

Recharge d'eau souterraine dans le Sahel semi-aride: tendances spatiales et temporelles

Heckmann M., Rückl M., Broda S., Frei M., Reichling J.

Institute fédéral allemand des géosciences et des ressources naturelles (BGR), Germany

1 Eau de surface et recharge d'eau souterraine

L'infiltration localisée des eaux de surfaces de mares saisonnières de courte durée est une source importante de recharge dans la région semi-aride du Sahel (Desconnet, 1994; Massuel, 2005; Favreau et al., 2009). Elle est supposée dépasser amplement la contribution d'autres sources de recharge. Dans cette étude, la télédétection est utilisée pour évaluer l'étendue spatiale ainsi que la durée moyenne des mares afin de délimiter les zones ayant un potentiel important pour la recharge. Cette étude servira ensuite de base pour quantifier la recharge. Située dans la région transfrontalière du Bénin, Niger et Nigéria (Fig. 1), le travail est effectué dans le cadre d'un projet de coopération technique entre le BGR et l'administration du bassin du Niger (NBA).

2 Détection des étendues d'eau

La détection de l'eau par télédétection s'appuie sur la signature spectrale de l'eau, qui est caractérisée par une forte absorption dans le domaine de l'infrarouge, contrairement au sol ou à la végétation.

L'étude utilise l'indice d'eau par différence normalisée modifiée (**Modified Normalized Difference Water Index, MNDWI**, Xu, 2006, McFetters 1996) pour détecter les masses d'eau. Il se sert de l'information de deux bandes spectrales, «verte» et proche infrarouge (SWIR 1), pour différencier entre l'eau et le sol. La normalisation par la somme des deux bandes réduit l'influence des différences d'éclaircissement et permet ainsi une meilleure comparaison au sein d'une scène et entre différentes scènes.

$$MNDWI = \frac{vert - SWIR1}{vert + SWIR1}$$

3 Flux de travail

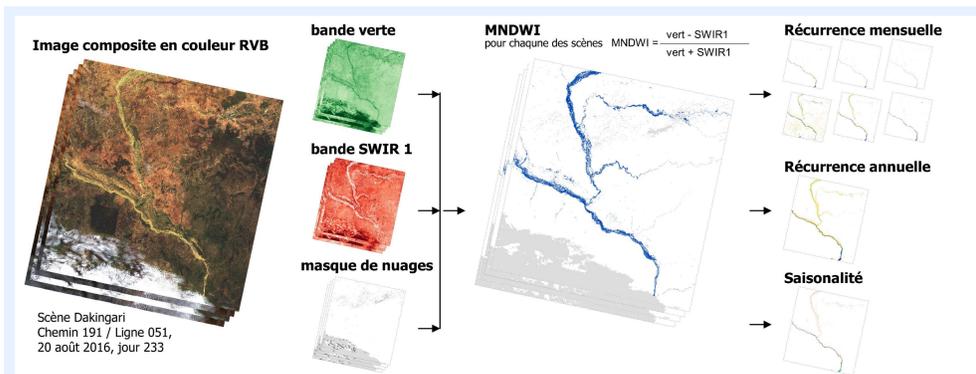


Fig. 2: Le MNDWI est calculé pour chaque scène (entre 261 et 326 scènes par planche pour toute la période d'observations) en se servant des bandes spectrales verte et proche infrarouge (SWIR1). Le couvert nuageux est masqué par le cfmask du USGS. Avec un total de 1756 scènes réparties sur six planches WRS-2, l'étendue et la répartition des eaux de surfaces annuelles et mensuelles, ainsi que leur caractère saisonnier, ont été calculées.

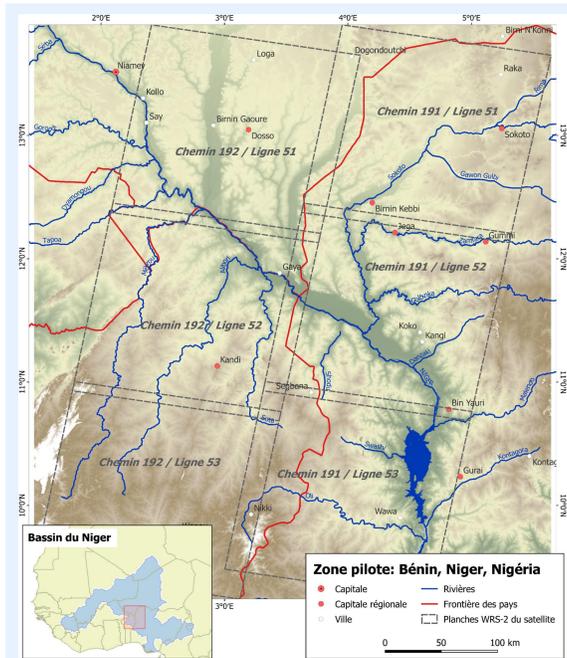


Fig. 1: Zone d'étude et location des planches WRS-2 Landsat

4 Séries temporelles Landsat

Les images satellite utilisées dans cette étude sont les réflectances de surface des capteurs Landsat 4, 5, 7 et 8, acquises entre 1984 et 2016 (téléchargées via le USGS EROS Center - Surface Reflectance Data set (Climate Data Records)). Ces scènes sont Level 1, et ont été soumises à une correction du relief ainsi qu'à une correction atmosphérique.

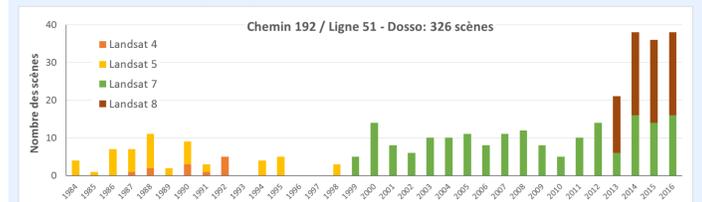


Fig. 3: Temporal availability of Landsat scenes and sensors for tile 192/51

5 Observations

Le nombre total d'observations par pixel est défini par:

1. La disponibilité spatiale et temporelle des scènes Landsat
2. Le couvert nuageux

Le nombre restreint de scènes disponibles pour l'Afrique de l'Ouest ainsi que le couvert nuageux très important durant la saison des pluies (Juin à Septembre) limite fortement le nombre d'observations disponibles pour la région d'intérêt, ce qui influence la détection des étendues d'eau de surface.

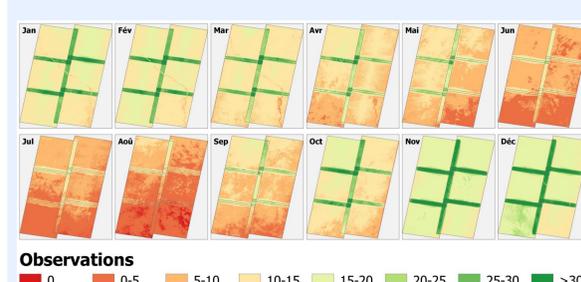


Fig. 5: Distribution mensuelle des observations valides dans la zone d'étude. Cette répartition montre bien le nombre restreint d'observations durant la saison des pluies, qui est pourtant la plus importante quand il s'agit de déterminer l'étendue des eaux de surfaces, y compris dues aux inondations.

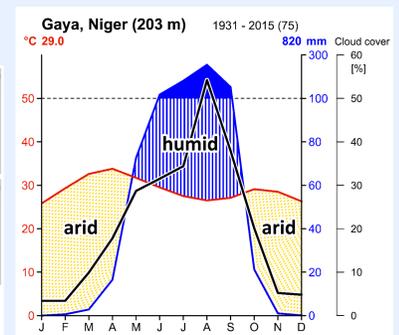


Fig. 4: Diagramme climatique de Gaya, Niger qui montre un climat semi-aride, caractérisé par un modèle unimodal de précipitations (7 mois arides et 5 mois humides). Le couvert nuageux moyen a été calculé à partir des données satellites. Data source: GHCN v2 (Precip.), GHCN v3 (Temp.).

Résultats

6 Monthly water recurrence

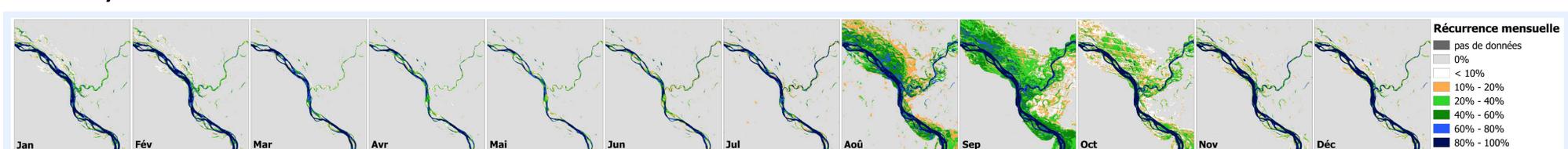


Fig. 6: Réurrence mensuelle des eaux de surfaces à la confluence des fleuves Sokoto et Niger, Nigéria. On peut y observer les premières inondations dues aux précipitations (Août et Septembre, «inondation blanche») ainsi que la persistance du niveau d'eau élevé du fleuve Niger (Août à Mars, «inondation noire»), dû à l'arrivée décalée de l'eau de la saison des pluies des fleuves et cours d'eau affluents en amont (Guinée, Côte d'Ivoire, Mali).

7 Réurrence annuelle des eaux de surface

La réurrence des eaux de surface est définie par la variabilité inter-annuelle des eaux de surface entre les années 1984 et 2016. Elle mesure la fréquence de l'occurrence de l'eau par pixel et est exprimée en pourcentage d'années pour la période 1984-2016 pendant lequel la zone est inondée. La réurrence des eaux de surface est calculée de manière mensuelle (Fig.6) et annuelle (Fig.7)

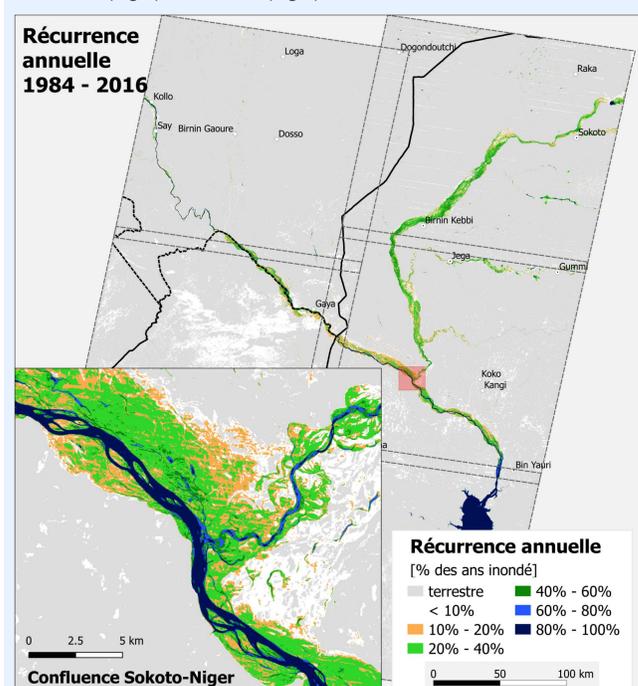


Fig. 7: La réurrence annuelle des eaux de surface comme indicateur des zones sujettes aux inondations et zones de recharge potentielles.

8 Saisonnalité

La saisonnalité décrit la variabilité intra-annuelle de l'étendue des eaux de surface, entre 1984 et 2016. Mesurée par le nombre moyen de mois par an pendant lesquels la zone est inondée, elle permet de distinguer entre les étendues d'eau permanentes et saisonnières. Une saisonnalité inférieure à un mois par an ou une réurrence inférieure à 10% sont à considérer de manière critique, dû au nombre restreint d'observations.

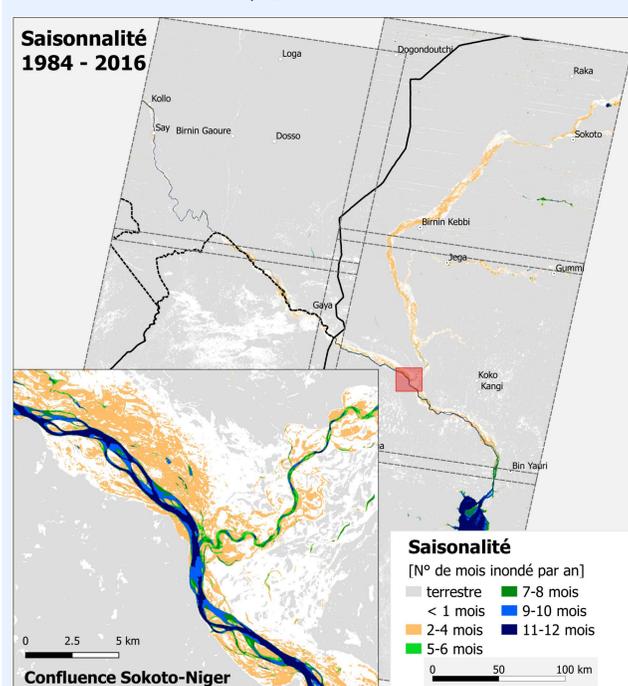


Fig. 8: La saisonnalité comme indicateur de la durée des inondations et des périodes d'activité des zones de recharge potentielles.

9 Conclusions

L'extraction des étendues d'eau de surface sur les séries Landsat permet:

- une analyse détaillée due à la haute résolution spatiale (30m)
- une analyse robuste due à la longue période considérée (> 30 ans)

→ la définition de la répartition spatiale et temporelle moyenne de l'étendue minimum des eaux de surfaces

Inconvénients de l'extraction des eaux à partir d'images Landsat restant:

- une réurrence temporelle faible (> 2 semaines), préviennent l'analyse d'événements pluvieux de courte durée.

- la basse résolution spatiale limite l'extraction de petites étendues d'eau
- la forte contenance en eau de plantes ne permet pas la distinction entre la végétation et les eaux de surface

Saisonnalité et réurrence sont deux outils importants pour:

- la gestion des risques et la prévention de inondations
- la planification d'infrastructures
- l'estimation de la recharge

Estimation de la recharge

La classification des zones de recharge potentielles ainsi que la quantité de la recharge peuvent être déterminées par :

- la fréquence des inondations (réurrence entre 1984 et 2016)
- le caractère temporel des inondations (saisonnalité)

Remerciements

Cette étude a été menée dans le cadre d'une coopération technique entre l'Institut fédéral allemand des géosciences et des ressources naturelles (BGR), la commission suprarrégionale pour la gestion des eaux de surface et des eaux souterraines du bassin du fleuve Niger (Niger Basin Authority, NBA) et le Lac Chad (Lake Chad Basin Commission, LCBC). Cette étude a été financée par le ministère allemand pour la coopération économique et le développement (BMZ) (PN* 2013.2465.6 & PN* 2014.2272.4).

References

Desconnets, J (1994): *Typologie et caractérisation hydrologique des systèmes endoréiques en milieu sahélien* (Niger - degré carré de Niamey). Doctoral thesis, Université de Montpellier II
Favreau, G, Cappelaere, B, Massuel, S, Leblanc, M, Boucher, M, Boulain, N & Leduc, C (2009): Land clearing, climate variability, and water resources increase in semi-arid southwest Niger: A review, *Water Resources Research*, vol. 45
Massuel, S (2005): *Evolution récente de la ressource en eau consécutive aux changements climatiques et environnementaux du sud-ouest Niger*. Doctoral thesis, Université de Paris
McFetters, S (1996): The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features, *International Journal of Remote Sensing*, vol. 17, no. 7, pp. 1425-1432.
Xu, H (2006): Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery, *International Journal of Remote Sensing*, vol. 27, no. 14, pp. 3025-3033.