont besoin de recourir à un référentiel climatique destiné à corriger, à l'échelle d'intérêt, les erreurs de leur modèle. L'objet de cet article est de contribuer à un tel référentiel à travers une nouvelle méthode de spatialisation des précipitations journalières corrigées de l'effet du relief et optimisant l'estimation de la pluie de bassin par inversion du cycle hydrologique. La comparaison de ce nouveau référentiel pluviométrique avec le référentiel national SAFRAN montre que la connaissance de l'écoulement d'un bassin versant a une grande valeur informative pour la spatialisation des précipitations et permet de produire une estimation plus réaliste de la pluviométrie journalière à échelle fine, notamment en zone de relief.

Mots-clés : régionalisation, précipitations orographiques, inversion du cycle hydrologique, bassin Rhin-Meuse.

Abstract – Which precipitation data set as a benchmark for bias correction of climate model outputs? Contribution of streamflow measurements to fine-scale estimation of daily precipitation data. Due to the epistemic uncertainty of their models, climate modellers need a benchmark for bias correction. This article aims at presenting a new gridded method for estimating daily precipitation time series. This method accounts for the orographic effect on precipitation and use streamflow measurements for optimizing the catchment-scale precipitation assessment. The comparison between the new precipitation data set and the SAFRAN reanalysis shows that a series of flow records is very useful for precipitation knowledge and allow to produce a more realistic fine-scale daily precipitation estimation especially in mountainous regions.

Keywords: regionalization, orographic precipitation, hydrology backward, Rhine-Meuse basin.

Introduction

Les modèles de climat (MCG-OA¹ et MCR²) sont des copies mentales de la réalité. Ils ne représentent qu'imparfaitement le fonctionnement réel du système climatique. L'une des conséquences de cette incertitude épistémique réside dans l'existence de biais systématiques entre la simulation brute du modèle et l'observation. Ce biais systématique est susceptible de s'amplifier lorsque les conditions climatiques ne sont pas stationnaires (Teutschbein et Seibert, 2013). La stratégie méthodologique des climatologues et des impacteurs du changement climatique pour remédier à cette « pathologie du biais » repose sur trois axes complémentaires : i) rechercher et privilégier les variables pronostiques faiblement biaisées dans les méthodes de descente d'échelle (approche palliative); ii) améliorer la physique des modèles de climat (approche préventive) ; iii) développer des méthodes de débiaisage corrigeant les sorties de modèles climatiques (approche curative). La détection d'un biais systématique dans une simulation de modèle climatique repose généralement sur la comparaison à même résolution spatiale, entre une climatologie simulée et une climatologie observée, supposée non biaisée (e.g. Déqué, 2007). Cette climatologie peut résulter d'une reconstitution en point de grille (*i.e.* la dispersion spatiale est régulière) ou être simplement stationnelle. Dans tous les cas, la problématique de filtrage des erreurs requiert un travail de *benchmarking* destiné à identifier, pour le domaine d'impact et la région d'étude visés, la ou les climatologies éligibles dans les conditions climatiques actuelles (Sunyer *et al.*, 2013).

¹ Modèle de Circulation Générale couplé Océan-Atmosphère.

² Modèles de Climat Régionaux.

1. Quelle pluie de référence pour le post-traitement des sorties brutes de modèles de climat ?

1.1. Les climatologies en point de grille

Dans notre région d'étude (partie française du bassin Rhin-Meuse), l'impacteur-hydrologue dispose de plusieurs climatologies en point de grille multiparamètres permettant de caractériser la pluviosité actuelle (fichiers E-OBS, réanalyses SAFRAN, fichiers CRU). La climatologie en points de grille SAFRAN a été validée à l'échelle de la France métropolitaine (Quintana-Seguí *et al.*, 2008). Bien qu'imparfaite, elle sert aujourd'hui de référentiel climatique national pour des études liées au changement climatique (e.g. Pagé *et al.*, 2008) ou à la régionalisation en hydrologie (e.g. Oudin *et al.*, 2010).

1.2. Limites de la climatologie SAFRAN

L'évaluation de la climatologie SAFRAN (grille de résolution 8 km) montre qu'à une échelle plus fine que celle des zones Symposium (zones climatologiquement homogènes à des tranches d'altitude espacées de 300 m), celle-ci est affectée par des erreurs de pluviométrie systématiques se traduisant par un biais humide sur les Vosges du Nord (*i.e.* une sur-estimation des précipitations observées) et un biais sec (*i.e.* une sous-estimation des précipitations observées) sur les Vosges méridionales (Plasse *et al.*, 2014). La climatologie SAFRAN ne convient donc pas aux besoins de l'hydrologie de surface sur des bassins de taille modeste et peine à restituer correctement la variabilité spatiale des précipitations orographiques. Ce diagnostic vaut également pour d'autres climatologies en point de grille disponibles dans le secteur d'étude (e.g. la climatologie E-OBS de résolution 0.25°). Par conséquent, notre contribution vise à développer une nouvelle méthode de spatialisation des précipitations journalières à échelle fine, simple dans sa mise en œuvre et capable de fournir une quantification fiable et robuste des précipitations ponctuelles et de la pluie de bassin.

2. Régionalisation des précipitations journalières : apport de l'information hydrologique

2.1. Les insuffisances de l'approche topo-pluviométrique dans le Nord-Est français

Les recherches sur la spatialisation des précipitations journalières dans le Nord-Est français ont été menées jusqu'ici en appréhendant exclusivement le problème *par le haut*. Ainsi, Siefert (1999) a développé une méthodologie fondée sur des structures topo-pluviométriques moyennes journalières spatialisées par type de temps (ébauches). L'approche des ébauches par type de temps proposée par Siefert (1999) présente trois inconvénients majeurs : i) elle repose sur l'hypothèse d'invariance temporelle des ébauches par type de temps et donc du rapport homothétique local ; ii) elle exploite une classification subjective des types de temps qui repose sur une démarche d'expert et n'est donc pas automatisable ; iii) son domaine d'application se limite aux Hautes-Vosges et à leur piémont oriental. La méthode de spatialisation des précipitations journalières à échelle fine (grille de résolution 1 km) que nous proposons est destinée à pallier les inconvénients de l'approche topo-pluviométrique précitée et à neutraliser les biais pluviométriques présents dans les réanalyses SAFRAN (cf. paragraphe 1.2). L'objectif est de disposer d'un référentiel pluviométrique à échelle fine (typiquement < 10 km²), utilisable pour les études d'impact hydrologique du changement climatique et la prévision/régionalisation des écoulements de rivière dans le Nord-Est français.

2.2. Protocole de spatialisation

2.2.1. Définition de la fonction d'estimation locale

L'originalité de la méthode proposée réside dans l'estimation des précipitations au point de grille par « inversion » du cycle hydrologique. Dans les secteurs montagneux pauvres en postes de mesure pluviométriques, la quantification des autres composantes du cycle de l'eau et singulièrement celle de l'écoulement à l'exutoire d'un bassin peut s'avérer très informative pour estimer avec fiabilité et robustesse les précipitations ponctuelles et spatiales (Valéry, 2010). La méthode de spatialisation consiste à appliquer une fonction d'estimation locale sur une grille régulière à maille fine (1 km). Elle prend la forme mathématique suivante :

$$\widehat{P}_x(j) = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_{x,i}^\delta}} \sum_{i=1}^n \frac{1}{d_{x,i}^\delta} P_i \alpha e^{[\beta(Z_x - Z_{xi})]} \quad (1)$$

avec $\widehat{P}_x(j)$ la valeur de précipitations journalière estimée au point-cible x ; $d_{x,i}^\delta$ la distance euclidienne entre le point-cible x et le pluviomètre i élevée à l'exposant δ ; P_i la valeur de précipitations mesurée par le pluviomètre i ; n le nombre de pluviomètres, α et β deux paramètres libres à optimiser ; \bar{Z} l'altitude lissée directionnelle déterminée au point-cible x et au pluviomètre i de position xi . Cette fonction d'estimation locale repose sur deux principes simples et satisfaisants pour l'esprit : i) plus un point-cible est proche d'un poste pluviométrique et plus le poids affecté à ce dernier sera important dans l'estimation des précipitations au point-cible ; ii) les précipitations au poste sont corrigées de l'effet du relief (paramètre β) et du déficit de captation (paramètre α) appliqué aux jours de gel, ce qui permet de minorer ou de majorer celles-ci au point-cible et de régler l'intensité du gradient d'altitude lissée. La formule (1) est inspirée des travaux pionniers de Valéry (2010). Elle a été adaptée aux caractéristiques topo-pluviométriques du Nord-Est français en remplaçant l'altitude par une altitude lissée directionnelle (Drogue *et al.*, 2002). La correction des précipitations observées par une fonction d'allure exponentielle est justifiée au paragraphe 4.1. La pluie de bassin est obtenue par une moyenne spatiale des k valeurs de $\widehat{P}_x(j)$, k représentant le nombre de points de grille inclus dans les limites du bassin versant.

2.2.2. Optimisation hydrologique de la fonction d'estimation locale

Pour une valeur δ donnée (δ pouvant varier entre 1 et 3 par exemple), les paramètres α et β sont calés par essai-erreur. La fonction-objectif à minimiser est une moyenne absolue des erreurs relatives appliquée aux modules de débits interannuels des n bassins disponibles soit :

$$MAER = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{Q_{obs(i)} - Q_{sim(i)}}{Q_{obs(i)}} \right| \quad (2)$$

où $Q_{obs(i)}$ et $Q_{sim(i)}$ désignent respectivement les modules de débit interannuels observé (mm/an) et simulé (mm/an) afférents au bassin i , n le nombre de bassins-versants. $Q_{sim(i)}$ est déterminé selon trois modèles de bilan hydrologiques :

$$\text{Budyko (1974)} : Q_{sim(i)} = P \left\{ 1 - \sqrt{\frac{ETP}{P} \left(1 - \exp\left(\frac{ETP}{P}\right) \right) \tanh\left(\frac{P}{ETP}\right)} \right\} \quad (3)$$

$$\text{Ol'dekop (1911)} : Q_{sim(i)} = P \left\{ 1 - \frac{ETP}{P} \tanh\left(\frac{P}{ETP}\right) \right\} \quad (4)$$

$$\text{Turc (1954) reformulé par Lemoine et al. (2007)} : Q_{sim(i)} = P \left\{ 1 - \frac{1}{\left\{ 1 + \left(\frac{P}{0,9 ETP} \right)^{2,5} \right\}^{1/2,5}} \right\} \quad (5)$$

Ces trois modèles de bilan hydrologique estiment le module de débit interannuel à l'aide de la pluie de bassin interannuelle (P) calculée en intégrant l'équation (1) et de l' ETP de bassin interannuelle à base thermique de Oudin (Oudin *et al.*, 2005) calculée à partir d'une spatialisation des températures mensuelles prenant en compte un gradient altitudinal. Les paramètres libres de la fonction d'estimation locale des précipitations [(équation (1))] sont donc optimisés conditionnellement à l'écoulement des bassins [équation (2)].

3. Présentation de la zone d'étude et du patrimoine de données

La zone d'étude correspond à la partie française du bassin hydrographique Rhin-Meuse qui couvre approximativement 30 000 km². Elle comprend les reliefs de côte de Lorraine, le Massif Vosgien ou encore la plaine d'Alsace (Fig. 1). Les modules de débit interannuels de cinquante-sept bassins versants (24 à 10 500 km²) à l'écoulement jugé *naturel* et dénués de problème d'hydrométrie ont été extraits de la Banque Hydro (DREAL) sur la période 1990-2002 (Fig. 1). Sur cette même période, les hauteurs de précipitations journalières afférentes à soixante-cinq pluviomètres ont été extraites de la publitèque de Météo France. La période 1990-2002 fait donc office de période d'apprentissage destinée à caler la fonction d'estimation locale. Grâce au patrimoine de données précité, 4745 grilles de précipitations journalières ont été produites à une résolution spatiale de 1 km (Fig. 1).



Figure 1 : Réseau pluviométrique, carroyage (mailles de 1 x 1 km) et limites de bassins versants dans l'espace rhéno-mosan

4. Résultats et discussion

4.1. Relation statistique entre précipitations moyennes journalières et topographie

De nombreux prédicteurs topographiques déterminés à partir d'un MNT de pas hectométrique ont été testés. Le prédicteur optimal est le MSE8 (altitude moyenne d'une fenêtre de 8 km de côté excentrée vers le Sud-Est). Ce prédicteur explique à lui seul environ 74 % de la variance des précipitations moyennes journalières (Fig. 2).

La forme de la relation entre précipitations moyennes journalières et altitude lissée est de type exponentiel (Fig. 2). Elle traduit l'élévation graduellement variée des hauteurs de précipitations journalières en fonction de l'altitude lissée d'un volume montagneux d'une certaine taille, favorisant le soulèvement des masses d'air dirigées par un flux synoptique de WNW.

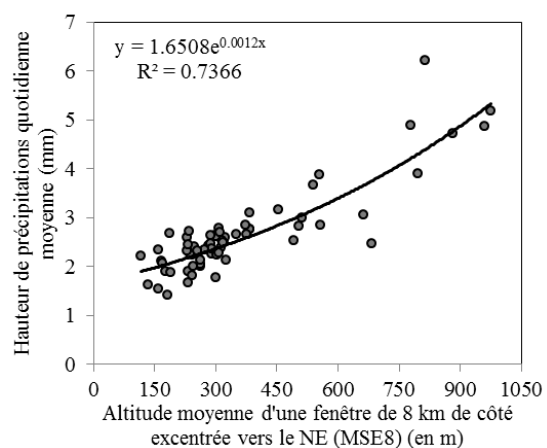


Figure 2 : Relation entre la hauteur de précipitations quotidienne moyenne et la valeur du prédicteur MSE8 (en m) dans le Sud-Est français (période 1990-2002, soixante-cinq postes pluviométriques)

4.2. Étude de sensibilité de la métrique MAER et optimisation de la fonction d'estimation locale

Dans le cas du modèle de bilan hydrologique de Ol'dekop, le minimum de la fonction-objectif est atteint pour une valeur de $0,0017 \text{ m}^{-1}$ du paramètre β (gradient topographique) et de 2.1 pour le paramètre de puissance δ (Fig. 3). La métrique MAER est très peu sensible aux variations du paramètre de déficit de captation α , en conséquence fixé à 1. La valeur optimale du paramètre β est légèrement supérieure à celle donnée sur la figure 2. La sensibilité de la métrique MAER dépend surtout de ce paramètre, plus facilement identifiable que le paramètre δ . A l'optimum, la fonction-objectif vaut 0.122. Cette valeur augmente légèrement pour les deux autres modèles de bilan hydrologique.

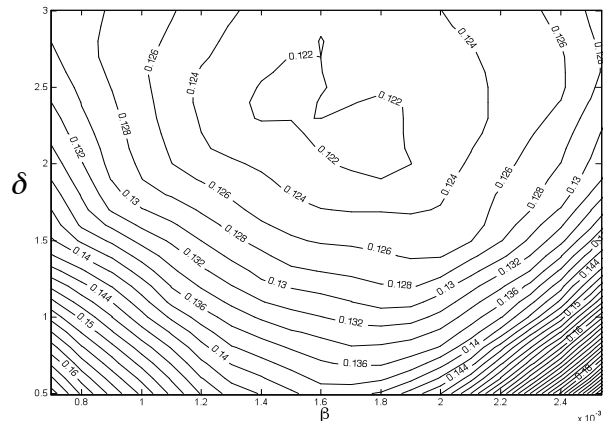


Figure 3 : Surface de réponse de la métrique MAER (Moyenne Absolue des Erreurs Relatives) aux variations des paramètres β et δ [voir équation (1)]. Le voisinage du point-cible se définit par un cercle d'un rayon de 50 km ; modèle de bilan hydrologique de Ol'dekop

4.3. Comparaison des pluies de bassin et des bilans hydrologiques

Les différences de cumuls pluviométriques moyens entre les réanalyses SAFRAN et la méthode de spatialisation par optimisation hydrologique présentent une certaine dispersion (Fig. 4). L'analyse SAFRAN *escamote* le pôle pluviométrique des Hautes-Vosges (-500 mm/an en moyenne) et produit trop de précipitations sur les Vosges du Nord (+250 mm/an en moyenne). Le calcul des lames d'eau écoulées montre qu'avec l'analyse SAFRAN, pour certains bassins, l'écoulement simulé ne reproduit que très imparfaitement l'écoulement observé (Fig. 5). La racine carrée du carré moyen des erreurs entre écoulements observés et écoulements simulés s'élève à 83 mm/an pour l'approche par optimisation hydrologique, 114 mm pour la méthode de la distance pondérée (non prise en compte de la topographie) et 156 mm pour l'analyse SAFRAN. La conclusion tendancielle est similaire pour les deux autres modèles de bilan hydrologique.

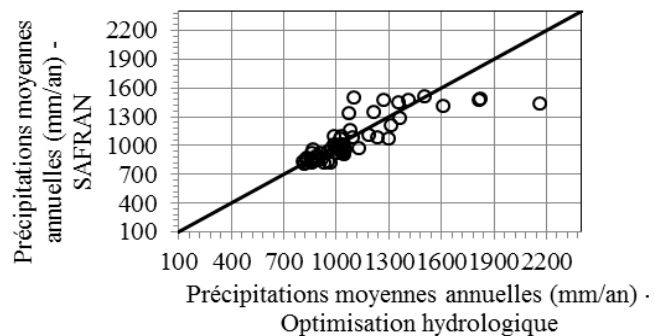


Figure 4 : Relation entre les pluviométries de bassin moyennes interannuelles produites par optimisation hydrologique (période d'apprentissage) et par l'analyse SAFRAN. Modèle de bilan hydrologique de Ol'dekop

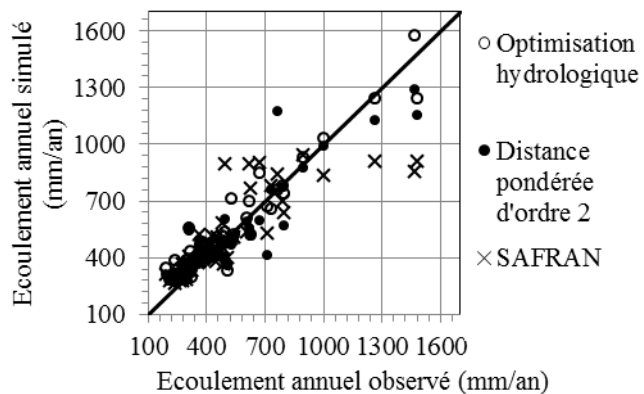


Figure 5 : Modules de débit interannuels observés et calculés à partir de trois méthodes d'estimation locale de la pluviométrie journalière (modèle de bilan hydrologique de Ol'dekop)

Conclusion

La prise en compte de l'information hydrologique fournie par un échantillon régional de bassins versants a permis de produire un nouveau référentiel pluviométrique à échelle fine cohérent avec le bilan hydrologique long-terme des bassins versants et sensiblement moins biaisé que l'analyse SAFRAN. Ce nouveau référentiel est donc utile pour corriger les sorties de modèles de climat à haute résolution spatiale. La technique de spatialisation mise en œuvre permet de détecter les postes pluviométriques fournissant une information peu pertinente pour déterminer une pluie de bassin fiable. Elle offre la possibilité d'établir le réseau pluviométrique optimal pour un usage hydrologique des hauteurs de précipitations quotidiennes. Le test de la méthode de spatialisation s'est limité pour l'instant à la période d'apprentissage (1990-2002). La période 2003-2013 permettra d'évaluer sa robustesse.

Références bibliographiques

- Budyko M.I., 1974: *Climate and Life*. Academic Press, New York, USA, 508 p.
- Déqué M., 2007: Frequency of precipitation and temperature extremes over France in an anthropogenic scenario: Model results and statistical correction according to observed values. *Global and Planetary Change*, **57**, 16-26.
- Drogue G., Humbert J., Deraisme J., Mahr N., Freslon N., 2002: A statistical-topographic model using an omnidirectional parameterization of the relief for mapping orographic rainfall. *International Journal of Climatology*, **22**, 599-613.
- Le Moine N., Andréassian V., Perrin C., Michel C., 2007: How can rainfall-runoff models handle intercatchment groundwater flows ? Theoretical study over 1040 French catchments. *Water Resour. Res.* **43**, W06428, doi:10.1029/2006WR005608.
- Ol'Dekop E.M., 1911: On evaporation from the surface of river basins. *Trans. Met. Obs. Iur-evskogo*, University of Tartu, Tartu, Estonia.
- Oudin L., Hervieu F., Michel C., Perrin C., Andréassian V., Anctil F., Loumagne C., 2005: Which potential evapotranspiration input for a lumped rainfall-runoff model? Part 2 - Towards a simple and efficient potential evapotranspiration model for rainfall-runoff modelling. *J. of Hydrology*, **303**, 290-306.
- Oudin L., Kay A., Andréassian V., Perrin C., 2010: Are seemingly physically similar catchments truly hydrologically similar? *Water Resources Research*, **46**, W11558.
- Pagé C., Terray L., Boé J., 2008 : *Projections climatiques à échelle fine sur la France pour le 21^e siècle: les scénarii SCRATCH08*. Technical Report TR/CMGC/08/64, CERFACS, 23 p.
- Plasse J., Drogue G., François D., Battaglia P., Conan C., 2014 : Apport des jaugeages ponctuels à la reconstitution des chroniques de débits moyens journaliers par simulation pluie-débit : l'exemple du bassin Rhin-Meuse. *La Houille Blanche*, **1**, 1-7.
- Quintana-Segui P., Le Moigne P., Durand Y., Martin E., Habets F., Baillon M., Canellas C., Franchistéguy L., Morel S., 2008: Analysis of near-surface atmospheric variables: validation of the SAFRAN analysis over France. *J. of Applied Meteorology and Climatology*, **47**, 92-107.
- Siefert N., 1999 : *Étude méthodologique de cartographie automatique des écoulements fluviaux. Application aux bassins de la Fecht et du Giessen*. Thèse de doctorat, Université Louis Pasteur, Strasbourg, 355 p.
- Sunyer M.A., Sørup H.J.D., Christensen O.B., Madsen H., Rosbjerg D., Mikkelsen P.S., Arnbjerg-Nielsen K., 2013: On the importance of observational data properties when assessing regional climate model performance of extreme precipitation. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, **17**, 4 323-4 337.
- Teutschbein C., Seibert J., 2013: Is bias correction of regional climate model (RCM) simulations possible for non-stationary conditions? *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, **17**, 5 061-5 077.
- Turc L., 1954 : Le bilan d'eau des sols : relation entre les précipitations, l'évapotranspiration et l'écoulement. *Annales agronomiques*, **5**, 491-595.
- Valéry A., 2010 : *Modélisation précipitations – débit sous influence nivale. Élaboration d'un module neige et évaluation sur 380 bassins versants*. Thèse de doctorat, Cemagref (Antony), AgroParisTech (Paris), 405 p.