

RESUME

Les cours d'eau intermittents sont des cours d'eau qui cessent de couler à un moment donné dans l'espace et le temps. Cependant, la compréhension de la variabilité spatio-temporelle des cours d'eau intermittents ainsi que leur localisation précise dans le réseau hydrographique reste limitée en raison d'un manque de données (hydrométriques, hydrographiques, etc.). Ces difficultés sont accentuées dans les régions à données limitées comme l'Afrique et cette thèse vise principalement à développer des approches méthodologiques qui s'appuient sur des modèles de forêts aléatoires (*Random Forest*) ainsi que des analyses statistiques pour caractériser la distribution spatiale des cours d'eau intermittents et mieux appréhender les mécanismes de contrôle de l'intermittence en Afrique afin de pallier les lacunes d'observations. D'abord, cette thèse s'est focalisée à l'échelle régionale au Burkina Faso où 49 stations de jaugeage des cours d'eau sur la période 1955-1985 ont été examinées. Le nombre moyen de mois à débit nul par an (\overline{Ndry}) a été utilisé pour définir quatre classes croissantes d'intermittence du débit à savoir : permanent (0-1 mois à débit nul), faiblement intermittent (2-4), fortement intermittent (5-7), éphémère (8-12). Une analyse en composante principale (ACP) réalisée sur les 49 stations de jaugeages a montré que, bien que l'ordre de Strahler et la précipitation moyenne annuelle influencent la répartition géographique des différentes classes d'intermittence au Burkina Faso, la perméabilité moyenne du sol et la surface amont des bassins versants expliquent principalement cette répartition. Ensuite, à l'échelle de l'Afrique, 1125 stations de jaugeage sont examinées sur la période 1958-1991. Le modèle *Random Forest* a été entraîné à relier les classes d'intermittence observées au droit des stations de jaugeage aux valeurs caractéristiques de 15 variables environnementales clés identifiées. L'analyse de l'importance des variables suggère que l'indice d'aridité (P/ETP), la surface amont des bassins versants et l'évapotranspiration potentielle moyenne annuelle sont les facteurs de contrôle les plus importants de l'intermittence à l'échelle continentale de l'Afrique. La perméabilité qui est identifiée au Burkina Faso comme la variable de contrôle la plus importante ne ressort pas à l'échelle de l'Afrique parmi les contrôles les plus importants. Cela s'expliquerait par les incertitudes associées aux données hydrogéologiques à large échelle, mais aussi par une influence moindre en général que celle des variables climatiques. Avec des performances modérées, le modèle prédit sur le réseau hydrographique LCS qu'en Afrique 44 % en longueur des cours d'eau sont permanents tandis que 56 % seraient intermittents (9 % faiblement intermittents, 31 % fortement intermittents, 16 % éphémères). Les prédictions capturent en général la distribution spatiale de l'intermittence observée dans les réseaux hydrographiques nationaux de référence de l'Afrique du Sud, du Bénin, de Madagascar, du Mali et un peu moins au Burkina Faso. Enfin, cette thèse s'est appesantie sur les difficultés des réseaux hydrographiques globaux et continentaux à reproduire la variabilité spatiale de la densité de drainage observée sur les réseaux hydrographiques nationaux de référence des différents pays en Afrique. Une méthode simple pour extraire les cours d'eau des MNT (Modèle Numérique de Terrain) à partir de surface contributive (A_{min}) variable spatialement a été développée.

Mots-clés : Hydrologie, Cours d'eau intermittents, Aridité, Perméabilité, *Random Forest*, Acp, Hydrographie, Densité de drainage, MNT, Surface contributive, Burkina Faso, Afrique.

ABSTRACT

Intermittent rivers are rivers that stop flowing at some point in space and time. However, the understanding of the spatio-temporal variability of intermittent rivers as well as their precise location in the hydrographic network remains limited due to a lack of data (hydrometric, hydrographic, etc.). These difficulties are accentuated in data-limited regions such as Africa and this thesis aims to develop methodological approaches that rely on Random Forest models and statistical analyses to characterize the spatial distribution of intermittent rivers and to better understand the controlling factors of intermittency in Africa in order to overcome the observation gaps. Firstly, this thesis focused on the regional scale in Burkina Faso where 49 stream gauging stations over the period 1955-1985 were examined. The mean number of months with zero flow per year (*Ndry*) was used as a predictor to define four increasing classes of flow intermittency namely: perennial (0-1 months with zero flow), weakly intermittent (2-4), highly intermittent (5-7) and ephemeral (8-12). A principal component analysis (PCA) performed on 49 gauging stations showed that, although the Strahler order and the average annual precipitation influence the geographical distribution of the different intermittency classes in Burkina Faso, the average permeability and the upstream catchment area mainly explain this distribution. Secondly, at the African scale, 1125 gauging stations with at least 4 years of data are examined over the period 1958-1991. Random Forest models were trained to relate the classes of intermittency observed at the gauging stations to the characteristic values of key environmental variables identified (15). Analysis of the importance of the variables suggests that the aridity index (P/ETP), upstream catchment area and annual mean potential evapotranspiration are the most important controlling factors of intermittency at the continental scale in Africa. Permeability, which is identified in Burkina Faso as the most important controlling variable, does not emerge at the African scale as one of the most important controls. This could be explained by the uncertainties associated with large-scale hydrogeological data but also by a lesser influence of these variables compared to climatic variables at a larger scale. With moderate performance, the model predicts that in Africa 44% of the river length is perennial while 56% is intermittent (9% weakly intermittent, 31% strongly intermittent, 16% ephemeral). The predictions generally capture the spatial distribution of intermittency in the national reference hydrographic database of South Africa, Benin, Madagascar, and Mali and a bit less in Burkina Faso. Finally, this thesis focused on the difficulties of global and continental river networks to reproduce the spatial variability of the observed drainage density in the national reference hydrographic database of different countries in Africa. A simple method for extracting streams from DEM (Digital Elevation Model) with a spatially variable contributing area (A_{min}) was developed.

Keywords: Hydrology, Intermittent rivers, Aridity, Permeability, Random Forest, PCA, Hydrography, Drainage density, DEM, Contributive area, Burkina Faso, Africa.