

**Soutenance de thèse : J. Chardon**

**Jeudi 11 décembre 2014 à 14h00**

**[Amphithéâtre Craya,](#)  
[ENSE3 - site Bergès,](#)  
[1025 rue de la piscine,](#)  
[38400 Saint-Martin d'Hères](#)**



**Intérêts de la méthode des analogues pour la génération de scénarios de précipitations à l'échelle de la France métropolitaine. Cohérence spatiale et adaptabilité du lien d'échelle.**

**Vidéos post-soutenance (chaîne LTHE sur YouTube) : [1](#) – [2](#) – [3](#) – [4](#) – [5](#)**

Les scénarios hydrologiques nécessaires aux prévisions hydro-météorologiques ou aux études d'impact du changement climatique sont classiquement obtenus par simulation hydrologique sur la base de scénarios météorologiques. Entre autres contraintes, les scénarios météorologiques utilisés à cet effet doivent être non biaisés et adaptés aux échelles d'espace et de temps des hydrosystèmes considérés. Ils sont par suite souvent requis à haute résolution spatiale et temporelle. Les scénarios météorologiques obtenus directement en sortie des modèles climatiques ou de prévision numérique du temps sont de ce fait généralement inappropriés. Il devient alors nécessaire d'adapter les sorties de ces modèles à l'aide de Méthodes de Descente d'Echelle Statistique (MDES). Ces méthodes font l'hypothèse que les variables météorologiques de surface sont fortement influencées par l'état de l'atmosphère à grande échelle, pour lequel les variables atmosphériques sont mieux simulées par les modèles.

Depuis les années 2000, les MDES ont beaucoup été utilisées pour la génération de scénarios météorologiques en un site unique (représentant une station météorologique ou une région couvrant quelques centaines à milliers de kilomètres carrés). Dans ce cas, le développement de la MDES requise, qu'elle soit de type analogique, fonction de transfert ou conditionnée au type de temps, est assez aisé. En revanche, la génération de scénarios couvrant plusieurs sites d'une région ou d'un hydrosystème de grande taille donné est une tâche plus difficile, en particulier lorsque l'on souhaite respecter la cohérence spatiale des précipitations à prédire. Or, respecter cette cohérence spatiale est nécessaire si l'on veut assurer que les scénarios hydrologiques obtenus ensuite par simulation soient pertinents.

Dans ce contexte, les MDES basées sur la recherche d'analogues sont particulièrement intéressantes : pour chaque prédiction, le scénario émis correspond à la précipitation observée extraite d'une archive de jours considérés comme analogues à la situation cible au regard de différents prédicteurs atmosphériques. Par suite, si le même jour analogue est utilisé pour la prédiction des précipitations en chacun des sites de la région considérée, la cohérence spatiale du champ prédit est automatiquement garantie. Un tel cadre de simulation soulève cependant différentes questions :

- Sur quelle étendue spatiale est-il possible de générer des scénarios performants et spatialement cohérents ? En d'autres termes, une MDES analogique développée spécifiquement pour une région donnée peut-elle être facilement transposée pour la prédiction en des sites voisins ? Si oui, jusqu'à quelle distance la transposition spatiale est-elle raisonnable ?
- Quelle est la performance de la prédiction lorsque celle-ci vise une précipitation moyenne à

l'échelle d'un territoire donné et comment cette performance évolue-t-elle lorsque le territoire considéré est de plus en plus important ?

- Lorsqu'une MDES analogique est utilisée pour la prédiction en plusieurs sites, est-il possible d'améliorer la prédiction par l'utilisation de prédicteurs additionnels en chacun des sites ?

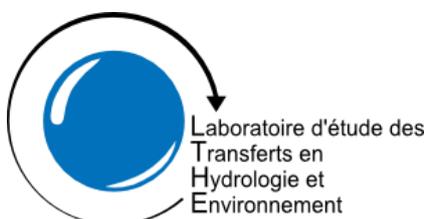
Dans cette thèse à caractère relativement exploratoire, nous tentons d'apporter des éléments de réponses à ces différentes questions. Nous nous intéressons à la génération de scénarios pluviométriques spatiaux pour l'ensemble de la France métropolitaine. Nous utilisons comme base de nos travaux plusieurs versions d'une MDES Analog initialement développée pour la prévision quantitative probabiliste des précipitations journalières pour le Sud-Est de la France.

- Nous présentons d'abord la performance locale obtenue par un modèle Analog générique optimisé et appliqué pour la prédiction de précipitations locales en France. L'analogie est effectuée sur la forme des champs géopotentiels à 500 et 1000 hPa. Le domaine spatial d'analogie est optimisé successivement pour chacun des 8 981 sites couvrant le territoire Français.

Nous évaluons ensuite la taille des territoires sur lesquels il est possible de générer des scénarios de précipitations performants localement et spatialement cohérents. Pour cela, nous évaluons la transposabilité spatiale d'un modèle Analog optimisé pour un site donné. Le modèle est utilisé pour la prédiction des précipitations en tout autre point du territoire. Pour chacun des sites, la performance de prédiction résultant du modèle transposé est comparée à la performance de prédiction résultant du modèle Analog optimisé pour ce site. La perte de performance obtenue avec le modèle transposé est très faible jusqu'à des distances de 400 à 500 km. La transposabilité du modèle Analog est limitée en présence de barrières topographiques entre sites. Elle dépend aussi des paramètres du modèle Analog ainsi que de la saison et/ou de la situation atmosphérique considérée.

Nous évaluons enfin comment la performance de prédiction évolue lorsque l'on prédit des précipitations agrégées sur des territoires de plus en plus grands. Sur la base d'une étude expérimentale appliquée à un modèle Analog optimisé globalement pour l'ensemble du territoire, nous montrons que la performance augmente continûment avec le niveau d'agrégation. L'augmentation de performance est moindre pour les régions où les précipitations sont fortement corrélées dans l'espace. Nous explicitons les mécanismes conduisant à ces résultats par le biais d'une expérience simulatoire dans laquelle les principaux paramètres du problème sont contrôlés.

- Dans une seconde partie, nous explorons la possibilité d'améliorer localement la performance de la prédiction en combinant au modèle Analog une autre MDES de type fonction de transfert, inspirée du modèle d2gen. Pour chaque jour de prédiction, les précipitations et les situations atmosphériques observées pour les différentes journées analogues de ce jour permettent de proposer un modèle de prédiction raffiné. Le modèle utilise deux types de régressions linéaires généralisées, l'une pour l'occurrence et l'autre pour la quantité des précipitations. Pour ces deux variables, un jeu de prédicteurs potentiels est dans un premier temps identifié. Pour chaque jour de prédiction, les prédicteurs les plus informatifs sont ensuite déterminés à partir des 100 dates analogues les plus proches du jour cible du point de vue de la circulation atmosphérique régionale. De cette étude, il ressort que les prédicteurs additionnels utilisés *in fine* pour mettre à jour la distribution statistique prédite avec le modèle Analog permettent d'obtenir un gain de performance prédictive total non négligeable. L'adaptation des prédicteurs présente aussi l'avantage d'identifier des liens préférentiels en fonction de la situation synoptique rencontrée.



**ECOLE DOCTORALE**  
Terre, Univers, Environnement

PhD defense : J. Chardon

Thursday, December 11th, 2014 at 14h00

[Amphithéâtre Craya,](#)  
[ENSE3 - site Bergès,](#)  
[1025 rue de la piscine,](#)  
[38400 Saint-Martin d'Hères](#)



## **Interests of the analog method for the generation of precipitation scenarios for the French territory. Spatial consistency and adaptability of the scale relation.**

Hydrological scenarios required for hydro-meteorological forecasts or climate change impact studies are classically obtained by streamflow simulation based on meteorological scenarios. The latter have to be unbiased and adapted to the space and time scales of the studied hydro-systems. They are often necessary to high spatial and temporal resolution. The direct use of scenarios provided by global climate models or numerical weather prediction models is not appropriated. Outputs of these models have to be post-processed, which is often carried out thanks to Statistical Downscaling Methods (SDMs). These methods are based on the fact that local meteorological variables are highly influenced by the large-scale atmosphere state, which is beside better simulated by the models.

Since the 2000's, SDMs are widely used for the generation of scenarios at a single site (which can correspond to a gauge or a region covering a few thousand square kilometers). Single site generation is easily tractable with SDMs based on analog methods, transfer function or weather types. The generation of relevant precipitation fields over large regions or hydro-systems is conversely not straightforward. They have especially to be coherent in space. This is indeed a mandatory constraint for the subsequent simulation of relevant hydrological scenarios.

Analog Methods (AMs) constitute an efficient approach for the generation of spatially coherent precipitation fields: for each prediction day, prediction scenarios are obtained from the precipitation observed for days in a historical archive that are analogous according to different predictors. When the same analog date is chosen for a prediction at several sites, the spatial consistency between sites is automatically satisfied. However, several issues can be raised:

- What is the spatial extent over which an efficient and coherent field can be generated? If an AM is optimized for a given site or region, can it be easily transferred for the prediction of precipitation at other neighboring sites or regions?
- How does the skill of the prediction evolve when the prediction is performed for area-averaged precipitation when averaged over a territory with a growing surface?
- When an AM is used for the prediction of precipitation over several sites, is it possible to improve the prediction skill at a site by including additional predictors?

In this explanatory study, we try to give some answers to these questions. An AM initially developed for the probabilistic quantitative precipitation forecasts over the south-east of France was used for the generation of precipitation field over the whole of French metropolitan territory.

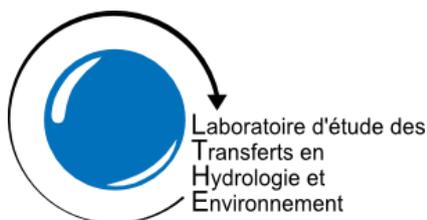
- The AM was first optimized locally, for each of 8 981 sites covering France and its local prediction skill was evaluated. The analogy is performed over the 1000 and 500 hPa geopotential fields. The

optimization applies to the predictor domain used to identify the analog dates.

In a second step, we are interested in evaluating the size of the territories for which it is possible to generate relevant and spatially consistent precipitation scenarios. To do so, we evaluate the spatial transferability of an AM optimized for a given site. The transferred AM is used for the prediction of precipitation over the whole territory. For each site, the prediction skill of the transferred model is compared to the one obtained by the locally optimized AM. The transferability of the model is high: the performance loss obtained by the transferred model is low up to 400 to 500 km distant sites. The transferability of the AM is however reduced in the presence of significant topographical barriers. It depends also on the AM parameters and on the season and/or the atmospheric situation.

Finally, we evaluate the skill of predictions applying to area-averaged precipitation, when averaged over a territory with a growing surface. With an experimental study applied to an AM globally optimized for France, we show that the skill increases continuously with the aggregation level. This increase in performance is lower for regions where precipitations are highly correlated. The mechanisms leading to these results are explained thanks to a simulation experiment in which the main parameters are controlled.

- In a second part, we explore the possibility to improve the prediction with a hybrid prediction model, combining an AM based on geopotential fields and a transfer function, inspired from the d2gen model. For each prediction, precipitations and atmospheric predictors extracted from the analog dates allow to propose a refined prediction model. Two types of generalized linear regression are used here: one for the occurrence and the other one for the precipitation quantity. For these two variables, a set of potential predictors is first identified. For each prediction day, the most informative predictors are determined from the first 100 analog dates from a large-scale atmospheric circulation viewpoint. From this study, it appears that the additional predictors used for the update of the statistical distribution issued by the AM allow obtaining a significant performance gain. The predictors adaptability has also the advantage of identifying preferential downscaling links depending on the considered synoptic situation.



**ECOLE DOCTORALE**  
Terre, Univers, Environnement