

## **Quantification de la Réserve Régulatrice d'une Nappe Alluviale dans un Contexte d'Irrigation : Cas de la Vallée de Boghol dans le Massif de l'Aïr (Niger)**

***Maman Bachar Ibrahima Oumarou***

Université Djibo Hamani de Tahoua, Faculté des Sciences Agronomiques,  
Département de Productions Végétales et de l'Irrigation, Tahoua, Niger

***Mahaman Moustapha Adamou***

***Souley Tchagam Tchagam Agi***

Université Abdou Moumouni, Faculté d'Agronomie,  
Département de Génie Rural, Eaux et Forêts, Niamey, Niger

[Doi:10.19044/esj.2024.v20n21p71](https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n21p71)

---

Submitted: 25 April 2024

Accepted: 08 July 2024

Published: 31 July 2024

Copyright 2024 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

*Cite As:*

Ibrahima Oumarou M.B., Adamou M.M. & Tchagam Agi S.T. (2024). *Quantification de la Réserve Régulatrice d'une Nappe Alluviale dans un Contexte d'Irrigation : Cas de la Vallée de Boghol dans le Massif de l'Aïr (Niger)*. European Scientific Journal, ESJ, 20 (21), 71. <https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n21p71>

---

### **Résumé**

La vallée de Boghol est l'un des principaux bassins de production agricole du massif de l'Aïr. L'agriculture est exclusivement pratiquée sous forme irriguée avec les eaux souterraines. Ces dernières sont renouvelées grâce aux écoulements issus des pluies. Dans cette vallée l'irrigation connaît des difficultés dues à l'insuffisance voire manque d'eau dans l'aquifère en compromettant le rendement. L'objectif de ce travail est d'évaluer quantitativement la réserve régulatrice de la nappe afin de garantir la durabilité de l'irrigation. L'approche méthodologique a consisté d'abord à subdiviser le bassin versant de Boghol en sous bassins correspondants aux réservoirs. Ensuite, un suivi piézométrique a permis d'appliquer la méthode « water table fluctuations » ou méthode de fluctuation des niveaux pour le calcul de la charge hydraulique. En fin, les caractéristiques géométriques de l'aquifère ont été déterminées en utilisant des images satellitaires Google earth interprétées sur ArcGIS 10.3. L'étude montre que les valeurs de la charge hydraulique dans les sous bassins amont, central et aval sont respectivement de 4,98 m ; 6,45 m ; et 6,1 m. La plaine a comme dimensions : longueur de 19,81 km ; largeur

comprise entre 0,45 et 0,95 km ; surface, 14,37 km<sup>2</sup>. L'importance de la réserve régulatrice se dresse suivant l'ordre croissant : sous bassin amont, sous bassin aval et sous bassin central. Le volume d'alluvions saturées est estimé à 9 000 559,4 m<sup>3</sup> dont 8 % correspondent à la réserve régulatrice totale qui est tributaire de la pluviométrie. Cependant, elle est impactée par l'irrigation faisant d'elle une réserve fragile. Ce résultat constitue un outil permettant de mieux prévoir les superficies et les cultures à irriguer.

---

**Mots-clés:** Nappe alluviale, Irrigation, Recharge, Méthode de fluctuation des niveaux, Aïr

---

## **Quantification of the Regulatory Reserve of an Alluvial Aquifer in an Irrigation Context: Case of the Boghol Valley in the Aïr Massif (Niger)**

*Maman Bachar Ibrahima Oumarou*

Université Djibo Hamani de Tahoua, Faculté des Sciences Agronomiques,  
Département de Productions Végétales et de l'Irrigation, Tahoua, Niger

*Mahaman Moustapha Adamou*

*Souley Tchagam Tchagam Agi*

Université Abdou Moumouni, Faculté d'Agronomie,  
Département de Génie Rural, Eaux et Forêts, Niamey, Niger

---

### **Abstract**

The Boghol valley is one of the main agricultural production basins of the Aïr massif. Agriculture is practiced exclusively in irrigated form with groundwater. The latter are renewed thanks to flows from the rains. In this valley irrigation is experiencing difficulties due to insufficient or lack of water in the aquifer by compromising yield. The objective of this work is to quantitatively evaluate the regulatory reserve of the water table in order to guarantee the sustainability of irrigation. The methodological approach consisted first of subdividing the Boghol watershed into sub-basins corresponding to the reservoirs. Then, a piezometric follow-up made it possible to apply the method «water table fluctuations» or method of fluctuation of the levels for the calculation of the hydraulic load. Finally, the geometric characteristics of the aquifer were determined using Google earth satellite images interpreted on ArcGIS 10.3. The study shows that the values of the hydraulic load in the upstream, central and downstream subbasins are 4.98 m; 6.45 m; and 6.1 m respectively. The plain has as dimensions: length of 19.81 km; width between 0.45 and 0.95 km; surface, 14.37 km<sup>2</sup>. The

importance of the regulatory reserve rises in increasing order: upstream, downstream and central basin. The volume of saturated alluvium is estimated at 9 000 559.4 m<sup>3</sup> of which 8 % corresponds to the total regulatory reserve which is dependent on rainfall. However, it is impacted by irrigation making it a fragile reserve. This result is a tool to better predict the areas and crops to be irrigated.

---

**Keywords:** Alluvial aquifer, Irrigation, Recharge, Water table fluctuations, Aïr

## 1. Introduction

Le changement climatique est une réalité dont les effets se manifestent sous diverses formes (Gameren et *al.*, 2014 ; Parker, 2015). Avec ce phénomène on observe au sahel, une tendance à la baisse de la pluviométrie malgré quelques évènements extrêmes ayant entraîné des inondations certaines années (Benoit et Mandéla, 2015). En effet, entre la fin des années 1960 et celle des années 1990, cette région a connu de profonds changements caractérisés par une baisse considérable de la pluviométrie (Dieng, 2017). En raison des variabilités pluviométriques le régime des écoulements dans les cours d'eau est considérablement réduit (Eric *et al.*, 1997 ; Sarr et Houngnibo, 2016). Cette situation a fait augmenter la pression sur les ressources en eau de surface partout dans le monde avec des conséquences quantitatives et qualitatives (Mangoua et *al.*, 2019). Face à celles-ci, l'exploitation des ressources en eaux souterraines a rapidement augmenté pour répondre aux besoins domestiques, industriels et agricoles (Hachaichi, 2017). Toutefois, ce changement de dynamique ne restera pas sans effets sur la ressource trouvée comme alternative. Dans les vallées de l'Aïr notamment celle Boghol, la particularité est que les eaux souterraines sont les seules ressources pour l'irrigation. De ce fait, la pression reste plus importante par rapport aux zones qui disposent des eaux de surface. En plus, les superficies mises en valeur avec l'irrigation deviennent de plus en plus importantes en utilisant des techniques traditionnelles consommatrices d'eau. Ce qui entrainera une augmentation de volume d'eau prélevé dans la nappe malgré les aléas pluviométriques. La conjugaison des effets du changement climatique et des prélèvements importants de la nappe n'est pas sans conséquences sur le renouvellement des quantités prélevées. Elle entraine la baisse du niveau de la nappe et nécessite l'évaluation de son renouvellement annuel et de sa variabilité interannuelle qui correspond à la recharge (Christophe et *al.*, 1990 ; Hachaichi, 2017 ; Geneviève, 2019). Cette dernière est définie dans un sens général comme la quantité d'eau circulant verticalement à travers la zone non-saturée et qui atteint la nappe (Rivard et *al.*, 2003). Elle est l'un des termes du bilan hydrique les plus difficiles à évaluer et est peu connue en hydrogéologie car elle est

fonction de plusieurs facteurs (David, 2008 ; Hassane, 2010). Malgré cette difficulté, l'évaluation de la recharge et de la réserve régulatrice d'un aquifère est d'une importance capitale. Elle permet à l'échelle d'un aquifère, d'estimer le renouvellement de la ressource en eau (Scanlon et *al.*, 2002). Ainsi, la connaissance de la recharge permettra de définir une limite d'exploitation et garantir la pérennité des ressources en eau, par-delà la saison sèche, ou mieux, une série d'années à précipitations déficitaires (Christophe et *al.*, 1990). D'où la nécessité de conduire la présente étude qui permettra d'exploiter durablement les ressources en eau souterraine en planifiant l'irrigation dans la vallée de Boghol en particulier et celles de l'Air en général.

## **2. Méthodologie**

### **2.1. Présentation de la zone d'étude**

#### **2.1.1. Localisation et climat**

Le massif cristallin de l'Air appartient à l'immense ensemble montagneux du Hoggar ou Ahaggar (Claude, 1971). Il est situé dans la partie nord du Niger avec la forme d'un quadrilatère compris entre les parallèles 17° et 21° Nord et les méridiens 7° et 10° Est. Sa superficie est estimée à 70 000 km<sup>2</sup> (Lefèvre, 1960). La vallée de Boghol qui appartient à ce vaste ensemble est située dans la partie sud de la commune rurale de Dabaga. Elle est comprise entre 8°6' et 8°17' de longitudes Est et 17°4' et 17°20' de latitudes Nord (**Figure 1**). Avec une forme allongée, le bassin versant a une superficie estimée à 169,11 km<sup>2</sup>. Le climat est caractérisé par une très grande aridité avec un très faible niveau pluviométrique. En effet, il s'ensuit chaque année sur l'Air, au moment de l'hivernage, des précipitations dont le caractère toujours orageux, la répartition très inégale et les quantités aléatoires signent bien l'appartenance du massif au milieu subdésertique (Gallaire, 1995). Dans la vallée de Boghol, le régime pluviométrique est aléatoire et varie considérablement selon l'année de 24,2 à 225,10 mm/an (DRGR/Agadez, 2016). Deux (2) saisons caractérisent le climat à Boghol : une longue saison sèche de neuf (9) mois (octobre-juin) et une courte saison pluvieuse de trois (3) mois (juillet-septembre). Pendant la saison pluvieuse et la saison fraîche, des dépressions atmosphériques provoquent des vents très violents (CR/Dabaga, 2015).

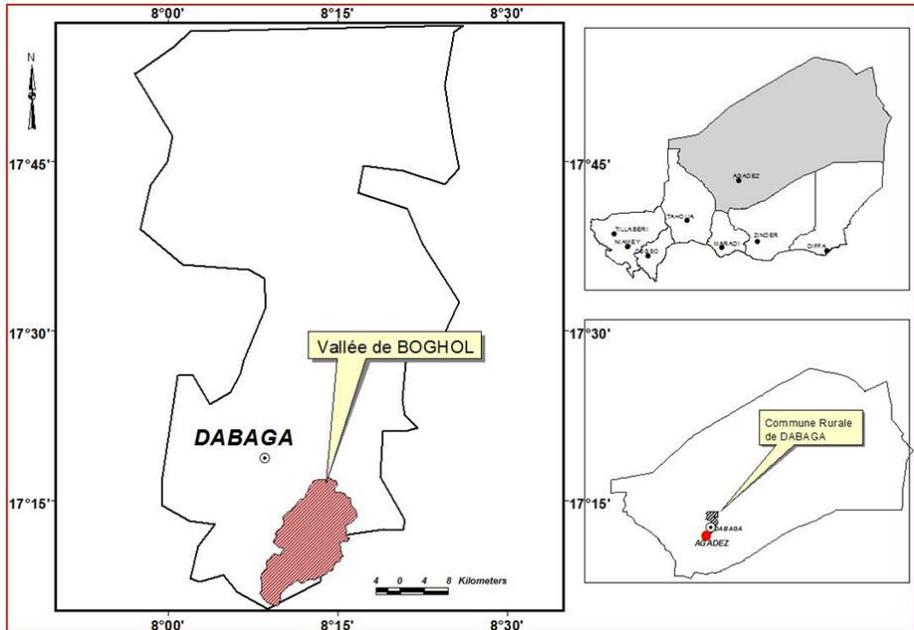


Figure 1 : Localisation de la zone d'étude

### 2.1.2. Cadre géomorphologique

Les bassins versants dans les vallées de l'Aïr sont assez semblables puisqu'ils ont tous une pente d'orientation Est-Ouest. Cette pente conditionne le réseau hydrographique (Giazzi, 1990). L'ossature de ce massif est formée de roches cristallophylliennes et d'intrusions de vieux granites. Les granites jeunes, les structures annulaires qui leur sont liées et les roches volcaniques acides ou basiques ont eu une mise en place plus tardive. Ils ont contribué à rajeunir un relief mûr (Claude, 1971). A Boghol, on distingue quatre (4) types de relief (PromAP, 2018) à savoir : les sommets des plateaux qui constituent l'unité dominante avec 80 % de la superficie du bassin versant ; les hauts-glacis qui jonchent les plateaux représentent 2 % du bassin versant ; les bas-glacis qui occupent une superficie de 5 % ; les bas-fonds qui constituent la partie la plus basse du bassin versant font 12 % de celui-ci. La **Figure 2** présente les unités physiographiques de cette vallée.

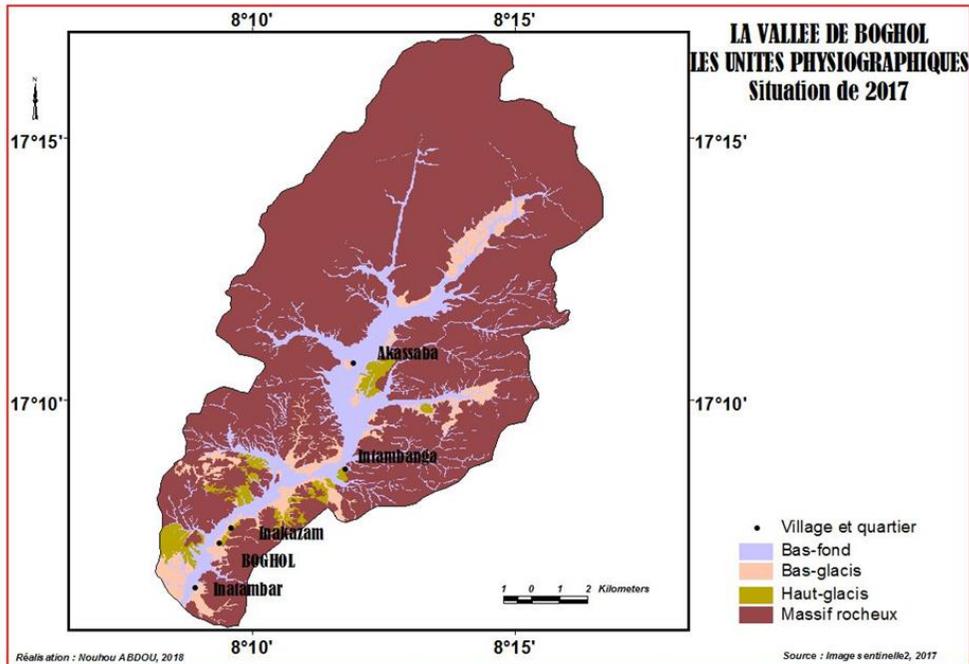


Figure 2: Géomorphologie du bassin versant de la vallée de Boghol

### 2.1.3. Cadre géologique et hydrogéologique

Le contexte géologique de l’Aïr comprend selon les travaux de Raulais (1959), Black (1967), Moreau (1982) et Illias (2018) quatre (4) grandes unités (**Figure 3**) qui sont du bas en haut : le socle, les complexes subvolcaniques, le volcanisme récent et les formations sédimentaires. Sur le plan hydrogéologique on note la coexistence de deux (2) réservoirs dans le massif de l’Aïr. Ils correspondent au socle et aux formations argilo-sableuses des alluvions des Koris (Joseph, 1992). Selon Illias (2018), les différents aquifères identifiés du bas en haut sont : les aquifères discontinus du socle, les aquifères des altérites et les aquifères des alluvions. Ces derniers constituent les réservoirs exploités dans la vallée de Boghol et sont renouvelés grâce aux pluies qui génèrent des écoulements à travers le réseau hydrographique.

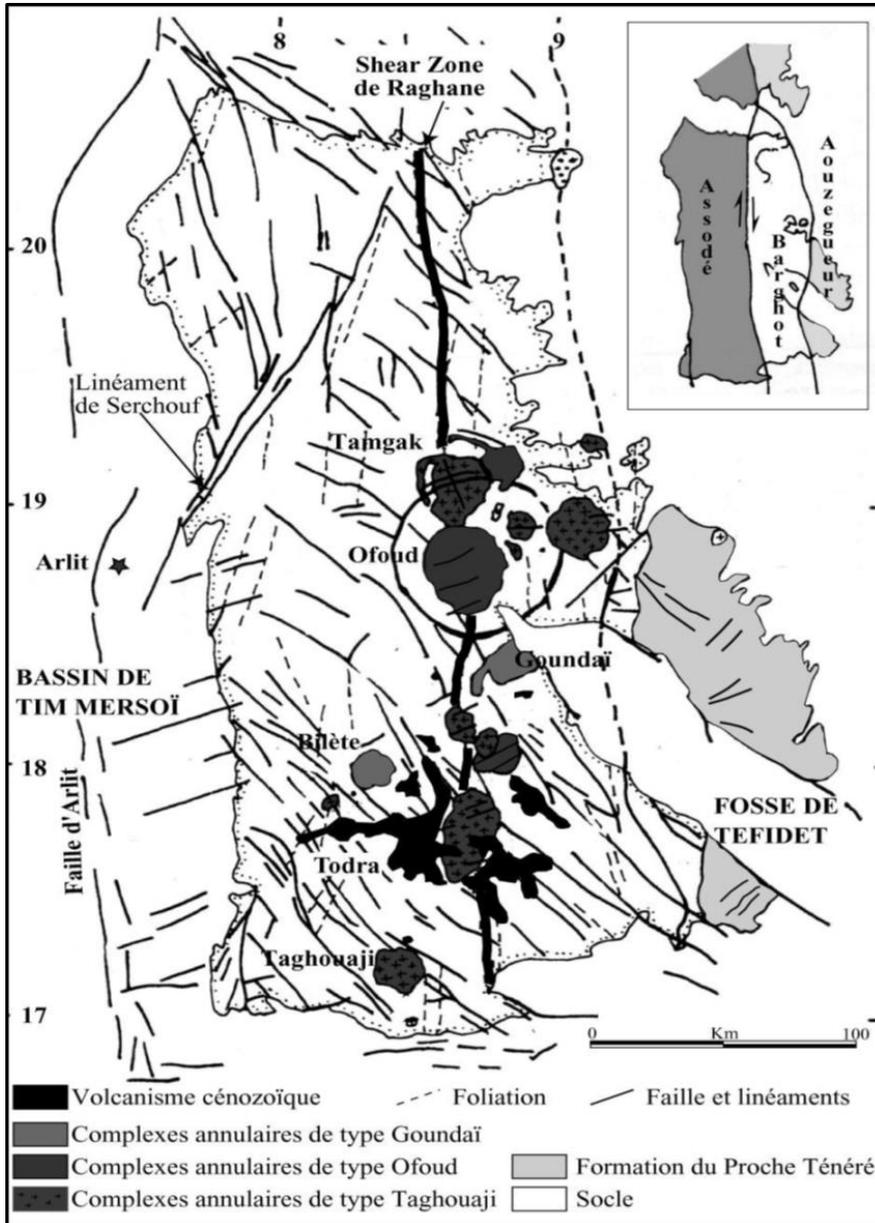


Figure 3: Carte géologique de l'Air (Liégeois et *al.*, 1994 ; Moreau, 1982)

## 2.2. Choix de la méthode de calcul de la recharge

Il existe plusieurs méthodes pour calculer la recharge naturelle de la nappe. Certaines se basent sur l'interprétation des profils géochimiques et isotopiques de l'eau du sol (Abdoul et *al.*, 1993 ; Chantry, 2003). D'autres sont basées sur la fluctuation du niveau piézométrique, le bilan hydrologique, la séparation d'hydrogramme, la Loi de Darcy, la méthode RORA, le modèle bilan hydrologique, la modélisation numérique, etc. (Christophe et *al.*, 1990 ;

Huet, 2015). Les méthodes les plus couramment utilisées peuvent être classées en trois (3) catégories (Seguin, 2016 ; Besbes, 2006 ; Viguier, 2016), qui partent :

- d'un bilan des flux pour aboutir à la pluie efficace ;
- de l'analyse de l'hydrogramme d'un cours d'eau ;
- de l'analyse des fluctuations d'une chronique piézométrique.

Le choix d'une méthode repose sur les objectifs fixés et la disponibilité des données. Dans le cadre de la présente étude, le choix a été porté sur la méthode basée sur la fluctuation de niveau piézométrique (Water Table Fluctuation : WTF). Elle est simple d'utilisation et fait appel à un nombre limité de paramètres (Hajhouji, 2018). C'est aussi une méthode qui est appliquée aux aquifères peu profonds (Seguin, 2016), correspondant au type de la nappe alluviale de la vallée de Boghol.

### 2.3. Principe de la méthode "Water table fluctuations"

Il repose sur la relation entre la recharge et la variation du niveau de la nappe libre sur un intervalle de temps  $\Delta t$  (Seguin, 2016). Cette méthode suppose que les variations du niveau piézométrique sont provoquées essentiellement par la lame d'eau qui parvient à la surface libre de la nappe, et que toutes les autres composantes sont négligeables (Ferront, 2017). Elle consiste à faire la somme des élévations du niveau de la nappe pendant une année et à la multiplier par le coefficient d'emmagasinement ( $S_y$ ) de l'aquifère (Delin et al., 2007). Ce coefficient est la principale caractéristique pour déterminer le volume d'eau stocké dans un aquifère libre (Hajhouji, 2018). En nappe libre, le coefficient est assimilé à la porosité efficace et sa signification est indépendante du temps (SIGES, 2021). La recharge est donnée par la relation 1.

$$R = \frac{S_y * \Delta H}{\Delta t} \quad (1)$$

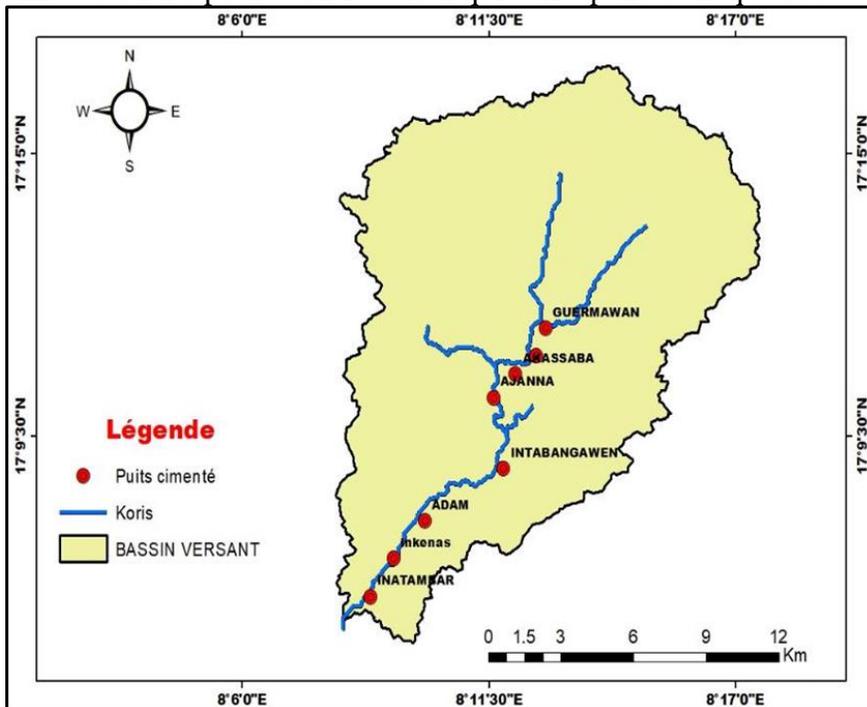
Où :

- R : Recharge (m)
- $S_y$  : Coefficient d'emmagasinement (%)
- $\Delta H$  : Charge hydraulique (m)
- $\Delta t$  : Durée (mois)

### 2.4. Suivi piézométrique et calcul de la charge hydraulique

Il a d'abord été procédé à l'identification de huit (8) puits pour constituer le réseau de suivi de la nappe dans la vallée (*Figure 4*). Celui-ci a été fait mensuellement de Juin 2019 à Décembre 2021 en utilisant la sonde manuelle. Les critères de choix des ouvrages sont essentiellement : la

représentativité, l'accessibilité, la productivité, la sécurité et la caractérisation du régime de la nappe. Après obtention des données piézométriques, la charge hydraulique au niveau de chaque puits a été calculée par la méthode graphique (**Figure 5**). Elle consiste en une extrapolation manuelle de la récession antécédente à la base du niveau piézométrique optimal (Delin *et al.*, 2007). Après obtention de la charge hydraulique au niveau de chaque puits, une moyenne a été faite pour avoir la valeur qui correspond à chaque sous bassin.



**Figure 4 :** Répartition des puits suivis dans le Bassin versant de Boghol

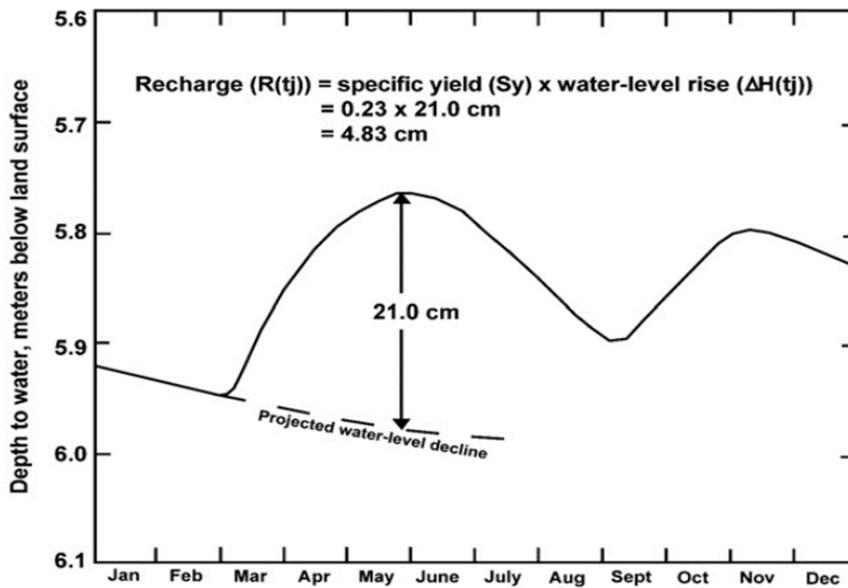


Figure 5 : Méthode graphique de détermination de la charge hydraulique (Delin *et al.*, 2007)

## 2.5. Détermination de la géométrie du réservoir

Dans l'Aïr, le fond rocheux sous les alluvions a généralement un profil circulaire (Armand, 1987). Ces formations alluvionnaires représentent le réservoir qui a une forme semi-circulaire dont la longueur correspond à la longueur du koris et le diamètre représenté par la largeur de la plaine. La surface du réservoir correspond à celle de la plaine. La **Figure 6** montre une coupe longitudinale et transversale type des alluvions de l'Aïr.

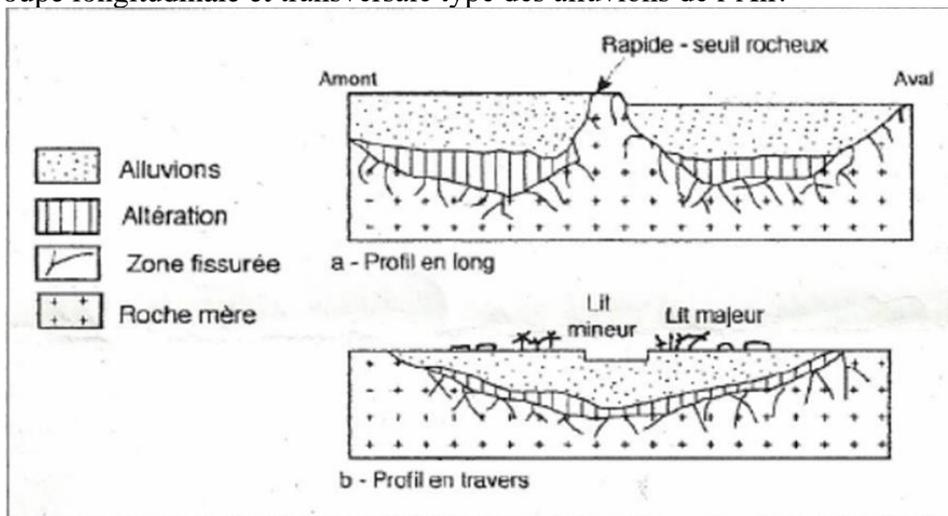


Figure 6 : Profils types longitudinal (a) et transversal (b) du fond rocheux sous alluvions d'une vallée de l'Aïr (Giazzi, 1990)

## 2.6. Calcul des dimensions de la plaine

Les alluvions dans les vallées de l’Air se présentent sous la forme de réservoirs alluviaux successifs séparés par des seuils naturels plus ou moins étroits et se déversant les uns dans les autres (Armand, 1987). La vallée de Boghol a été subdivisée en trois (3) sous bassins qui correspondent chacun à un réservoir. Au niveau de chaque sous bassin, la surface de la plaine et la longueur du koris ont été déterminées grâce aux images satellitaires Google earth interprétées sur ArcGIS 10.3. La largeur moyenne de la plaine quant à elle est égale au rapport surface de la plaine sur sa longueur.

## 2.7. Estimation des volumes d’alluvions saturées

Plusieurs auteurs ont calculé le volume d’un aquifère par la relation « surface de la plaine - épaisseur de l’aquifère » (Castany, 1962 ; Hountondji, 2019). Dans le contexte actuel, la hauteur de l’aquifère concerne la zone de battement de la nappe entre la saison sèche et la saison humide. Elle correspond à la charge hydraulique obtenue par la méthode graphique. Le volume d’alluvions saturées ont été déterminés en utilisant les équations 2 et 3 qui donnent le volume d’un cylindre couché rempli partiellement (type réservoir de l’Air). Cette formule a été introduite dans Excel où les paramètres (longueur, largeur, surface de la plaine et l’épaisseur) sont insérés pour avoir automatiquement le volume. Ainsi, pour chaque période, les volumes sont obtenus en utilisant les épaisseurs correspondantes.

$$V = vR^2 \times L \quad (2)$$

Avec :

- V : Volume du réservoir (m<sup>3</sup>)
- R : Rayon du réservoir (demi-largeur de la plaine) (m)
- L : Longueur du réservoir (m)
- v : Coefficient qui caractérise les sections du cylindre couché semi circulaire (variant de 0 à  $\pi$ ). Il est déterminé à partir de la formule (3).

$$v = 2 \int_0^h \sqrt{1 - (1 - x)^2} dx = \text{Arc sin}(h - 1) + \pi/2 + (h - 1) \sqrt{h(2 - h)} \quad (3)$$

Ces expressions ont été reproduites sur le tableur Excel dont l’interface est présentée par le **Tableau 1** avec :

- H : Epaisseur de l’aquifère (m)
- h/2 : correspond au rapport H/D (%)
- D : Diamètre de la plaine (m)

**Tableau 1 : Interface d'Excel pour la détermination du volume de l'aquifère saturé**

A	B	C	D	E	F	G	H	I
h/2	H	v	V					
0,05	47,5	0,059	105337760,3	L =	7950	Modifier la longueur de la cuve case F2		
0,1	95	0,164	293275004,5	D =	950	Modifier le diamètre de la cuve case F3		
0,15	142,5	0,295	530041810,2	R =	475			
0,2	190	0,447	802321819,3	R <sup>2</sup> * L =	1793718750			
0,03	950	0,027	49259186,1					Introduire une valeur particulière de H case B6

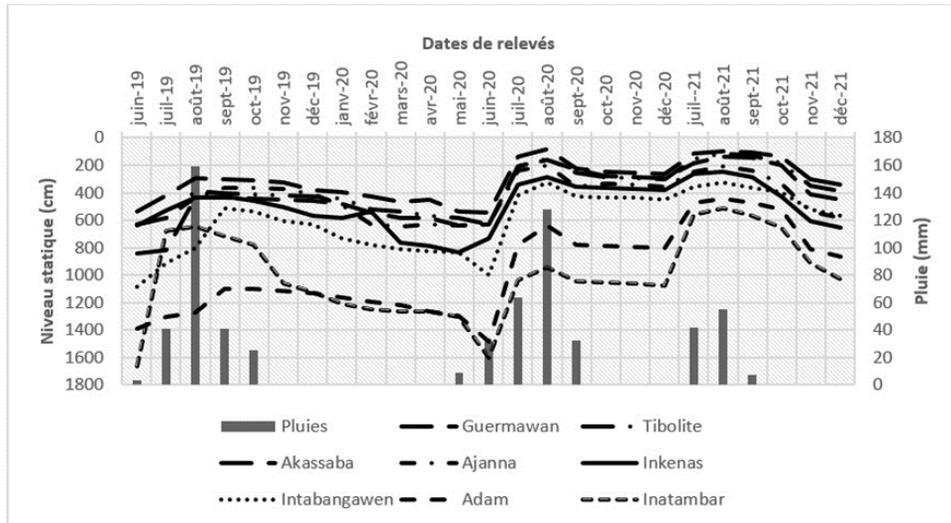
## 2.8. Calcul de la réserve régulatrice totale

Avec la connaissance des caractéristiques géométriques de l'aquifère, la zone de battement de la nappe a permis de calculer la recharge totale dans la vallée. Ainsi, la valeur de volume d'alluvions saturées obtenue a été multipliée par le coefficient d'emménagement correspondant à la porosité efficace dans le cas des nappes libre pour obtenir le volume de la réserve régulatrice issue de la recharge. Dans le cadre de cette étude il a été utilisé la porosité efficace trouvée par Armand (1987) dans les vallées de l'Air dont la valeur est de 8 %.

## 3. Résultats

### 3.1. Fluctuation de la nappe

Les résultats de suivi piézométrique de la nappe (*Figure 7*) montrent que sur toute la période de suivi, toutes les courbes présentent la même tendance de fluctuation piézométrique. En effet, pendant la saison pluvieuse (de juillet à septembre), une croissance du niveau de la nappe est notée dans tous les puits suivis. Après la saison des pluies (octobre à juin), une tendance à la baisse du niveau piézométrique est observée sur tous les points d'observation. Cette baisse s'accroît entre les mois d'avril et juin. Par ailleurs, le graphique de fluctuation des niveaux piézométriques montre trois (3) catégories d'évolution des courbes qui évoluent avec affinité. Cette évolution s'observe en fonction de l'emplacement de l'ouvrage dans le bassin versant. D'où les puits Adam et Inatambar situés dans le même sous bassin (aval) ont globalement la même fluctuation piézométrique. Les puits Intabangawen et Inkenas se trouvant dans le sous bassin central évoluent ensemble. Quant aux puits Ajanna, Akassaba, Tibolite et Guermawan qui sont dans le sous bassin amont, ont la même évolution.

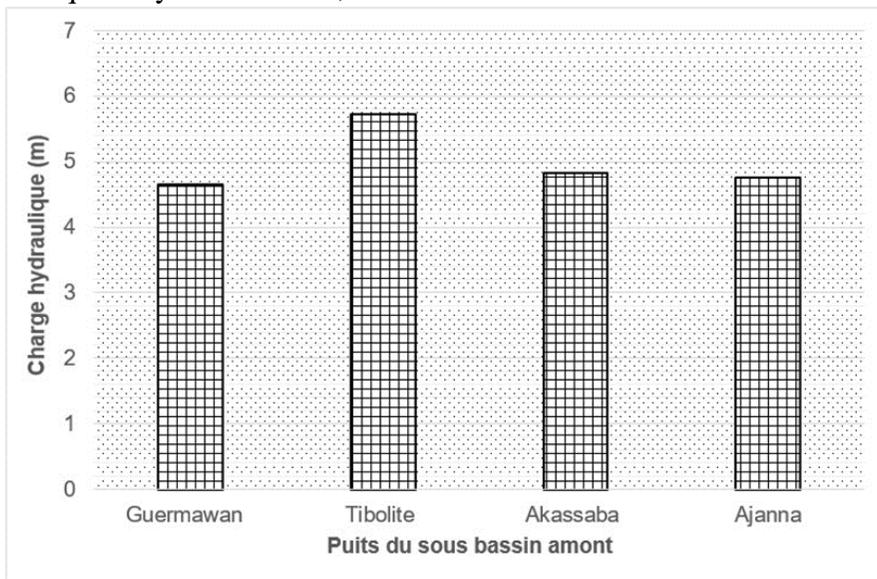


**Figure 7 :** Fluctuation de la nappe alluviale sous influence de la pluviométrie et de l'irrigation (Juin 2019-Décembre 2021)

### 3.2. Charge hydraulique

#### ✚ Dans le sous bassin amont

Les valeurs de charge hydraulique de la nappe calculée pour les quatre (4) puits du sous bassin amont sont présentées à la **Figure 8**. Ces valeurs pour les puits Guermawan, Akassaba et Ajanna sont relativement proches avec respectivement 4,65 m, 4,82 m et 4,75 m. Celle obtenue pour le puits Tibolite se démarque avec une valeur de 5,72 m. Dans ce sous bassin, la charge hydraulique moyenne est de 4,98 m.



**Figure 8 :** Charge hydraulique dans le sous bassin amont

### ✚ Dans le sous bassin central

Dans ce sous bassin, la charge hydraulique est de 6,95 m et 5,95 m respectivement pour les puits Inkenas et Intabangawen (*Figure 9*). On remarque une différence de charge hydraulique d'environ 1 m entre les deux (2) ouvrages, avec une moyenne de 6,45 m.

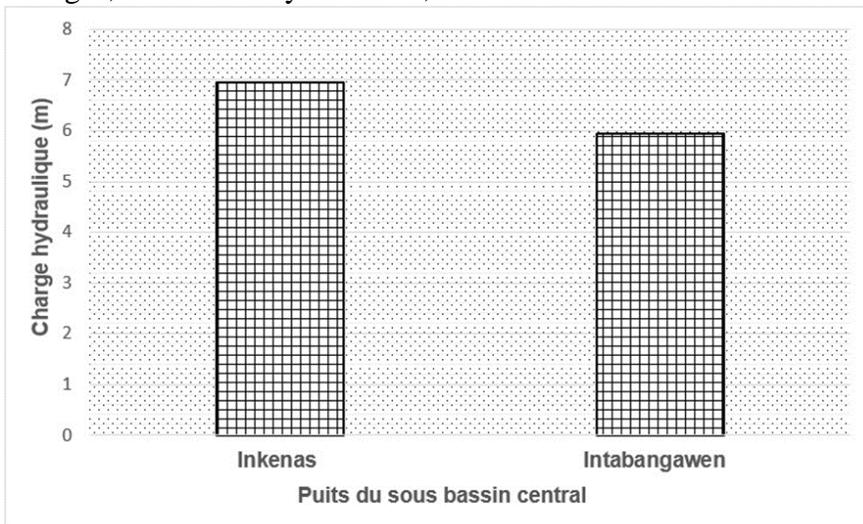


Figure 9 : Charge hydraulique dans le sous bassin central

### ✚ Dans le sous bassin aval

La *Figure 10* présente les résultats du calcul de la charge hydraulique aux puits Adam et Inatambar. On constate une différence de 0,2 m avec 6,0 m pour le puits Adam et 6,2 m pour le puits Intabangawen. Ce sous bassin a une valeur moyenne de charge hydraulique de 6,1 m.

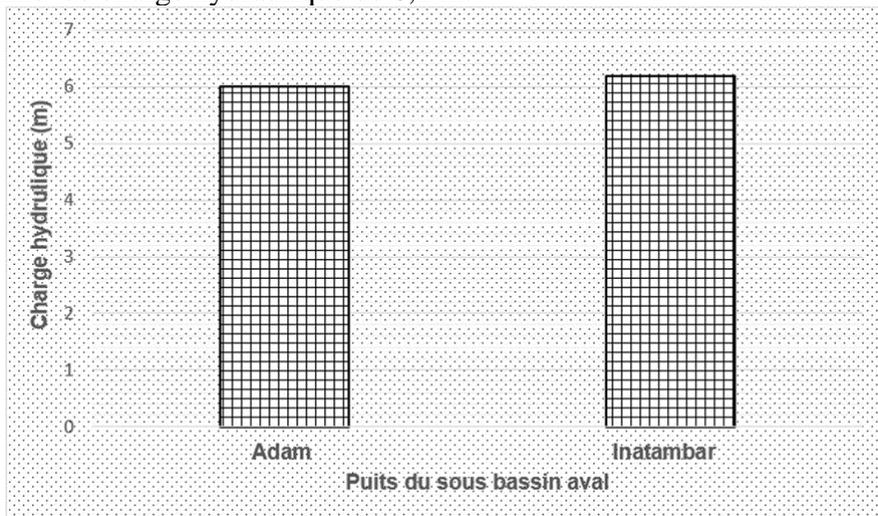


Figure 10 : Charge hydraulique dans le sous bassin aval

### 3.3. Dimensions de la plaine

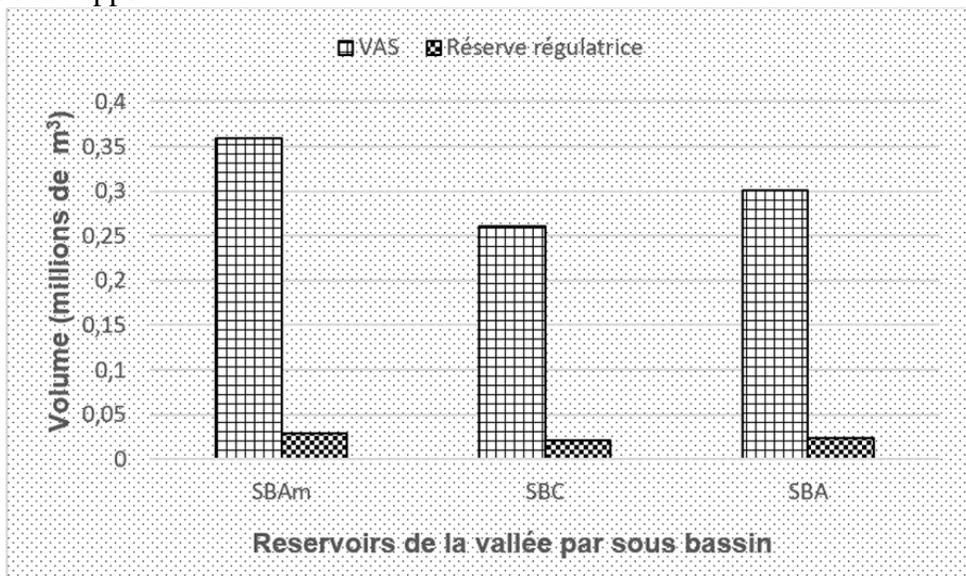
Les dimensions de la plaine de la vallée de Boghol varient d'un sous bassin à un autre (*Tableau 2*). La superficie totale de la plaine est estimée à 14,48 km<sup>2</sup> avec une longueur de 19,81 km. La largeur est de 0,95 km, 0,79 km et 0,45 km respectivement pour les sous bassins amont (SBAm), central (SBC) et aval (SBA).

**Tableau 2 :** Dimensions de la plaine

	<b>SBAm</b>	<b>SBC</b>	<b>SBA</b>	<b>Total</b>
Surface de la plaine (km <sup>2</sup> )	7,57	3,40	3,40	14,37
Longueur de la plaine (km)	7,97	4,31	7,53	19,81
Largeur moyenne de la plaine (km)	0,95	0,79	0,45	-

### 3.4. Recharge et réserve régulatrices totales

La recharge obtenue dans les différents sous bassins se présente comme suit : SBAm : 398,4 mm, SBC : 516 mm et SBA : 488 mm. A l'échelle de la vallée, la recharge moyenne est estimée à 467,46 mm. La *Figure 11* présente le volume d'alluvions saturées (VAS) et celui de la réserve régulatrice dans les trois (3) sous bassins. L'analyse des résultats montre que les deux volumes se présentent dans l'ordre suivant : Vol SBAm > Vol SBA > Vol SBC. Le volume total d'alluvions saturées (VAS) est de 9 000 559,4 m<sup>3</sup> avec un volume exploitable de 736 044,74 m<sup>3</sup> correspondant à la réserve régulatrice de la nappe.



**Figure 11 :** Volume d'alluvions saturées et celui de la réserve régulatrice

## **4. Discussion**

### **4.1. Fluctuation de la nappe et charge hydraulique**

L'uniformité de la fluctuation des courbes et la quasi-égalité des valeurs de charge hydraulique obtenues dans les SBAm et SBA, montrent que les ouvrages suivis captent le même réservoir. Par contre la différence constatée au puits Tibolite se justifie par sa position par rapport au koris principal qui concentre les écoulements. Aussi avec la forme du réservoir qui est semi circulaire (Armand, 1987), l'effet de la décharge sera plus ressenti vers les extrémités de la plaine car l'écoulement se fait des plateaux vers le centre de la vallée qui représente la zone des dépressions. La différence constatée à Intabangawen s'explique par la position de cet ouvrage dans une zone de confluence qui déverse vers le point Inkenas en période de basses eaux. L'observation du rehaussement de la nappe autrement dit la charge hydraulique est liée à la pluviométrie qui entraîne les écoulements rechargeant indirectement la nappe. En effet sur les trois (3) années, le niveau de la nappe ne croit qu'en saison pluvieuse. Cette augmentation s'est produite à la faveur des concentrations du ruissellement dans le lit des cours d'eau grâce aux pluies. (Besbes, 2006 ; Hajhouji, 2018). En saison sèche, la baisse du niveau la nappe s'explique par les prélèvements importants à des fins d'irrigation (Gouaidia, 2008 ; El Amani et al, 2024).

### **4.2. Recharge et réserve régulatrice**

La densité du réseau hydrographique et la faible perméabilité de plus de 80 % de la superficie du bassin versant (PromAP, 2018), permettent à celui-ci de générer des écoulements importants même si les pluies sont faibles. Cette caractéristique du bassin versant a fortement influencé le taux de la recharge dans le bas-fond. D'où l'enregistrement des valeurs importantes de la recharge malgré la faible pluviométrie dans la zone. Dans les vallées de l'Aïr la recharge est indirecte, les aires potentielles de celle-ci sont constituées par les drains et les zones d'accumulation temporaire du ruissellement (BRGM, 1987). En effet, dans les régions arides, la recharge directe n'est pas significative à cause des fortes évapotranspirations surtout si la quantité de pluie n'est pas importante (Besbes, 2006 ; Illias, 2018). En outre, même si une crue est générée, il faut que le sol soit suffisamment saturé pour que l'écoulement atteigne la partie aval du koris principal. Aussi, la configuration des réservoirs contribue à justifier la différence des quantités d'eau car leur remplissage se fait l'un après l'autre. Bien que le sous bassin aval présente une faible densité du réseau hydrographique, son volume de réserve régulatrice reste supérieur à celui enregistré dans le sous bassin central. Cette différence est attribuée à l'importance de la plaine qui est plus petite dans ce sous bassin. En saison de pluies les cultures subissent l'irrigation de complément qu'est une pratique faisant des prélèvements d'eau inférieurs aux apports issus des

pluies. Ces dernières font que l'influence du pompage sur la dynamique de la nappe soit négligeable. Ainsi, seule la fluctuation du niveau de la nappe a été prise en compte dans le calcul de la recharge (Seguin, 2016). La relation volume d'alluvions saturées et disponibilité de la réserve régulatrice montre une faible porosité efficace.

## **Conclusion**

Dans la vallée de Boghol l'irrigation est confrontée à l'insuffisance voire manque d'eau lié au tarissement précoce de la nappe. Cette situation entrave le développement de l'agriculture irriguée qu'est la principale source de revenue de la population locale. La recharge obtenue dans les différents sous bassins est proportionnelle à la charge hydraulique et la moyenne de celle-ci à l'échelle de la vallée est estimée à 467,46 mm. Outre la porosité efficace, l'importance de la réserve régulatrice est influencée par la superficie de la plaine. Les volumes d'alluvions saturées et ceux de la réserve régulatrice se présentent dans l'ordre suivant : Vol SBAm > Vol SBA > Vol SBC. La réserve régulatrice à l'échelle de la vallée a une valeur globale de 736 044,74 m<sup>3</sup> et est tributaire de la pluviométrie. Cependant, elle est impactée par l'irrigation faisant d'elle une réserve fragile. D'où la nécessité de conduire des études qui faciliteront la mise en place des aménagements de surface dans la vallée en vue augmenter la recharge et la réserve régulatrice.

**Conflit d'intérêts :** Les auteurs n'ont signalé aucun conflit d'intérêts.

**Disponibilité des données :** Toutes les données sont incluses dans le contenu de l'article.

**Déclaration de financement :** Les auteurs n'ont obtenu aucun financement pour cette recherche.

## **References:**

1. Abdoul, A. T., Jean F. A., & Cheikh B. G., (1993). Évaluation de la recharge des nappes phréatiques sous climat semi-aride. Exemple du nord-Sénégal. Comptes rendus des études effectuées dans le cadre du projet RAF/8/012. 39-51
2. Armand, C., (1987). Programme d'hydraulique villageoise et agricole dans les départements de Tahoua et Agadez (Niger). Rapport de synthèse. République du Niger. 91p
3. Benoit, S., & Mandéla H., (2015). Atlas agro climatique sur la variabilité et le changement climatique au Niger. Centre Régional Agrhyment / CILSS. 37p

4. Black, R., (1967). Carte géologique du massif de l'Aïr, République du Niger
5. BRGM. (1987). Actualisation de l'Atlas des eaux souterraines du Niger. 133p
6. Castany, G., (1962). Réserves en eaux souterraines. Hydrological Sciences Journal, 7 : 4, 5-15
7. Cavellec, S., (2006). Evolution diagénétique du bassin de Tim Mersoï et conséquences pour la genèse des minéralisations uranifères dans les formations carbonifères du Guezouman et du Tarat (district Arlit-Akokan, Niger). Thèse de doctorat. Université de Paris-sud XI. 373p
8. Chantry, G., (2003). Estimation des taux de recharge de nappe en zone semi-aride par la méthode du bilan des chlorures (MBC) : Impact de la variabilité spatio-temporelle des teneurs en Cl<sup>-</sup> dans les précipitations et application à deux grands bassins sédimentaires au Sahel. DES, Fondation Universitaire Luxembourgeoise et Université de Liège. 31p
9. Christophe, F., Frédéric M., & Dominique T., (1990). Evaluation de la recharge naturelle des aquifères en climat soudano sahélien par modélisation hydrologique globale : application à dix sites au Burkina Faso. Hydrological Sciences Journal, Taylor & Francis, 35 (1-2), 29 47
10. Claude, V., (1971). Étude géologique et paléogéographique du bassin de Tim Mersoï région d'Agadès (République du Niger). Rapport CEA-R-4115. Centre d'Etudes Nucléaires de Fontenay-aux-Roses. 428 p
11. CR/Dabaga., (2015). Plan de développement communal de la commune rurale de Dabaga. 149 p
12. David, B., (2008). Impact des changements climatiques sur la capacité des nappes et des captages d'eau souterraine. Techniques Sciences Méthodes numéro 3. 62-75
13. Delin, G. N., Healy, R. W., Lorenz, D. L., & Nimmo, J. R., (2007). Comparison of local- to regional-scale estimates of ground-water recharge in Minnesota, Journal of Hydrology, 334, 231– 249
14. Dieng, N. M., (2017). Étude de la relation eaux de surface-eaux souterraines dans un contexte de changements climatiques dans la zone Sud du bassin du Saloum (Sénégal) : Apport des outils géochimiques, isotopiques, de la télédétection, des SIG et de la modélisation. Thèse de doctorat. Université de Liège et Université Cheikh Anta Diop de Dakar, 215p
15. DRGR/Agadez., (2016). Plan d'aménagement du site de Boghol commune rurale de Dabaga. 28p
16. El Amami, H., Kompany, J. R., Muanda, C., (2024). Rabattement des nappes et équité d'accès aux eaux souterraines : Analyse comparative

- des catégories d'exploitations agricoles dans le centre de la Tunisie. Cah. Agric. 33 (13) 1-10
17. Eric, S., Jean, E. P., H. L. N., Elrou, K., Michel, T., & Bertrand, M., (1997). De la diminution des écoulements en Afrique de l'Ouest et centrale. C. R. Acad. Sci. Paris, Sciences de la terre et des planètes / earth & Planetary Sciences.325. 679-602
  18. Ferront, L., (2017). Caractérisation de la recharge des aquifères sur le bassin Rhône Méditerranée Corse. Mémoire de master. Université Pierre et Marie Curie. 46p.
  19. Gallaire, R., (1995). Hydrologie en milieu subdésertique d'altitude Le cas de l'Aïr (Niger). Thèse de doctorat. Université de Paris-sud, 215p
  20. Gameren, V. V., Weikmans, R., & Zaccai, E., (2014). L'adaptation au changement climatique. Éditions La Découverte, Paris, 119p
  21. Geneviève, L., (2019). Évaluation de la recharge des eaux souterraines à différentes échelles par une approche couplant des modèles hydrologique et hydrogéologique Le cas du bassin versant non-jaugé de la rivière Caribou. Mémoire de maîtrise. Université du Québec à Chicoutimi, 63p
  22. Geoffrey, C., (2003). Estimation des taux de recharge de nappe en zone semi-aride par la méthode du bilan des chlorures (MBC) : Impact de la variabilité spatio-temporelle des teneurs en Cl<sup>-</sup> dans les précipitations et application à deux grands bassins sédimentaires au Sahel. DES, Fondation Universitaire Luxembourgeoise et Université de Liège, 31p
  23. Giazzi, F., (1990). Ressources en eau, milieux naturels et aménagement des vallées d'oued en zone endoréique sub-désertique : étude des inter-relations anthropiques et naturelles dans trois vallées du sud-ouest du massif de l'Aïr (Niger). Thèse de doctorat. Université de Grenoble 1, 434 p
  24. Gouaidia, L., (2008). Influence de la lithologie et des conditions climatiques sur la variation des paramètres physico-chimiques des eaux d'une nappe en zone semi-aride : Cas de la nappe de Meskiana Nord-Est Algérien. Thèse de doctorat. Université Badji Mokhtar d'Annaba, 136p
  25. Hachaichi, Z., (2017). Quantification de la recharge naturelle et artificielle d'un système aquifère soumis à des contraintes climatiques et anthropiques en zone semi-aride (bassin de Sbiba et Foussana) Tunisie centrale. Thèse de doctorat. Université d'Avignon. 239p
  26. Hajhouji, Y., (2018). Modélisation hydrologique du bassin versant de l'oued Rheraya et sa contribution à la recharge de la nappe du Haouz (bassin du Tensift, Maroc). Thèse de doctorat. Université Toulouse 3 et Université Cadi Ayyad de Marrakech, 149 p

27. Hassane, B. A., (2010). Aquifères superficiels et profonds et pollution urbaine en Afrique : Cas de la communauté urbaine de Niamey (Niger). Thèse de doctorat. Université Abdou Moumouni. 198p
28. Horriche, F., & Besbes, M., (2006). Analyse du réseau piézométrique national tunisien. *Revue des Sciences de l'Eau* 19(4) 347-363
29. Hountondji B., Codo F. P., Aina M.P., & Lanmandjekpogni P.M., 2019. Evaluation des potentialités en eau souterraine de l'aquifère poreux de Monzoungoudo au Bénin. *Larhyss Journal*, n°39, Sept 2019, pp. 77-92
30. Huet, M., (2015). Comparaison de méthodes d'estimation de la recharge des aquifères : Exemple de la région Charlevoix - Haute-Côte-Nord. Mémoire de maîtrise. Université du Québec à Chicoutimi, 76p
31. Illias, A., (2018). Evaluation des ressources en eau souterraines du bassin de Timia (Massif de l'Aïr, Nord du Niger) : Impacts de la variabilité climatique et des activités anthropiques. Thèse de doctorat en hydrogéologie, Faculté des sciences et technique, université Abdou Moumouni de Niamey (Niger), 238 p
32. Joseph, A., (1992). Recharges et paléo recharges des nappes en région sub désertiques au Niger. Thèse de l'université Paris VI, 163 p.
33. Lefèvre, R., (1960). Etudes d'écoulement dans le massif de l'Aïr : Alimentation en eau de la zone des grès d'Agadès. Rapport d'étude. L'OCRS et le ministère des travaux publics de la république du Niger, 131 p
34. Liégeois, J. P., Black, R., Navez, J. et Latouche, L., (1994). Early and late Pan-African orogenies in the Aïr assembly of terranes (Touareg Shield, Niger). *Precambrian Research*, 67, pp. 59-88.
35. Mangoua, M. J., YAO, A. B., Douagui, G. A., Kouassi, K. A., Goula, B. T. A., & Biemi, J., (2019). Evaluation des potentialités en eau souterraine des aquifères fissures dans le bassin versant du Bandama (Côte d'Ivoire). *Larhyss Journal*, 37, 53-74
36. Moreau, C., (1982). Les complexes annulaires anorogéniques à suites anorthositiques de l'Aïr Central et septentrional (Niger), thèse d'état, Nancy, 356 p
37. Parker, G. C., (2015). Changement climatique et transitions énergétiques : préoccupation environnementale religieuse. *Social Compass*. Vol. 62(3) 283–295
38. PromAP, 2018. Schéma d'aménagement de la vallée de Boghol. Rapport d'étude. 55p
39. Raulais, M., (1959). Esquisse géologique sur le massif cristallin de l'Aïr (Niger). *Bull. Soc.géol.Fr.*, 7e série, t. 1, N° 2, pp. 207-223

40. Rivard, C., Marion, J., Michaud, Y., Benhammane, S., Morin, A., Lefebvre, R., & Rivera, A., (2003). Étude de l'impact potentiel des changements climatiques sur les ressources en eau souterraine dans l'Est du Canada. Commission géologique du Canada, 39 p
41. Scanlon, B. R., Healy, R. W., & Cook, P. G., (2002). Choosing appropriate techniques for quantifying groundwater recharge. *Hydrogeology Journal*, 10 (1) 18–39
42. Seguin, J. J., (2016). Méthodes d'évaluation de la recharge des nappes. Complément d'étude pour la caractérisation des pressions et impacts sur les eaux souterraines. BRGM/RP-65635-FR, 219p
43. SIGES Seine- Normandie - ©2021 (brgm.fr). Caractéristiques principales des nappes : les paramètres hydrodynamiques (définitions), consulté le 29/12/2021
44. Viguier, B., (2016). Caractérisation des facteurs de contrôle de la recharge et des écoulements souterrains à différentes échelles de temps en zone de piedmont aride et hyper-aride : Exemple de l'aquifère de la Pampa Del Tamarugal (Nord Chili). Thèse de doctorat. Université de Montpellier, 206 p