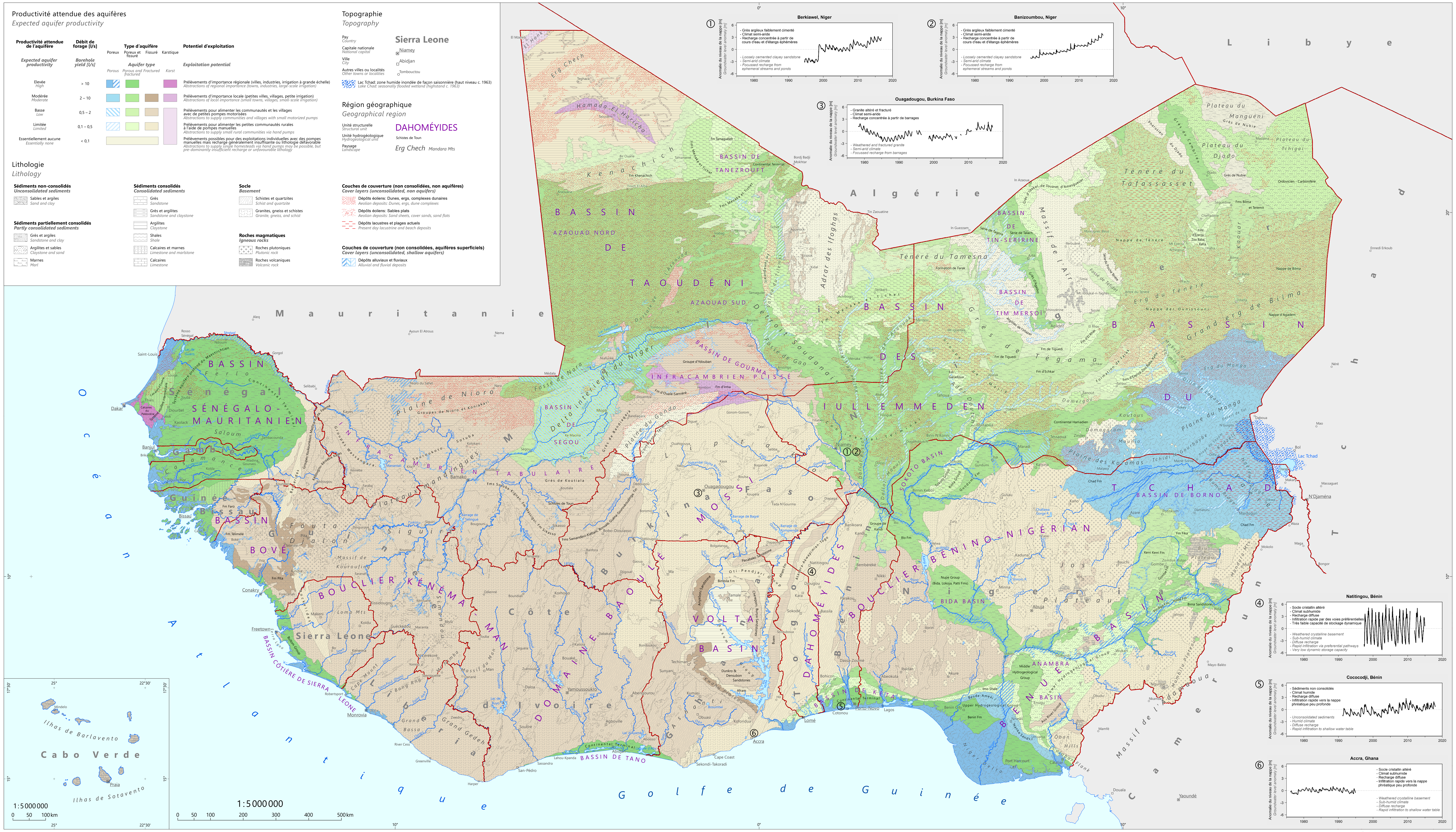
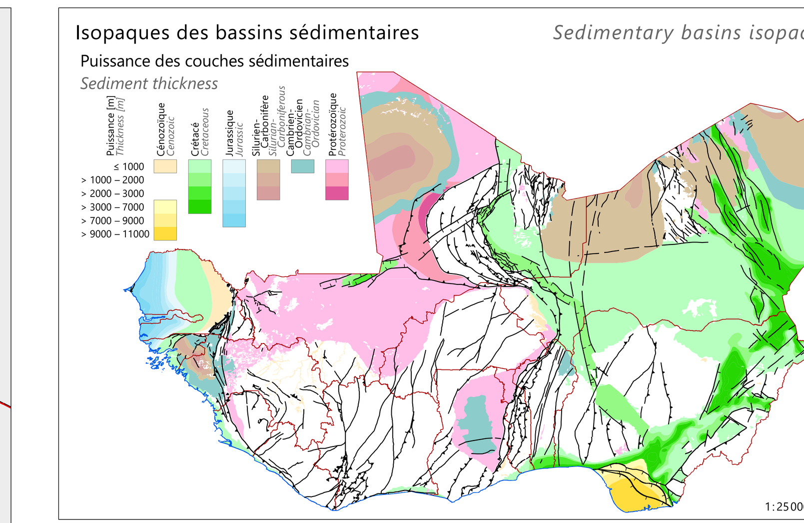
Ressources en eaux souterraines dans la région de la CEDEAO

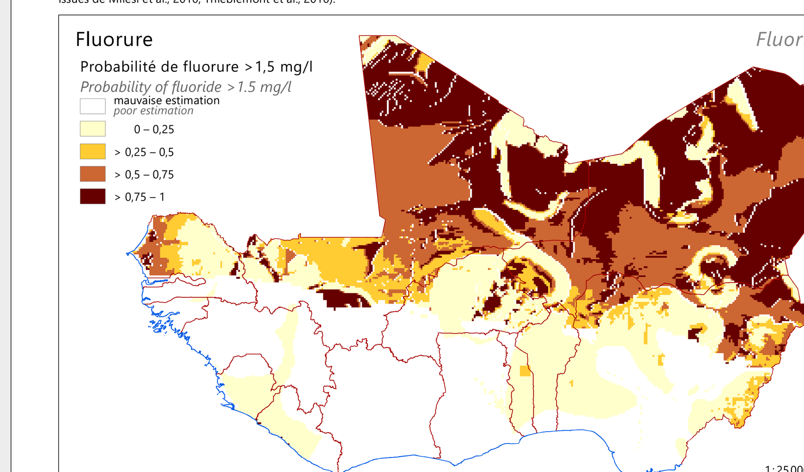
Groundwater resources in the ECOWAS region





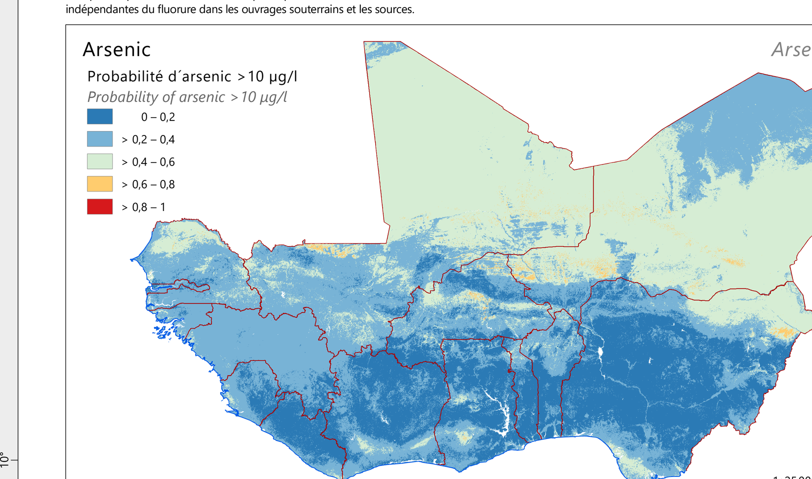
La carte des isopaques met en lumière la distribution spatiale et l'épaisseur des couches sédimentaires qui constituent les principaux bassins sédimentaires. Indépendamment de la géologie de surface sont distingués les grands cycles de dépôts sédimentaires, à savoir les terrains néoprotérozoïques, paléozoïques, mésozoïques et cénozoïques. Ils reflètent ainsi une histoire parsemée d'interactions tectono-sédimentaires majeures, incluant les structures de failles à grande échelle (données issues de Milesi et al., 2010, Thiéblemont et al., 2016).

The isopach, or sediment thickness, map shows the spatial distribution and thickness of the sediments constituting the main sedimentary basins. Irrespective of the surface geology, the map distinguishes the major sedimentation cycles of the Proterozoic, Palaeozoic, Mesozoic, and Cenozoic domains. These reflect a history of major tectono-sedimentary interactions, including large-scale rift structures (data from Milesi et al., 2010, Thiéblemont et al., 2016).



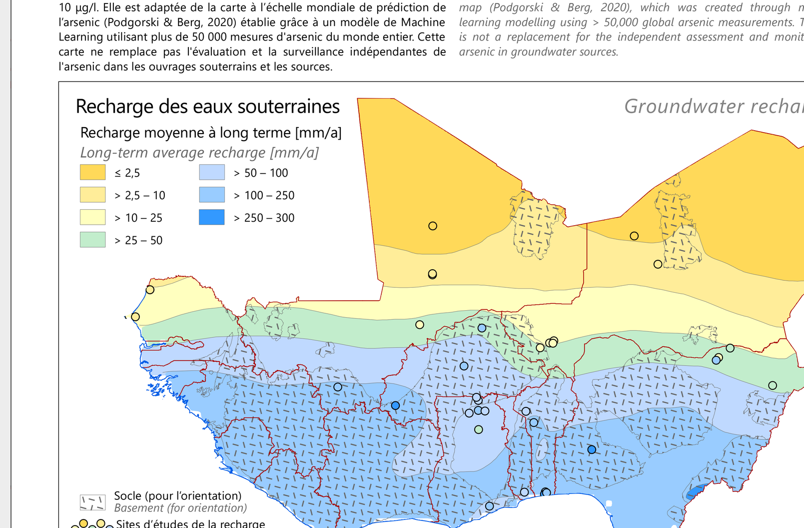
Probabilité que les concentrations de fluorure d'origine géogénique dans les eaux souterraines dépassent la valeur seuil recommandée par l´OMS de 1,5 mg/l. Cette carte est adaptée de la carte à l'échelle mondiale de prédiction du fluorure (Amini et al., 2008) établie selon un modèle statistique en fonction des règles. Bien que l'ingestion de quantités modérées de fluorure puisse être bénéfique pour la santé dentaire, un excès peut causer des affections dentaires et squelettiques. Cette carte ne remplace pas l´évaluation et la surveillance indépendantes du fluorure dans les ouvrages souterrains et les sources.

Probability of geogenic fluoride in groundwater exceeding the WHO guideline of 1.5 mg/l. This map is adapted from a global fluoride prediction map (Amini et al., 2008), which was developed using a rule-based statistical model. Although moderate amounts of fluoride can benefit dental health, excessive amounts can cause dental and skeletal ailments. This map is not a replacement for the independent assessment and monitoring of fluoride in groundwater sources.



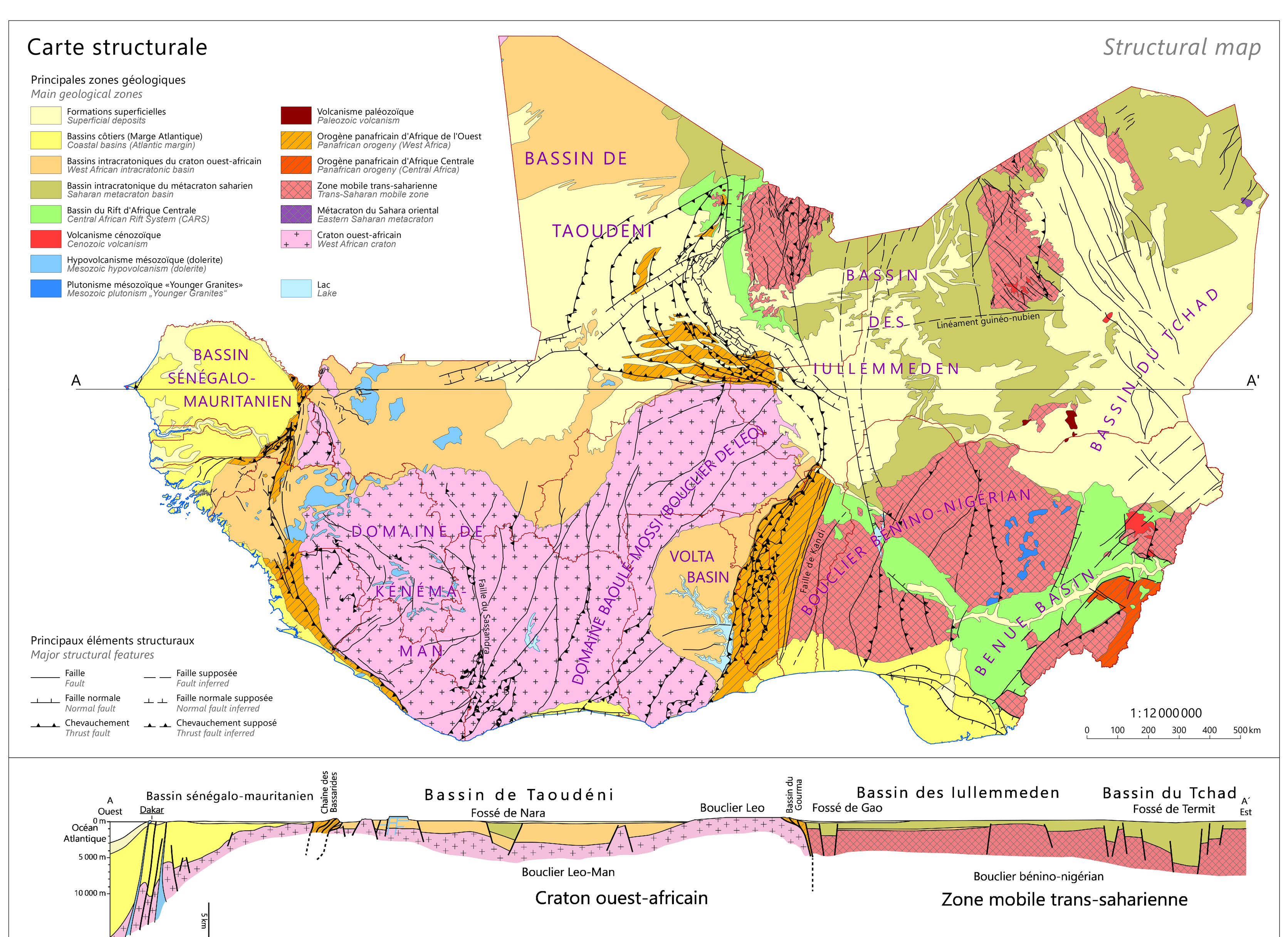
Probabilité que les concentrations d´arsenic d´origine géogénique dans les eaux souterraines dépassent la valeur seuil recommandée par l´OMS de 10 µg/l. Elle est adaptée de la carte à l'échelle mondiale de prédiction de l'arsenic (Podgorski & Berg, 2020) établie grâce à un modèle de Machine Learning utilisant plus de 50 000 mesures d'arsenic du monde entier. Cette carte ne remplace pas l´évaluation et la surveillance indépendantes de l'arsenic dans les ouvrages souterrains et les sources.

Probability of geogenic arsenic in groundwater exceeding the WHO guideline of 10 µg/l. This map is adapted from a global arsenic prediction map (Podgorski & Berg, 2020), which was created through machine-learning modelling using > 50,000 global arsenic measurements. This map is not a replacement for the independent assessment and monitoring of arsenic in groundwater sources.



La carte de distribution spatiale de la recharge annuelle moyenne à long terme (1970-2020) des eaux souterraines (mm/a) a été dérivée en appliquant un modèle mixte linéaire ajusté avec les précipitations annuelles moyennes à long terme comme prédicteur et en incorporant des mesures in situ publiées sur 134 sites à travers l'Afrique et qui ont été vérifiées de manière rigoureuse (MacDonald et al., 2021). Les estimations de recharge sont plus incertaines dans les zones plus humides de l'Afrique de l'Ouest côtière où le nombre d'études reste limité.

The map of spatially distributed long-term (1970-2020) average (LTA) annual groundwater recharge (mm/a) was derived by applying a fitted linear mixed model with LTA rainfall as predictor, and incorporating published ground-based studies from 134 sites across Africa, which were subject to a rigorous quality assurance procedure (MacDonald et al., 2021). Recharge estimates are more uncertain in wetter areas of coastal West Africa, where there have been limited recharge studies.



Les ressources en eaux souterraines dans la région de la CEDEAO

Introduction

La Communauté économique des États de l'Afrique de l'Ouest (CEDEAO) promeut l'intégration économique et la coopération régionale dans ses quinze pays membres. Les eaux souterraines constituent une source d'eau régionale vitale pour des usages agricoles, industriels et domestiques, renforçant ainsi la prospérité économique et participant au bien-être humain.

Les eaux souterraines offrent un potentiel considérable pour soutenir le développement social et économique. Cependant, leur gestion durable présente de nombreux défis, notamment la croissance et l'urbanisation rapides de la population, le développement industriel et les changements climatiques et environnementaux.

Les informations hydrogéologiques sont essentielles pour aider les États membres de la CEDEAO à mener une gestion efficace des eaux souterraines et permettre une stratégie durable de développement de nouvelles ressources en eaux souterraines, avec des avantages socio-économiques conséquents et sur le long terme à travers l'Afrique de l'Ouest.

Cet ensemble de cartes met en lumière les données existantes sur les eaux souterraines et de l'état des connaissances général de cette ressource dans chacun des pays de la CEDEAO. Mettant à jour les connaissances apportées par les anciennes cartes hydrogéologiques régionales de l'Afrique de l'Ouest, la carte de productivité attendue des aquifères donne ainsi un aperçu régional cohérent difficilement réalisable à partir des cartes nationales individuelles. Elle propose une évaluation quantitative de la productivité des aquifères, décrivant les possibilités offertes par les eaux souterraines pour l'approvisionnement en eau à différentes échelles mais aussi les limites physiques du potentiel de développement de cette ressource.

Créées à partir de données facilement accessibles, la carte de productivité attendue des aquifères et les cartes thématiques en encart qui l'accompagnent montrent tout l'intérêt d'assimiler et d'harmoniser les informations hydrogéologiques existantes pour permettre une amélioration de la cartographie régionale des eaux souterraines à travers l'Afrique.

Productivité attendue des aquifères

La carte de productivité attendue des aquifères propose une estimation quantitative du potentiel des eaux souterraines des aquifères superficiels. Pour chaque unité hydrogéologique de la carte, l'indicateur de la productivité de l'aquifère découle de la combinaison du type d'écoulement de l'aquifère (couleurs) avec une estimation indépendante, basée sur la littérature, du débit attendu du forage (niveaux de luminosité), à condition qu'il soit correctement positionné et bien réalisé. La légende s'appuie sur le guide *Hydrogeological Maps – A Guide and a Standard Legend* (Struckmeier & Margat, 1995) développé par les groupes de travail IAH/IAHS/UNESCO.

Les données de débits des forages ont été compilées à partir d'une méta-analyse de la littérature hydrogéologique pertinente, en portant une attention particulière sur les articles faisant la synthèse d'études locales détaillées. L'ensemble des unités hydrogéologiques cartographiées a été caractérisée selon l'une des cinq classes de débits définie en fonction de la capacité de chaque unité à fournir de l'eau pour différentes utilisations. La classification des aquifères du socle a été affinée à l'aide de données de productivité régionale subdivisées par domaine structural, lithologie prédominante et épaisseur moyenne de régolithe.

Les limites entre les classes de débits (productivité attendue de l'aquifère) ne sont pas absolues, mais constituent des ordres de grandeur attendus pour des forages bien implantés et construits. Le rendement d'un forage peut néanmoins varier considérablement au-dessus ou au-dessous des plages indiquées. De plus, les aquifères des zones arides où la recharge actuelle est très faible peuvent avoir une productivité intrinsèque élevée, mais la réserve d'eaux souterraines est susceptible d'être non renouvelable.

Méthodologie cartographique

Les aquifères ont été divisés en unités hydrogéologiques, principalement basées sur des unités géologiques présentes au sein des cartes de référence suivantes :

a) la Carte hydrogéologique de l'Afrique, 1:1 000 000 (Seguin, 2016);

b) une version harmonisée des cartes hydrogéologiques nationales de l'Atlas des Eaux Souterraines d'Afrique (BGS, 2019).

Ces deux cartes ont été combinées, révisées à l'aide de cartes géologiques sous-régionales et nationales à plus grande échelle et améliorées là où une différenciation plus fine des unités hydrogéologiques était nécessaire, en s'appuyant notamment sur les sources suivantes : Niger (Greigert & Pougnet, 1966), Nigeria (Dessauvagie, 1974), Mali (Bassot et al., 1980 et Girard et al., 1998) et Ghana (Carney et al., 2010). Le travail d'harmonisation du tracé géologique et d'attribution de caractéristiques hydrogéologiques pertinentes pour les unités cartographiées est le résultat d'un compromis entre la disponibilité de la géométrie des unités géologiques et l'établissement d'une classification cohérente des attributs hydrogéologiques. Les descriptions géologiques sont regroupées en quatorze classes lithologiques généralisées qui distinguent les quatre types d'écoulements aquifères prédominants : poreux (unités géologiques non consolidées), poreux/fracturé (consolidé et partiellement consolidé), fracturé et karstique (tous deux consolidés).

Des dépôts superficiels non consolidés, pour la plupart d'âge Quaternaire, recouvrent fréquemment les aquifères du substratum rocheux. Ils sont différenciés selon leur importance hydrogéologique : par exemple, les dépôts éoliens (champs dunaires, ergs, nappes de sable) et les sédiments lacustres à dominante argileuse ne contiennent généralement pas d'eaux souterraines exploitables; tandis que les dépôts alluviaux et fluviaux peuvent contenir des ressources en eaux souterraines localement importantes.

Cartes et graphiques en encart

Carte structurale (en bas à gauche)

La carte structurale montre un contexte géologique de l'Afrique de l'Ouest reflétant l'histoire tectono-métamorphique, magmatique et sédimentaire des 3,5 milliards d'années passées. La structure en dôme et bassin est formée par les principaux domaines crustaux précambriens – le craton archéen à paléoprotérozoïque ouest-africain, la zone mobile transsaharienne et les ceintures de plis et de chevauchement de l'orogenèse panafricaine – et les grands bassins sédimentaires intracratoniques. Alors que les bassins de rift intracratoniques (Système du rift d'Afrique Centrale) et les marges sédimentaires atlantiques reflètent l'histoire méso-cénozoïque de l'Afrique de l'Ouest.

Chroniques des variations de niveaux piézométriques (encarts 1-6)

Les chroniques de suivi du niveau des eaux souterraines sur plusieurs décennies ont été compilées par le Chronicles Consortium à partir des réseaux de puits de surveillance gouvernementaux et de recherche (Cuthbert et al., 2019). En découlent les graphiques en encart qui montrent les variations du niveau de la nappe par rapport au niveau des eaux souterraines moyen à long terme sur chaque site. Les différences saisonnières et à long terme dans la réponse du niveau des eaux souterraines reflètent des interactions complexes entre climat, géologie, sol et couverture terrestre, mais la plupart des chroniques montrent des fluctuations saisonnières qui indiquent une recharge à un moment donné la plupart des années.

Groundwater resources in the ECOWAS region

Introduction

The Economic Community of West African States (ECOWAS) promotes economic integration and regional cooperation in its fifteen member countries. Groundwater is a vital regional water source for agricultural, industrial, and domestic use, underpinning economic prosperity and human well-being.

Groundwater offers considerable potential to support further social and economic development, but there are many challenges for its sustainable management, including rapidly growing and urbanising populations, industrial development, and climate and environmental change.

Hydrogeological information is essential for ECOWAS member states to undertake effective groundwater management and support the strategic, sustainable development of new groundwater resources, with consequent lasting socio-economic benefits across West Africa.

This map and inset maps capture and standardise existing groundwater data and understanding developed in the ECOWAS countries. The expected aquifer productivity map updates older regional hydrogeological maps of West Africa, to give a consistent regional overview not available from individual national maps. It provides a quantitative assessment of aquifer productivity, as a measure of groundwater potential, highlighting the suitability of aquifers for water supply at different scales and the physical limits of groundwater development potential.

Building on readily available data, the expected aquifer productivity map and the accompanying thematic inset maps show the potential for assimilating and harmonising existing hydrogeological information to improve regional groundwater mapping across Africa.

Expected aquifer productivity

The expected aquifer productivity map shows a quantitative estimate of groundwater potential of the uppermost aquifer. For each hydrogeological unit, aquifer productivity is represented by the combination of aquifer flow type (colour) and an independent, literature-based estimate of expected borehole yield (lightness) for a properly sited and constructed borehole. The legend is based on the guide *Hydrogeological Maps – A Guide and a Standard Legend* developed by IAH/IAHS/UNESCO working groups (Struckmeier & Margat, 1995).

Borehole yield data were compiled from a meta-survey of relevant hydrogeological literature, with a strong focus on review papers summarising detailed local studies. Mapped hydrogeological units were assigned to one of five yield classes, based on the ability of each unit to provide water supplies for different uses. Basement aquifer classification was refined using regional productivity data subdivided by structural domain, predominant lithology and average regolith thickness.

The boundaries between borehole yield (expected aquifer productivity) classes are not absolute, but are estimates of the expected range in yields of well sited and constructed boreholes. Individual borehole yields may vary substantially above or below the given ranges. Additionally, aquifers in arid areas where modern recharge is very low may have high intrinsic productivity, but virtually all groundwater storage is likely to be non-renewable.

Map methodology

Aquifers have been divided into hydrogeological units, primarily based on geological units as shown on two base maps:

a) the Carte hydrogéologique de l'Afrique, 1:1 000 000 (Seguin, 2016);

b) a harmonised version of the hydrogeological country maps of the Africa Groundwater Atlas (BGS, 2019).

These base maps were combined and revised using larger-scale sub-regional and national geological maps and were amended where necessary for more detailed differentiation of hydrogeological units, drawing particularly on these sources for Niger (Greigert & Pougnet, 1966), Nigeria (Dessauvagie, 1974), Mali (Bassot et al., 1980 and Girard et al., 1998) and Ghana (Carney et al., 2010). Harmonisation of geological linework and hydrogeological attribution focused on the hydrogeological relevance of the geological units, with compromise between the mapped geometry of geological units and a consistent classification of hydrogeological attributes. Geological descriptions are aggregated into fourteen generalised lithological classes that distinguish the four predominant aquifer flow types: porous (unconsolidated geological units), porous and fractured (consolidated and partly consolidated), fractured, and karst (both consolidated).

Superficial unconsolidated deposits, mostly of Quaternary age, frequently overlie bedrock aquifers. They are differentiated according to their hydrogeological significance: for example, aeolian deposits (dune fields, ergs, sand sheets) and clay-dominated lacustrine sediments generally do not contain useable groundwater; while alluvial and fluvial deposits may have locally significant groundwater resources.

Inset maps and diagrams

Structural map (bottom left)

The structural map shows the geological framework of West Africa reflecting the tectono-metamorphic, magmatic, and sedimentary history of the past c. 3.5 billion years. The basin-and-swell structure is formed by major crustal Precambrian domains – the Archean-Paleoproterozoic West African craton, the Trans-Saharan Mobile Zone, and the fold and thrust belts of the Pan-African Orogeny – and large intracratonic sedimentary basins, intracontinental rift basins (Central Africa Rift System) and the Atlantic margin basins reflecting the Meso-Cenozoic history of West Africa.

Groundwater level hydrographs (inset diagrams 1-6)

The multi-decadal groundwater level hydrographs were compiled by the Chronicles Consortium from governmental and research monitoring borehole networks (Cuthbert et al., 2019). The diagrams show groundwater level variations from the long term average groundwater level at each site. Seasonal and long-term differences in groundwater level response reflect a complex interplay of climate, geology, soil, and land cover, but most hydrographs show seasonal fluctuations that indicate recharge at some point in most years.

Disclaimer

The designations employed and the presentation of material on this map do not imply the expression of any opinion whatsoever on the part of the United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO) or any of the participating institutions concerning the legal status of any country, territory, city or area or of its authorities, or concerning the delimitation of its frontiers or boundaries.

The boundaries and names shown and the designations used on this map do not imply official endorsement or acceptance by the United Nations.

This map was derived and compiled from disparate sources of information. The participating institutions give no warranty, expressed or implied, to the quality or accuracy of the information supplied and their fit for a particular use and accept no liability whatsoever. The authors appreciate comments and suggestions for future improvements at whymap@bgr.de.

This map is released under a Creative Commons Attribution-ShareAlike Licence. CC BY-SA

Principales références / *Main references*

Carte principale / *Main map*

Bassot J-P, Diallo M, Traoré H & Méloux J (1980): République du Mali. Carte géologique. 1:1 500 000. Direction Nationale de la Géologie et des Mines (DNGM) / Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM).

British Geological Survey (2019): Africa Groundwater Atlas. Accessed: 11/2021. https://www2.bgs.ac.uk/africagroundwateratlas/index.cfm

British Geological Survey (2019): Africa Groundwater Atlas Country Hydrogeology Maps. Accessed: 11/2021. https://www2.bgs.ac.uk/africagroundwateratlas/downloadGIS.html

Carney J, Jordan C, Thomas C, Condon D, Kemp S & Duodo J (2010): Lithostratigraphy, sedimentation and evolution of the Volta Basin in Ghana. Precambrian Research, 183 (4), 701-724.

Dessauvagie T (1974): Geological Map of Nigeria. The Nigerian Mining, Geological & Metallurgical Society.

Girard P, Chevalier J, Yergeau M, Goulet N, Malo M & Lorite P (1998): République du Mali. Carte de Compilation Géologique. Direction Nationale de la Géologie et des Mines (DNGM) / Kilborn Tecsult Inc.

Greigert J & Pougnet R (1966): République du Niger. Carte Géologique. 1:2 000 000. Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM).

Milesi J-P, Feybesse J-L, Pinna P, Deschamps Y, Kampunzu HAB, Muhongo S, Lescuyer J-L & Toteu SF (2004): Géologie et principaux gisements de l'Afrique à l'échelle du 1:10 000 000 et 1:2 000 000, in Lescuyer J-L (2005): Projet Réseau SIGAfrique. Rapport final, BRGM/RP-54328-FR. Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM).

Seguin J-J (2016): Carte hydrogéologique de l'Afrique à 1:10 000 000 – Hydrogeological map of Africa at 1:10 000 000. Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM).

Struckmeier W & Margat J (1995): Hydrogeological Maps – A Guide and a Standard Legend. International Contributions to Hydrogeology, 17. Association of Hydrogeologists (IAH).

Cartes en encart / *Inset maps*

Amini M, Abbaspour K, Berg M, Winkel L, Hug S, Hoehn E, Yang H & Johnson C (2008): Statistical Modeling of Global Geogenic Arsenic Contamination in Groundwater. Environmental Science & Technology, 42 (10), 3669–3675.

Cuthbert M, Taylor R, Favreau G et al. (2019): Observed controls on resilience of groundwater to climate variability in sub-Saharan Africa. Nature, 572 (7768), 230–234.

MacDonald A, Lark R, Taylor R, Abiye T, Fallas H, Favreau G, Goni I, Kebede S, Scanlon B, Sorensen J, Tijani M, Upton K & West C (2021): Mapping groundwater recharge in Africa from ground observations and implications for water security. Environmental Research Letters, 16 (3), 034012.

Milési J-P, Frizon de Lamotte D, De Kock G & Toteu SF (2010): Carte tectonique de l'Afrique – Tectonic map of Africa. 1:10 000 000. Commission de la carte géologique du monde (CCGM).

Podgorski J & Berg M (2020): Global threat of arsenic in groundwater. Science, 368 (6493), 845-850.

Spengler A, Castelain J, Gauvin J & Leroy M (1966): Le bassin secondaire-tertiaire du Sénégal. In Reyre D (ed.), Bassins sédimentaires du littoral africain. Sedimentary basins of the African coasts. Association des services géologiques africains (ASGA), 80–94.

Thiéblemont D, Liégeois J-P, Fernandez-Alonso M, Ouabadi A, Le Gall B, Maury R, Jalludin M, Vidal M, Ouattara Gbéle C, Tchaméni R, Michard A, Nehlig P, Rossi P & Chêne F (2016): Carte Géologique de l'Afrique – Geological Map of Africa. 1:10 000 000. Commission de la carte géologique du monde (CCGM) & Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM).

Fond topographique / *Topographic data*

Administration: Global Administrative Areas (2021): GADM database of Global Administrative Areas, version 3.6. www.gadm.org, modified in accordance to the United Nations Clear Map (2018).

Réseau hydrographique / *River network:* FAO (2014): Major rivers of the world. HydroSHEDS based stream network. https://data.apps.fao.org/aquamaps/, modified.

Masses d'eau de surface / *Surface water areas:* Messager M, Lehner B, Grill G, Nedeva I, Schmitt O. (2016): Estimating the volume and age of water stored in global lakes using a geo-statistical approach. Nature Communications 7, 13603. www.hydrosheds.org, modified.

Projection: Plate carrée / Plane chart (Projection géographique / Geographic projection), Sphéroïd / Datum: WGS 84, EPSG 32662

Impression / *Imprint*

Carte réalisée par / *Map prepared by:* Heckmann M, Brugeron A, Lewis M

Conseil scientifique / *Scientific board:* Broda S, Gutierrez A, MacDonald A, Callec Y, Ó Dochartaigh B, Podgorski J, Upton K, Zaepke M

Cartographie / *Cartography:* Krombholz M, Clos P

Avec la contribution des experts régionaux suivants / *With the contribution of the following regional experts*

Alle C (Bénin), Bazoun J (CGRE-CEDEAO), Bojang L (The Gambia), Gnazou M (Togo), Godau T (Bénin), Kebede S (IAH), Konaté M (Niger), Kouadiou E (Côte d'Ivoire), Guero A (NBA), Issaka A (Niger), Macdonald D (BGS), Ouedraogo I (Burkina Faso), Oularé S (Côte d'Ivoire), Sanoussi R (Niger)

Citation recommandée / *Recommended citation*

BGR, BGS, BRGM, EAWAG & UNESCO (2022): Ressources en eaux souterraines dans la région de la CEDEAO – Groundwater resources in the ECOWAS region. 1:5 000 000. DOI: 10.25928/GWR-ECOWAS.1

Rapport technique / *Technical report*

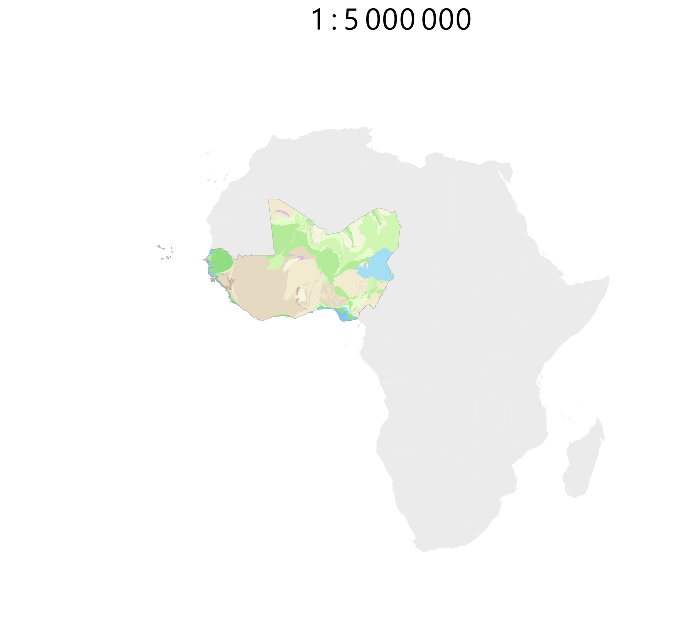
Heckmann M, Brugeron A & Lewis M (2022): Ressources en eaux souterraines dans la région de la CEDEAO. Rapport technique – Groundwater resources in the ECOWAS region. Technical report. BGR, BGS, BRGM, EAWAG & UNESCO.

Project consortium

This initiative was under the auspices of the African Ministers' Council on Water (AMCOW) Pan-African Groundwater Program, the Economic Community of West African States (ECOWAS) Water Resources Coordination Centre (WRCC), and the Niger Basin Authority (NBA).

The map was developed by a consortium comprising the Federal Institute for Geosciences and Natural Resources (BGR), British Geological Survey (BGS), Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM), Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag), the International Groundwater Resources Assessment Centre (IGRAC) as a contribution to the World-wide Hydrogeological Mapping and Assessment Programme (WHYMAP) of the UNESCO Intergovernmental Hydrological Programme (IHP).

Ressources en eaux souterraines dans la région de la CEDEAO

Groundwater resources in the ECOWAS region

1:5 000 000