

## Contexte

Depuis les années 60, les pays sahéliers connaissent des changements climatiques qui se caractérisent par une baisse considérable des pluies. Ceci a pour conséquence directe la baisse du régime des cours d'eau et l'assèchement progressif de certains points d'eau de surface [1]. L'une des solutions pratiques pour palier aux conséquences sur la vie des populations est l'exploitation des eaux souterraines dont la cartographie et la connaissance peuvent contribuer à faire en sorte que les pays de la région du Sahel puissent élaborer des stratégies à long terme pour un partage et une gestion équitable et durable des ressources en eau [2]. Sur ce plan, malgré la sévérité du climat, le Niger dispose d'importantes réserves d'eaux souterraines. On constate cependant que l'exploitation de ces aquifères reste insignifiante [3]. Or, le pays a un taux d'accès à l'eau potable et à l'assainissement parmi les plus bas au monde. La mauvaise gestion des ressources en eau dans le pays affaiblit les moyens de subsistance issus de l'agriculture et de l'élevage, et crée parfois des conflits. Selon le Ministère de l'Hydraulique et de l'Assainissement (MHA), des efforts sont entrepris pour élargir l'accès des populations à l'eau potable. Cependant, la progression reste relativement faible avec comme premier facteur explicatif le taux d'accroissement de la population qui avoisine un million d'individus par an [4]. Selon la même source, les taux d'accès théoriques en eau potable [voir la définition à la page 4] montrent que les régions de Zinder (35%), Niamey (36%), Maradi (51%), Tahoua (42%) et Tillabéri (52%) sont les régions les moins bien pourvues en eau potable. Suivant le même ordre d'idée, le classement de la sévérité WASH (WASH Severity Classification, WSC) conduit au Niger en juillet et août 2021 a déterminé que les conditions en termes d'eau, d'assainissement et d'hygiène (EHA) de l'ensemble du pays étaient en phase 3 (Crise), à l'exception des départements de Mayahi (Maradi) et Ayerou (Tillabéri), qui ont été classés comme étant en phase 4 (Critique) [5]. L'exploitation des eaux souterraines au Niger fait face comme dans d'autres pays à un manque de données et d'informations précises sur les réservoirs souterrains, ce qui se traduit souvent par des ouvrages négatifs (puits, forages et pompes sans eau). L'utilisation d'images satellites pour la réalisation de cartographie générale communiquant des informations sur les zones les plus fournies en eaux souterraines permettrait de palier à ces difficultés. C'est dans cette optique d'une part et dans le but d'orienter les partenaires sur l'implantation d'ouvrages hydrauliques durables en contribuant à l'amélioration de l'accès à l'eau d'autre part que la présente évaluation - financée par le Fond Humanitaire Régional pour l'Afrique de l'Ouest et du Centre (FHRAOC) - est réalisée par l'Initiative REACH au Niger au moyen de la télédétection.

## Méthodologie

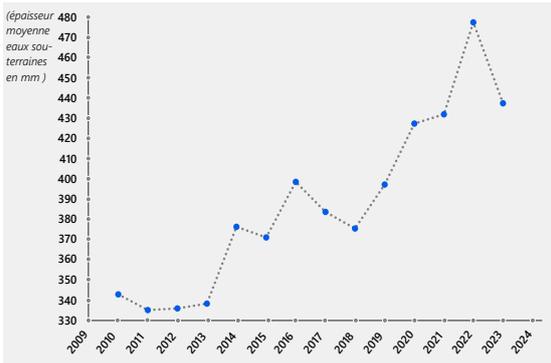
Dans le cadre de cette étude, le jeu de données "Ground water storage (GLDAS\_CLSM025\_DA1\_D v2.2)" du satellite GRACE (Gravity Recovery and Climate Experiment), fourni par la NASA Giovanni a été utilisé. Ces données sur les eaux souterraines en unités d'épaisseur (mm), sont disponibles quotidiennement avec une résolution spatiale de 0,25° (~27 x 27 km). Pour la période de début juin à fin août pour toutes les treize (13) dernières années (2010 à 2022), ainsi que pour 2023, nous avons téléchargé des données en format raster représentant les épaisseurs moyennes des eaux souterraines pour chacune des années. Tout d'abord, chaque trame de carte moyennée dans la même période de temps et pour chacune des années a été convertie en une couche de points, dans laquelle chaque point contient la valeur du pixel de la trame. Cette pile de 14 couches de points avec des attributs comme la date et les coordonnées géographiques, a ensuite été convertie en un cube spatio-temporel avec un pas de temps annuel et une résolution spatiale de 0,25° x 0,25°. Le cube espace-temps a servi de base à l'analyse des points chauds émergents d'ArcGIS PRO (Emerging Hot Spot Analysis, *Space Time Pattern Mining Tools*), un outil qui identifie les tendances statistiquement significatives des points chauds (abondance) et des points froids (rareté) dans l'espace et dans le temps.

Dans ce contexte, les points chauds désignent les endroits où les valeurs de l'épaisseur de l'eau souterraine exprimées en millimètres sont significativement élevées (abondance), et les points froids désignent les endroits où les valeurs sont significativement basses (rareté de l'eau souterraine). Le résultat est une carte des tendances des points chauds, chaque case étant classée en points chauds et froids nouveaux, consécutifs, en voie d'intensification, persistants, en voie de diminution, sporadiques, oscillants et historiques.

## Epaisseur des eaux souterraines dans la région de Tillabéri

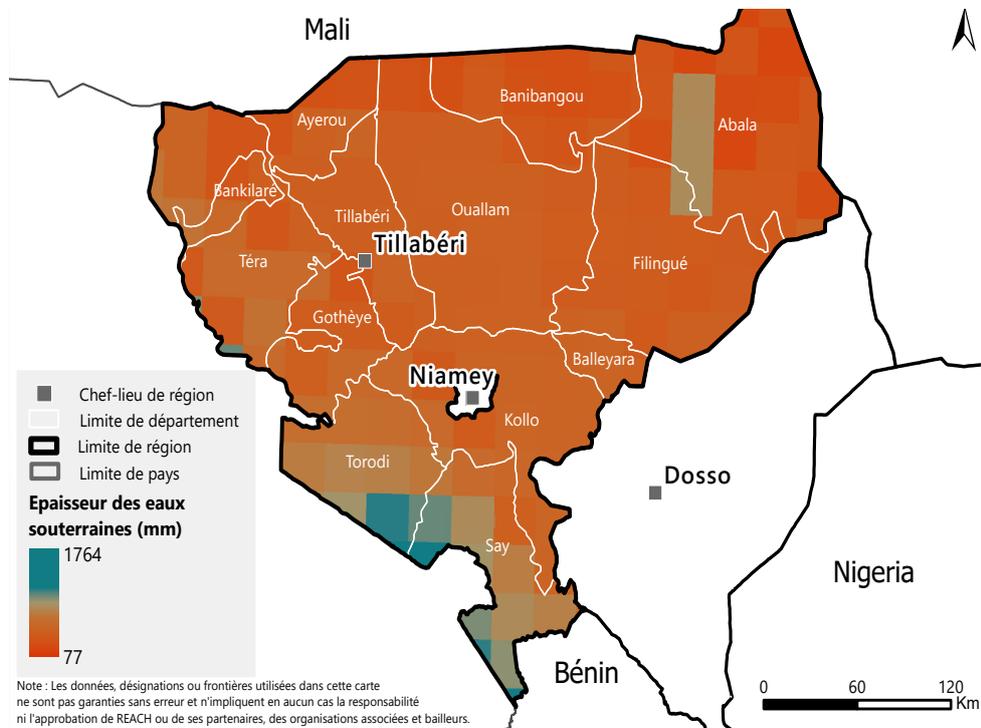
Les épaisseurs moyennes des eaux souterraines pendant la période entre juin et juillet 2023, dans la région de Tillabéri, sont présentées dans la carte suivante. Plusieurs départements de la rive droite du fleuve Niger dont Say, Torodi et Téra présentaient des valeurs importantes en épaisseur d'eau souterraine. Le reste de la région, et particulièrement la zone frontalière avec le Mali incluant les départements de Banibangou, Abala, Ouallam, Filingué, Ayérou, Téra, Bankilaré et Gothèye se trouve dans une situation complète de rareté.

Epaisseurs moyennes des eaux souterraines à Tillabéri entre juin et août de 2010 à 2023



L'analyse de l'épaisseur moyenne des eaux souterraines pendant trois mois (juin à août) à l'échelle de la région de Tillabéri sur les 13 dernières années ainsi qu'en 2023, montre une tendance nettement à la hausse. En 2022, les mesures montrent que les eaux ont atteint leur niveau le plus haut. Les ressources en eaux souterraines les plus importantes se retrouvant surtout à Say, Torodi et à Téra.

Répartition de l'épaisseur moyenne des eaux souterraines dans la région de Tillabéri entre juillet et août 2023

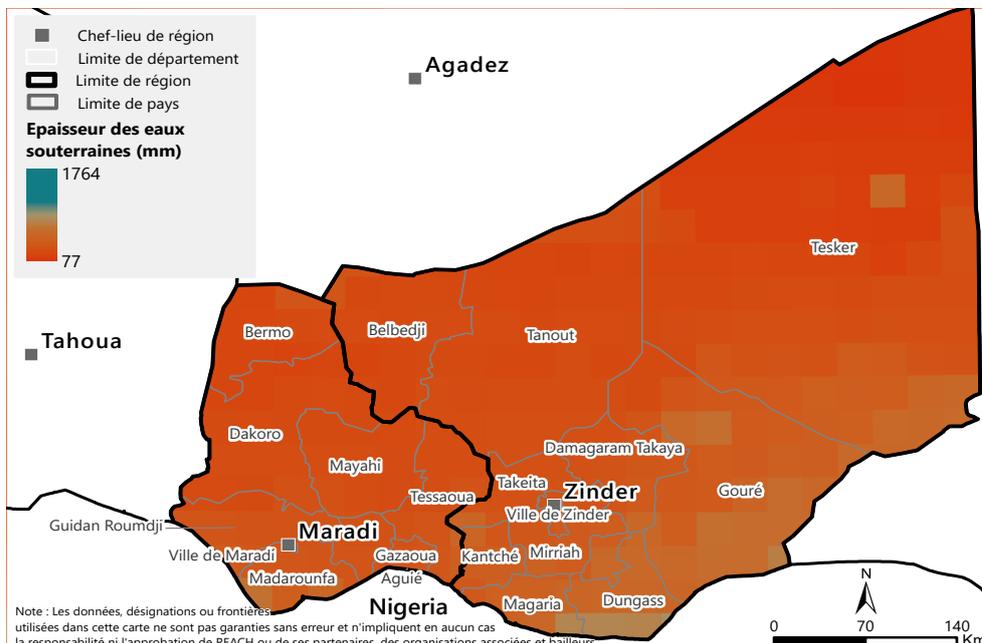


Note : Les données, désignations ou frontières utilisées dans cette carte ne sont pas garanties sans erreur et n'impliquent en aucun cas la responsabilité ni l'approbation de REACH ou de ses partenaires, des organisations associées et bailleurs.

## Epaisseur des eaux souterraines dans les régions de Maradi et Zinder

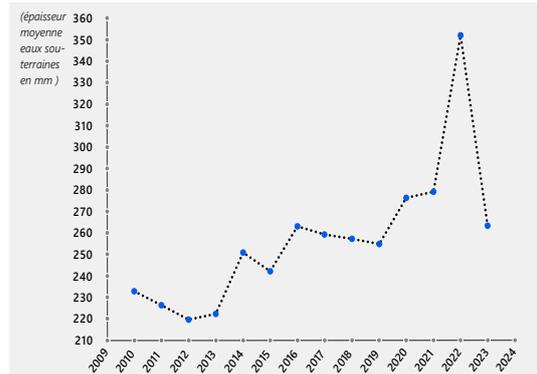
Dans ces deux régions, et pour les mois de juin à août 2023, les valeurs les plus importantes en terme d'épaisseur des eaux souterraines se retrouvent dans les départements au sud du pays. Il s'agit par exemple des départements de Dungass, Gouré, Magaria, le sud de Tesker pour la région de Zinder et du département de Madarounfa pour la région de Maradi. Lorsqu'on compare cette moyenne trimestrielle à l'échelle de la région pour les 14 périodes choisies (2010-2023), le constat à tirer est celui de la hausse des quantités d'eau souterraines même si celles-ci ne sont pas uniformément réparties à l'échelle des régions.

Répartition de l'épaisseur moyenne des eaux souterraines dans la région de Maradi et Zinder entre juin et août 2023

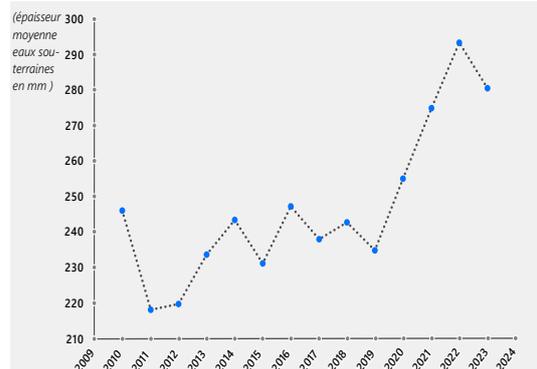


Note : Les données, désignations ou frontières utilisées dans cette carte ne sont pas garanties sans erreur et n'impliquent en aucun cas la responsabilité ni l'approbation de REACH ou de ses partenaires, des organisations associées et bailleurs.

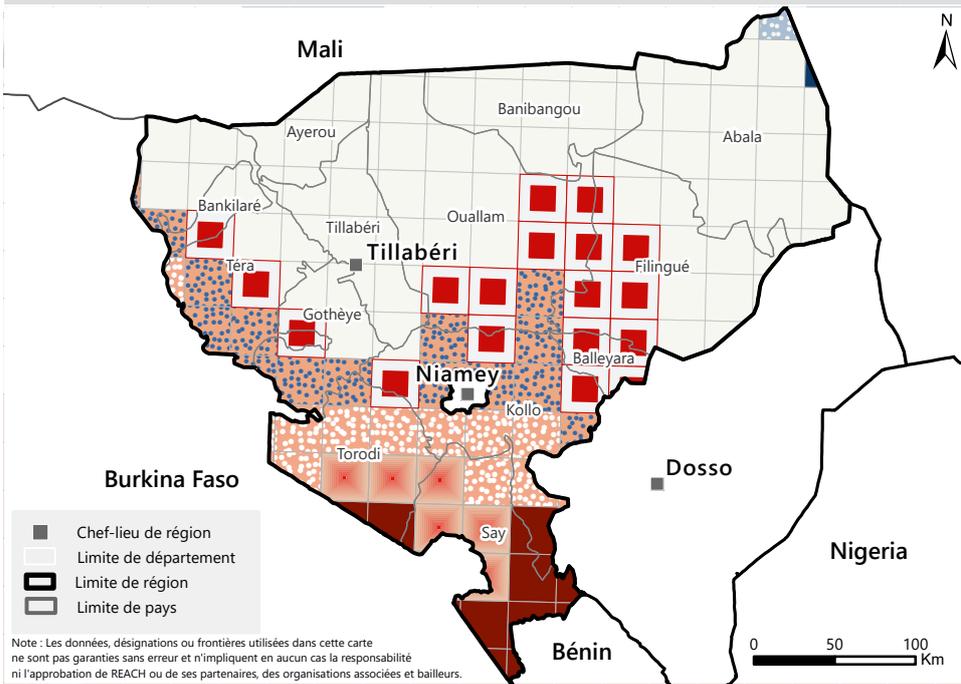
Epaisseurs moyennes des eaux souterraines à Maradi entre juin et août de 2010 à 2023



Epaisseurs moyennes des eaux souterraines à Zinder entre juin et août de 2010 à 2023



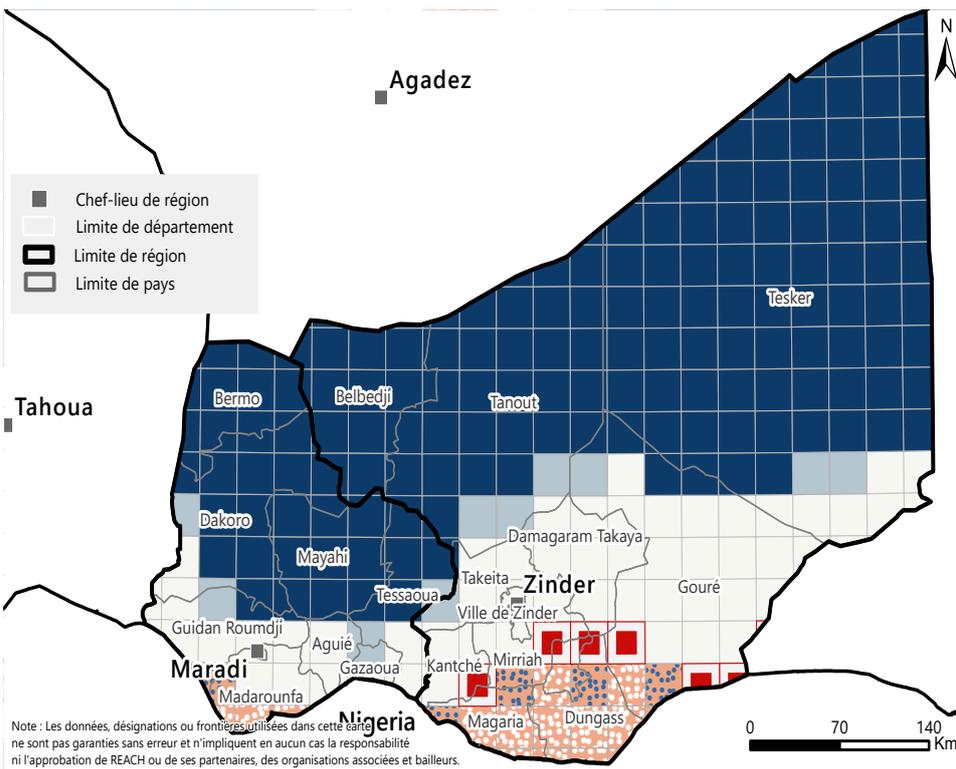
## Stockage dérivé des eaux souterraines dans la région de Tillabéri



- Chef-lieu de région
- Limite de département
- Limite de région
- Nouveau point chaud
- Point chaud consécutif
- Intensification de point chaud
- Point chaud persistant
- Point chaud en diminution
- Point chaud sporadique
- Point chaud oscillant
- Point chaud historique
- Nouveau point froid
- Point froid consécutif
- Intensification de point froid
- Point froid persistant
- Point froid en diminution
- Point froid sporadique
- Point froid oscillant
- Point froid historique
- Aucun modèle détecté

Note : Les données, désignations ou frontières utilisées dans cette carte ne sont pas garanties sans erreur et n'impliquent en aucun cas la responsabilité ni l'approbation de REACH ou de ses partenaires, des organisations associées et bailleurs.

## Stockage dérivé des eaux souterraines à Maradi et à Zinder



Note : Les données, désignations ou frontières utilisées dans cette carte ne sont pas garanties sans erreur et n'impliquent en aucun cas la responsabilité ni l'approbation de REACH ou de ses partenaires, des organisations associées et bailleurs.

Dans la région de Tillabéri, l'analyse des épaisseurs des eaux souterraines montre des points chauds persistants à travers le temps à l'exemple des départements de Say et de Torodi. Ceux-ci ont donc connu une longue série ininterrompue de valeurs élevées de stockage des eaux souterraines au cours des 13 dernières années. Cette permanence traduisant une grande disponibilité de réserves importantes en eaux souterraines constate cependant avec le reste de la région qui oscille entre abondance et rareté. La région possède d'immenses réserves en eaux souterraines, même si celles-ci sont inégalement réparties. L'abondance s'observe plus dans les localités des départements de la rive droite du fleuve Niger ainsi que dans une petite partie du département d'Abala.

Le sud des régions de Maradi et de Zinder, à travers la période de 2010 à 2023, montre une grande abondance des eaux souterraines. C'est le cas des départements de Gouré, Dungass, Magaria, Madarounfa et dans une moindre mesure l'extrémité du département de Tesker à la frontière avec le Nigéria. Plusieurs localités auraient donc, en plus d'avoir continuellement de grandes réserves d'eau souterraines, vu le potentiel de leur nappe s'agrandir comme le témoigne les valeurs élevées des épaisseurs des eaux souterraines dans ces zones. À l'inverse, le Nord de ces deux régions par contre (Tesker, Tanout, Belbedji, Bermo, Dakoro, Mayahi et une partie de Tessaoua) a montré une tendance confirmée de faibles valeurs de stockage des eaux souterraines pendant au moins 12 ans sans hausse ni baisse significative.

- Aucun modèle détecté : Aucune correspondance avec les modèles de points chauds ou froids définis ci-dessous
- Nouveau point chaud : Cet emplacement n'avait que récemment des valeurs élevées de stockage des eaux souterraines
- Point chaud consécutif : Cet emplacement a connu une série ininterrompue de valeurs élevées de stockage des eaux souterraines au cours des dernières années.
- Intensification de point chaud : Cet endroit avait des valeurs élevées de stockage des eaux souterraines pendant au moins 12 ans, et elles ont augmenté avec le temps.
- Point chaud persistant : Cet emplacement a enregistré des valeurs élevées de stockage des eaux souterraines pendant au moins 12 ans, sans tendance à la hausse ou à la baisse de l'intensité.
- Point chaud sporadique : Cet emplacement est un point chaud intermittent, basculant entre des valeurs de stockage des eaux souterraines statistiquement élevées et insignifiantes. Aucune année n'a connu de valeurs statistiquement faibles.
- Point froid persistant : Cet endroit a eu de faibles valeurs de stockage des eaux souterraines pendant au moins 12 ans, sans tendance à la hausse ou à la baisse de l'intensité.
- Point froid diminuant : Cet emplacement avait de faibles valeurs de stockage des eaux souterraines 90 % du temps, qui ont diminué en intensité à chaque année.
- Point froid sporadique : Cet emplacement est un point froid intermittent, basculant entre des valeurs de stockage des eaux souterraines statistiquement faibles et insignifiantes. Aucune année n'a connu de valeurs statistiquement élevées.

### CONCLUSION

L'objectif de cette évaluation du stockage des eaux souterraines dans les régions de Tillabéri, Maradi et Zinder était d'analyser des données d'images multi-temporelles de télédétection identifier la tendance à plus ou moins long terme des niveaux d'eaux souterraines disponibles (sous la surface). Le but à terme étant de pouvoir indiquer la réduction ou l'augmentation du niveau de celle-ci dans chacune des régions d'intérêt. Les images du Satellite GRACE ont été utilisées car celui-ci mesure les variations anormales de la gravité par rapport aux moyennes à long terme. À l'échelle mensuelle, les variations de la gravité sont principalement dues aux mouvements de l'eau terrestre, donc, les variations gravitationnelles peuvent être converties en variations du stockage des eaux souterraines encore appelé "Terrestrial Water Storage" (TWS), c'est-à-dire en variations de l'épaisseur de l'eau (mm). Nous avons donc utilisé le jeu de données "Ground water storage (GLDAS\_CLSM025\_DA1\_D v2.2)" fourni par la NASA Giovanni. Ce produit sur les eaux souterraines, en unités d'épaisseur (mm), est disponible quotidiennement avec une résolution spatiale de 0,25° (~27 x 27 km). L'analyse GRACE n'est pas en mesure de fournir les paramètres volumétriques du réservoir d'eau souterraine évalué, mais plutôt une variation relative du niveau de l'eau. Nous nous sommes intéressés à trois mois pendant les mois de juin à août des années 2010 à 2023.

Ces données traduites en moyennes trimestrielles sur cette période de 14 ans (2010 -2023) montrent clairement une tendance à la hausse de l'épaisseur des eaux souterraines pour certaines parties de ces régions. Le sud des régions de Zinder, de Maradi et la pointe sud-est de la région de Tillabéri présentant les valeurs les plus importantes. Ce qui pourrait être interprété comme une disponibilité d'importantes ressources en eau souterraines pour les localités situées dans ces zones citées (Say, Torodi, Téra, Gouré, Dungass, Madaroumfa, Magaria, etc.). Pour le reste de ces régions, bien que présentant d'importantes réserves en eau, l'analyse individuelle des images de chaque année montre des zones qui présentent un profil de rareté comme certaines localités à la frontière avec le Mali dont Banibangou, Ayerou, Téra, Abala, etc. Globalement, les données de 2023 montrent bien cette tendance pour les zones en rouge. Enfin, même si toutes ces régions ont de potentialités importantes en eaux souterraines, il demeure clair que celles-ci sont inégalement réparties et que certaines régions en ont bien plus que d'autres ou qu'à l'intérieur d'une même région, des disparités importantes peuvent apparaître. La tendance globale est à la hausse des épaisseurs des eaux souterraines telle que présentée dans les graphiques. Ceci entraîne à penser que ces ressources seront de plus en plus disponibles dans le temps. Les changements climatiques et l'augmentation des pluies, se traduisant par un ruissellement important et les infiltrations aussi accentuera cette tendance. Les zones qui ne présentent pas d'abondance ou de rareté de stockage sont les zones où les données d'épaisseur des eaux sont si aléatoires qu'il n'y a donc pas de modèle clair pour évaluer leur stockage en eau souterraine.

### LIMITATIONS

Ce travail ne prétend pas fournir une analyse sur les volumes des eaux de surface. Les données disponibles que nous avons utilisées ne peuvent que nous permettre d'esquisser une mesure du changement relatif du niveau supérieur du réservoir d'eau souterraine, mais pas du volume total du stockage d'eau souterraine. En raison de leur nature (résolutions spatiales et temporelles grossières).

### Notes de fin

Au Niger, le Programme Sectoriel Eau Hygiène et Assainissement (PROSEHA) dans sa définition des indicateurs de performance calculés dans le domaine de l'approvisionnement en eau potable définit le TAt en ces termes :

**Le Taux d'Accès théorique (TAt)** : c'est le rapport en % entre la population desservie et la population totale de la zone considérée (commune, département, région, et pays). Cet indicateur théorique prend en compte dans son calcul tous les ouvrages potentiellement exploitables (à l'exception des ouvrages abandonnés et des ouvrages secs) ;

[1] Mahe G., Paturel J.E., Servat E., Conway D., Dezetter A. (2005), «The impact of land use change on soil water holding capacity and river flow modelling in the Nakambe River, Burkina-Faso», J Hydrol, 300, 33-43.

[2] International Atomic Energy Agency, De l'eau pour un Sahel aSSo, bulletin d'information, 2013.

[3] [https://www.pseau.org/outils/ouvrages/unicef\\_cartographie\\_forage\\_manuel\\_niger\\_fr.pdf](https://www.pseau.org/outils/ouvrages/unicef_cartographie_forage_manuel_niger_fr.pdf)

[4] Ministère De L'hydraulique et de l'Assainissement (2020), Rapport annuel d'activités 2020 Du Ministère De L'hydraulique et de l'Assainissement, Rapport.

[5] <https://www.unicef.org/wca/media/8391/file/WASH%20Severity%20Classification%20Report%20Niger%20.pdf>

### Références bibliographiques

- MAHÉ G., et al. 2003. Augmentation récente du ruissellement de surface en région soudanohésérienne et impact sur la ressource en eau. In : Hydrology of Mediterranean and semiarid regions, IAHS publ. No. 278, 215-222.
- Nguimalet C. R., Mahé G., Laraque A., Orange D. et Yakoubou B. M., 2016. Note sur le changement climatique et la gestion des ressources en eau en Afrique : Repenser l'usage et l'amélioration des services éco-systémiques d'eau. Geo-Eco-Trop, 40, 4 : 317-326.
- ABDOU BABAYE M., Evaluation des ressources en eau souterraine dans le bassin du Dargol (Liptako, Niger). Thèse, département de Géologie, Université Abdou Moumouni de Niamey, Niger.
- GREIGERT, J., 1968. Les eaux souterraines de la république du Niger. Ministère des Travaux Publics, des Transports, des Mines et de l'Urbanisme de la république du Niger. Rapport BRGM, 68 ABI 006 NIA, 2 volumes, 407 p. Niamey, Niger
- Secrétariat de la Convention de Ramsar, 2010. Gestion des eaux souterraines: Lignes directrices pour la gestion des eaux souterraines en vue de maintenir les caractéristiques écologiques des zones humides. Manuels Ramsar pour l'utilisation rationnelle des zones humides, 4e édition, vol. 11. Secrétariat de la Convention de Ramsar, Gland, Suisse, 54 p.

### Liens additionnels, téléchargement des données et méthodologies d'analyses

- GRACE : Informations sur la mission, <https://grace.jpl.nasa.gov/mission/grace/>
- GRACE : Lien de téléchargement des données, <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/>
- GRACE : Lien vers le dashboard de consultation des données, <https://grace.jpl.nasa.gov/data-analysis-tool/>
- GRACE Data Providers' Methods : <https://grace.jpl.nasa.gov/data/choosing-a-solution/>
- GRACE Groundwater Application : <https://grace.jpl.nasa.gov/applications/groundwater/>
- <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/space-time-pattern-mining/emerginghotspots.htm>
- <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/space-time-pattern-mining/create-space-time-cube.htm>
- <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/space-time-pattern-mining/learnmoreemerging.htm>

#### À PROPOS DE REACH

REACH est une initiative conjointe qui facilite le développement d'outils et de produits d'information qui renforcent la capacité des acteurs de l'aide à prendre des décisions fondées sur des preuves dans des contextes d'urgence, de redressement et de développement. Ce faisant, REACH contribue à garantir que les communautés touchées par des situations d'urgence reçoivent le soutien dont elles ont besoin. Toutes les activités de REACH sont menées en soutien et dans le cadre des mécanismes de coordination de l'aide inter-agences. Pour plus d'informations, veuillez consulter notre site web à l'adresse suivante [www.reach-initiative.org](http://www.reach-initiative.org), contactez-nous directement à l'adresse suivante : [mapping@impact-initiatives.org](mailto:mapping@impact-initiatives.org) ou suivez-nous sur Twitter à l'adresse [@REACH.info](https://twitter.com/REACH.info).

FINANCÉ PAR : **FHRAOC** Fonds Humanitaire Régional pour l'Afrique de L'Ouest et du Centre