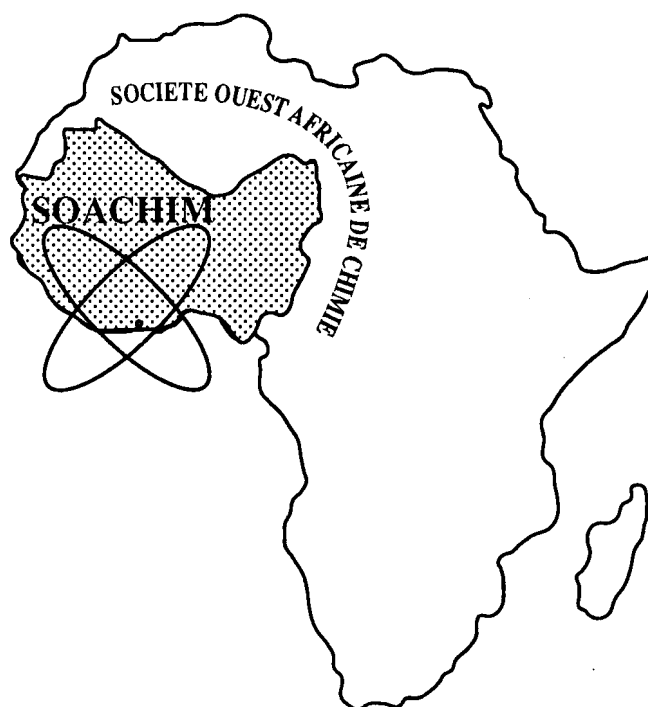


Étude de la production de natron et de la qualité des eaux dans les cuvettes du Dallol Bosso, Niger

**Alassane Yayé Boureima, Hassane Adamou Hassane,
Abdoulkadri Ayouba Mahamane, Maazou Ahmed Maman,
Adamou Rabani**

Journal de la Société Ouest-Africaine de Chimie
J. Soc. Ouest-Afr. Chim. (2025), 054 : 47 - 58
30^{ème} Année, 2025



ISSN 0796-6687

Code Chemical Abstracts : JSOCF2

Cote INIST (CNRS France) : <27680>

Site Web: <http://www.soachim.org>

<http://www.soachim.info>

Étude de la production de natron et de la qualité des eaux dans les cuvettes du Dallol Bosso, Niger

Alassane Yayé Boureima^{1*}, Hassane Adamou Hassane¹, Abdoukadi Ayouba Mahamane¹,
Maazou Ahmed Maman², Adamou Rabani¹

¹Faculté des sciences et techniques, Université Abdou Moumouni, Niamey/Niger.

²Université Boubacar Bâ, Tillabéry/Niger

(Reçu le 10/09/2025– Accepté après corrections le 11/11/2025)

Résumé : Dans la vallée du Dallol Bosso, l'exploitation du natron est une activité économique importante participant à l'amélioration des conditions de vie des exploitants. Toutefois, sa production reste toujours artisanale et profite peu aux exploitants. L'objectif de ce travail est d'étudier le système de production de natron et la qualité des eaux dans les cuvettes du Dallol Bosso. C'est dans ce cadre qu'une enquête a été réalisée auprès de 90 exploitants et 18 entretiens ont été effectués avec les autorités locales et les responsables administratifs sur l'exploitation du natron dans ces cuvettes. Par la suite, des investigations analytiques ont été réalisées pour l'évaluation de la qualité des eaux des cuvettes en carbonate de sodium. Ainsi, 191 sites de production de natron sont identifiés produisant une quantité de 842 tonnes de natron par an. Par ailleurs, les eaux de ces cuvettes sont fortement minéralisées et très alcalines (riches en Na). Dans ces eaux, la concentration en carbonate total ($\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$) est supérieure à celle des ions calcium et magnésium ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$). Ces eaux sont donc susceptibles de donner des sels carbonatés sodiques, par évaporation. Enfin, en raison de la grande quantité et de la haute qualité de ces cuvettes de natron et de carbonate de sodium, la mise en place d'une unité de production de carbonate de sodium dans la région s'avère nécessaire.

Mots clés : natron, exploitation, qualité des eaux, cuvettes de Dallol Bosso,

Study of natron production and water quality in the Dallol Bosso basins, Niger

Abstract: In the Dallol Bosso valley, natron mining is an important economic activity that contributes to improving the living conditions of miners. However, production remains artisanal and provides little benefit to miners. The aim of this study is to examine the natron production system and water quality in the region's basins. Within this framework, a survey was conducted among 90 operators and 18 interviews were carried out with local authorities and administrative officials on natron mining in these basins. Subsequently, analytical investigations were carried out to assess the water quality of the sodium carbonate basins. As a result, 191 natron production sites were identified, producing 842 tonnes of natron per year. Furthermore, the waters of these basins are highly mineralised and very alkaline (rich in Na). In these waters, the total carbonate concentration ($\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$) is higher than that of calcium and magnesium ions ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$). These waters are therefore likely to produce sodium carbonate salts through evaporation. Finally, due to the large quantity and high quality of these natron and sodium carbonate basins, the establishment of a sodium carbonate production unit in the region is necessary.

Keywords: natron, exploitation, water quality, Dallol Bosso basins,

* Auteur correspondant : Alassane Yayé Boureima, alassaneyaye215@gmail.com

1. Introduction

Le Niger est un pays sahélien qui fait face aux multiples conséquences du changement climatique affectant l'ensemble des écosystèmes ^[1]. Les pratiques anthropiques (déboisement, techniques culturales peu conservatrices de l'environnement, surpâturage, etc...) pèsent sur la survie des populations d'agro-pasteurs entraînant particulièrement la réduction des terres agricoles et des aires de pâturage ^[2, 3]. En 2022, ces effets ont notamment conduit à ce que plus de trois millions de Nigériens (3,3 millions) soient victimes d'insécurité alimentaire ^[4].

Pour combler le déficit alimentaire, les paysans s'adonnent à plusieurs activités comme l'irrigation et l'exploitation des ressources naturelles. L'exploitation des ressources naturelles non agricoles (sel gemme, natron...) génère des revenus considérables pour les populations locales ^[1]. Cependant, cette exploitation se fait de façon traditionnelle.

Parmi ces ressources non agricoles, le natron est celle dont l'importance est la plus stratégique et déterminante mais son exploitation reste encore artisanale. En effet, son extraction est pratiquée de manière artisanale depuis plusieurs générations dans plusieurs zones du Niger (vallée du Dallol Bosso, région de Zinder et le Kaouar) ^[5, 6]. Les produits commerciaux sont constitués de barres de natron, résultat de la cuisson des jus issus de la lixiviation des efflorescences de natron ; de gâteaux de natron confectionnés à partir des saumures concentrées dans des étangs et d'efflorescences de natron collectées et mises en sacs. L'utilité commerciale du natron vient des substances qui le composent comme, le carbonate de sodium (Na_2CO_3), le bicarbonate de sodium (NaHCO_3) et la soude caustique (NaOH) ^[7, 8, 9].

En plus, les analyses effectuées par la Société du Patrimoine des Mines du Niger (SOPAMIN) en 2014 ^[10] sur les produits commerciaux issus de l'exploitation artisanale du natron ont montré que ces produits sont insuffisamment traités, traduisant leur mauvaise qualité, limitant ainsi leur utilisation dans le domaine industriel. Le seul marché ouvert à cette production est celui de l'alimentation animale et humaine d'où le faible écoulement des produits et la limitation des capacités de production.

Par conséquent, face à ces problèmes, il est nécessaire de trouver des techniques fiables et peu

onéreuses de purification du natron pour la production du carbonate de sodium, un produit à haute valeur ajoutée, largement utilisé dans le domaine industriel.

L'objectif de ce travail est d'analyser le système de production de natron et la qualité des eaux des cuvettes du Dallol Bosso. Il s'agit de façon spécifique : d'identifier les différents sites de production de natron et les techniques de production utilisées, ainsi que d'évaluer la quantité de natron produite et la qualité des eaux en carbonate de sodium.

2. Matériel et Méthodes

2.1. Présentation de la zone d'étude et des points enquêtés

Le Dallol Bosso est une vallée asséchée d'un ancien affluent du fleuve Niger, de 10 à 20 km de large s'étendant sur 330 km du Nord au Sud entre le Mali et le Bénin ^[11]. Il prend sa source dans les montagnes de l'Air et du Hoggar, pour se jeter dans le fleuve Niger à la lisière de la frontière du Bénin ^[12]. Il traverse du Nord au Sud les départements de Filingué, Ballayara (Région de Tillabéry) et Boboye (Région de Dosso). Dans les Dallols, les nappes inférieures et moyennes sont essentiellement rechargées à travers la nappe phréatique ^[13]. Cette dernière est alimentée par l'infiltration des eaux des pluies et surtout des ruissellements dans les zones endoréiques favorables à l'accumulation des eaux dans les mares, ou elle subit des fluctuations saisonnières et interannuelles importantes ^[12].

Le climat de cette zone est de type sahélo-soudanien, caractérisé par une alternance d'une courte saison de pluie de mai à septembre et d'une longue saison sèche d'octobre à avril. La nappe phréatique se trouve à une profondeur entre 0 et 10 m, et la minéralisation de ses eaux varie de 150 à plus 1 000 $\mu\text{S cm}^{-1}$ ^[14, 15]. En saison pluvieuse, cette zone est constituée d'une succession des mares. Ces mares se présentent sous forme de cuvettes encastrées dans les formations dunaires. Plusieurs de ces mares sont permanentes mais la majorité s'assèche et se vide complètement avant l'arrivée des pluies suivantes. Les fonds de ces cuvettes sont constitués d'argile limoneuse riche en matière organique ^[15]. Au fur et à mesure de l'assèchement des cuvettes, une émanation de natron reconnaissable à sa couleur « gris blanchâtre » recouvre les bordures et les fonds des cours d'eau. Les différents sites enquêtés au cours de cette étude sont représentés sur la **figure 1**.

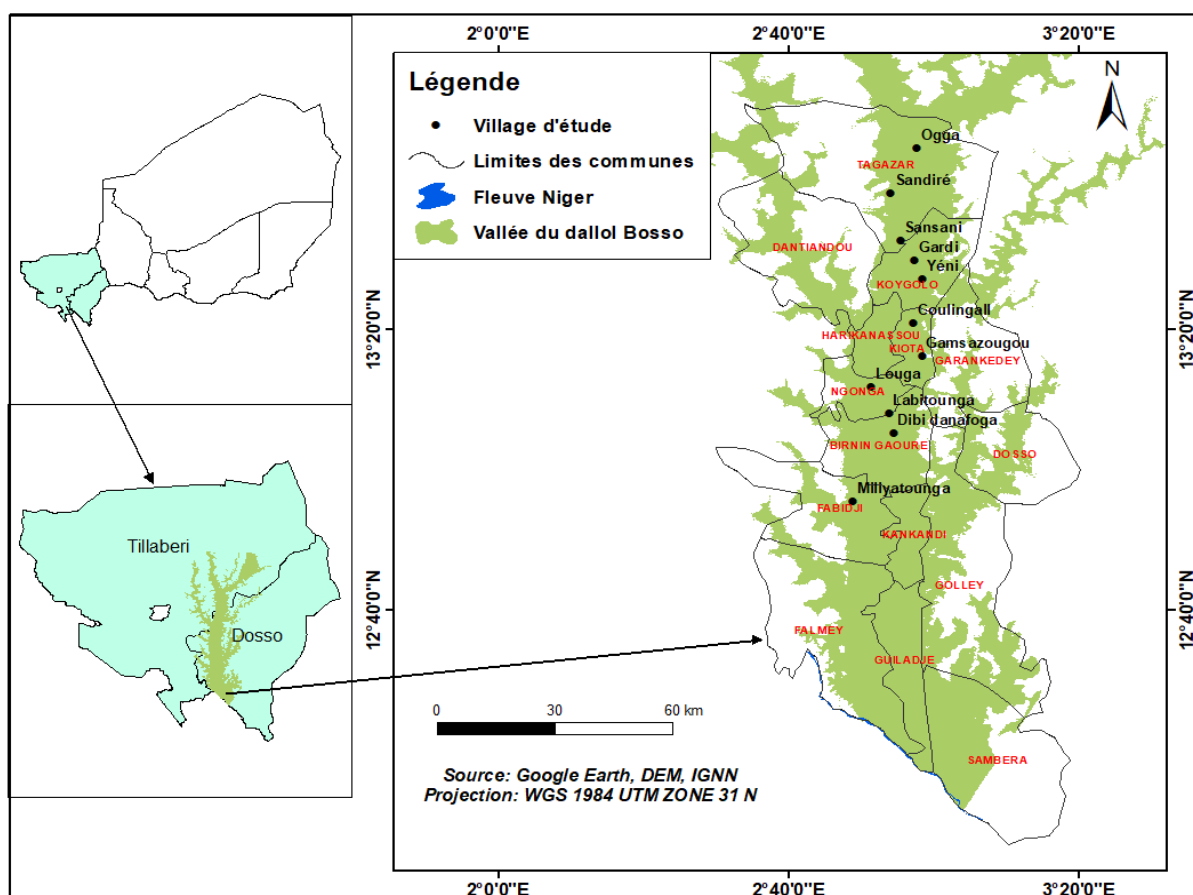


Figure 1 : Localisation du Dallol Bosso avec indication des sites enquêtés

2.2. Matériel

Au cours de ce travail, des fiches d'enquêtes ont été utilisées pour collecter des informations sur le terrain. Un appareil GPS (Garmin GPSMAP 65) a permis de relever les coordonnées géographiques des points échantillonnés. Des appareils de mesure comme le conductimètre, le pH-mètre et le thermomètre ont servi pour des mesures *in situ* de conductimétrie, de pH et de température des échantillons collectés. Les échantillons destinés à la caractérisation chimique sont prélevés et conservés dans des flacons en polyéthylène d'un litre (1 L).

En plus des matériels du terrain, des équipements spécifiques d'analyse chimique au laboratoire ont été utilisés. Le spectrophotomètre UV-Visible DR/2000 a servi pour la détermination de fer total (Fe_T), des ions sulfates (SO_4^{2-}) et des ions nitrates (NO_3^-). Le photomètre à flamme Lange M7 et le spectrophotomètre à absorption atomique Perkin Elmer Model 2380 ont également servi pour la détermination des ions sodium (Na^+), potassium (K^+), calcium (Ca^{2+}) et magnésium (Mg^{2+}).

Les logiciels informatiques ArcGis 10.4, Excel version 2010 et Diagrammes 6.48 ont été utilisés pour l'encodage, le traitement des données et la réalisation des diagrammes de Piper.

2.3. Méthodologie

2.3.1. Enquêtes de terrain et identification des sites de la zone d'étude

Plusieurs acteurs de la zone d'étude ont été approchés. Les autorités coutumières, les élus locaux et les responsables de services administratifs ont d'abord été interviewés sur l'exploitation de natron sur les sites de leurs zones. Ensuite, un questionnaire a été soumis aux exploitants. Un nombre conséquent et représentatif des exploitants a concerné cette étude.

Ce questionnaire comporte vingt-une (21) questions outils, qui sont structurées autour de quatre (4) questions recherches relatives : (i) au statut du natron dans la localité, (ii) à l'identification des sites de production de natron, (iii) à l'identification des techniques de production utilisées et (iv) à l'évaluation de la production de natron.

Lors de cette enquête seuls les sites permanents dont les exploitants se sont installés définitivement ont été visités. Les sites non permanents sont communément exploités par tous les exploitants de la zone d'étude. Au cours de ces interactions, quatre-vingt-dix (90) exploitants ont

renseigné le questionnaire dans plusieurs communes des régions de Tillabéry et Dosso. Ces exploitants sont répartis comme suit : 24 exploitants dans la commune de Ballayara (région de Tillabéry) ; 16 dans la commune de Koygolo, 13 dans la commune de Kiota, 18 dans la commune de N’Gonga, 8 dans la commune de Birni N’Gaouré et 11 dans la commune de Fabidji (région de Dosso). En plus, 18 entretiens ont été effectués dans ces différentes localités.

2.3.2. Investigations analytiques

Afin de caractériser la composition chimique des eaux des puits et mares, et les saumures issues de la lixiviation de natron des cuvettes de la zone d’étude, des échantillons ont été prélevés et soumis ensuite à des analyses chimiques.

Au total trente-trois (33) échantillons représentatifs ont été collectés à travers la procédure de prélèvement décrite par Rodier *et al* (2009) ^[16]. Les paramètres physiques (conductivité, température, pH) étaient mesurés *in situ* et les échantillons ont été stockés dans des flacons en polyéthylène d’un litre (1 L) et conservés à 4 °C. Les noms des échantillons sont proposés par la combinaison de sa nature (puits, mares, et saumures) et de son origine (point de prélèvement).

Les déterminations des paramètres chimiques ont été réalisées par plusieurs techniques analytiques décrites par Rodier *et al.* (2009) ^[16]. Les ions chlorures (Cl^-), ions bicarbonates (HCO_3^-) et ions carbonates (CO_3^{2-}) ont été déterminés par volumétrie. La méthode d’analyse de spectrométrie d’absorption moléculaire a été utilisée pour la détermination du fer total (Fe_T), des ions sulfates (SO_4^{2-}) et des ions nitrates (NO_3^-). Les teneurs en ions sodium (Na^+) et ions potassium (K^+) ont été obtenues par photométrie à flamme tandis que les cations métalliques respectivement les ions calcium (Ca^{2+}) et magnésium (Mg^{2+}) par spectrométrie d’absorption atomique. La vérification et la validation des résultats analytiques ont été effectuées par le calcul de la balance ionique (BI) où une erreur maximale de 5% est acceptée ^[16]. Cette balance ionique est calculée par la formule suivante :

$$BI (\%) = \frac{\sum \text{cations} - \sum \text{anions}}{\sum \text{cations} + \sum \text{anions}} \times 100$$

Les paramètres physico-chimiques permettant de prévoir la nature des évaporites (sels) d’une eau douce par évaporation ^[17, 18] ont été calculés. Ces paramètres sont les suivants :

$$\checkmark \text{ TN (titre natronique)} = [\text{Na}^+]_{\text{még}^+} + [\text{K}^+]_{\text{még}^+} - [\text{Cl}^-]_{\text{még}^-}$$

$$\begin{aligned} \checkmark \text{ TH (titre hydrotimétrique)} &= [\text{Ca}^{2+}]_{\text{még}^+} + [\text{Mg}^{2+}]_{\text{még}^+} ; \\ \checkmark \text{ TA (titre alcalimétrique)} &= [\text{CO}_3^{2-}]_{\text{még}^+} + [\text{HCO}_3^-]_{\text{még}^+} ; \\ \checkmark \text{ TB (titre de chloruration calcique)} &= [\text{Ca}^{2+}]_{\text{még}^+} - ([\text{CO}_3^{2-}]_{\text{még}^+} + [\text{HCO}_3^-]_{\text{még}^+} + [\text{SO}_4^{2-}]_{\text{még}^+}) \\ ([]_{\text{még}} &: \text{concentration en milliequivalent par litre (még.L}^{-1}\text{)}). \end{aligned}$$

Enfin, les résultats des analyses chimiques des eaux de puits et de mares sont portés dans le diagramme de Piper pour déterminer les facies chimiques des eaux. Les résultats des analyses chimiques des saumures issues de la lixiviation des efflorescences de natron ont été situés dans le schéma illustrant le principe des divisions chimiques et l’évolution des saumures.

3. Résultats et discussion

3.1. Caractéristiques socio-économiques de la population d’étude

L’exploitation du natron dans le Dallol Bosso requiert plusieurs étapes (de la collecte du bois de chauffe jusqu’à l’extraction du natron). L’activité est libre et il n’existe aucune limitation d’accès aux sites de production. Les deux genres à des âges différents sont retrouvés sur les sites. La population active des producteurs est composée essentiellement de femmes. En effet, les femmes représentent 75% des enquêtés et elles sont de différentes tranches d’âge allant de 16 à 60 ans. Ces femmes extraient le natron tandis que les hommes (25%) s’occupent généralement du ramassage de bois de chauffe. La figure 2 présente les différentes classes d’âges de la population d’étude.

L’exploitation est principalement pratiquée en majorité par des jeunes (72%). En effet, pratiquement trois exploitants sur quatre étaient des jeunes âgés de 16 à 35 ans. Une proportion significative des personnes âgées (28%, âgés de 36 à plus de 60 ans) est aussi à noter, certaines personnes ayant plus de 30 ans d’expérience dans la production de natron. Ce même constat a été fait par Harou (2013) ^[19]. Il souligne que la production du natron dans le Dallol Bosso est pratiquée par des jeunes femmes démunies d’une tranche d’âge allant de 14 à 36 ans avec un niveau bas d’instruction.

3.2. Production du natron et revenus générés

La production de natron, effectuée dans les cuvettes du Dallol Bosso est pratiquée en famille, constituée en équipe. Le produit obtenu et commercialisé à l’issue du traitement des saumures est présenté sous forme de barres de natron. La

détermination annuelle de la quantité de natron produite dépend essentiellement du temps consacré qui peut prendre des mois. Ce paramètre se conjugue avec le nombre des personnes de chaque équipe. Le natron est ensuite vendu sur des marchés hebdomadaires locaux et nationaux, en plus de l'exportation vers le Nigeria et le Ghana.

Plusieurs types d'usage du natron existent. En effet, selon 67% des personnes enquêtées, le natron est utilisé dans l'alimentation humaine lors de la cuisson et chez les animaux domestiques car sa consommation crée l'appétit et facilite la digestion. Certains (23%) ont affirmé qu'il est également utilisé en pharmacopée traditionnelle contre les maux de ventre et certaines dermatoses. Enfin, 10% des enquêtés ont affirmé que le natron intervient dans la fabrication des détergents au Nigeria et au Ghana.

La commercialisation du natron dans les cuvettes du Dallol Bosso est une source énorme de revenus pour les exploitants. Le prix de la barre varie de 12 000 à 40 000 FCFA selon les différentes spéculations du marché et dépend aussi d'un site à un autre et d'une saison à une autre. Ces résultats corroborent ceux obtenus par Harou, (2013)^[19] qui a souligné que le prix de la barre du natron varie de 17 000 à 35 000 F CFA. Les revenus issus de la vente du natron contribuent à l'amélioration des conditions de vie des exploitants à travers non seulement la prise en charge familiale mais aussi en favorisant des investissements dans l'agriculture et l'élevage.

Ainsi, la figure 3 donne un aperçu des orientations des revenus tirés de la vente de natron dans la zone d'étude. Ces revenus sont repartis dans plusieurs aspects dans le foyer comme suit : 42% des revenus sont alloués à la prise en charge familiale, 22% sont investis dans l'élevage, 19% dans l'agriculture et 17% sont consacrés aux cultures maraichères.

3.3. Identification de différents sites de production de natron et évaluation de la production

Dans le Dallol Bosso, la période d'intense exploitation du natron s'étend de novembre à juin, même si dans la pratique, l'activité se fait sur toute l'année tant que les conditions d'exploitation sont réunies. Les sites d'exploitation sont identifiés suite à l'affleurement du gisement de natron en surface au niveau des berges et des points d'eau asséchés dans le lit du Dallol. Ces sites sont éparpillés sur une grande partie de la zone d'étude. La production de natron est fonction de la pluviométrie enregistrée au cours de l'année^[20, 21, 22]. Une abondance des pluies peut compromettre à néant la production du fait d'une inondation prolongée.

La production ne couvre que le centre et la partie sud du Dallol. Le tableau I présente l'évaluation de la production de natron au niveau de ces sites. Il faut noter qu'une barre de natron pèse approximativement 55 kg.

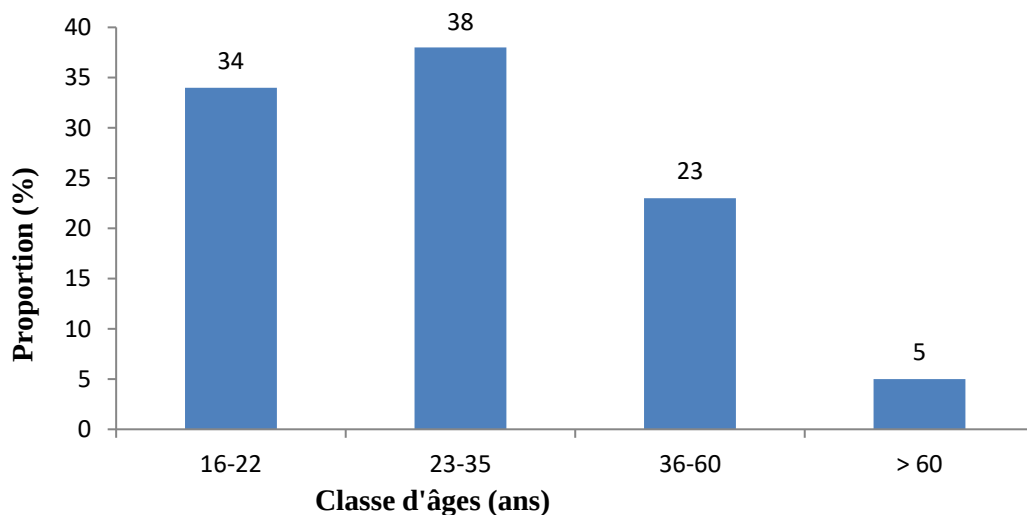
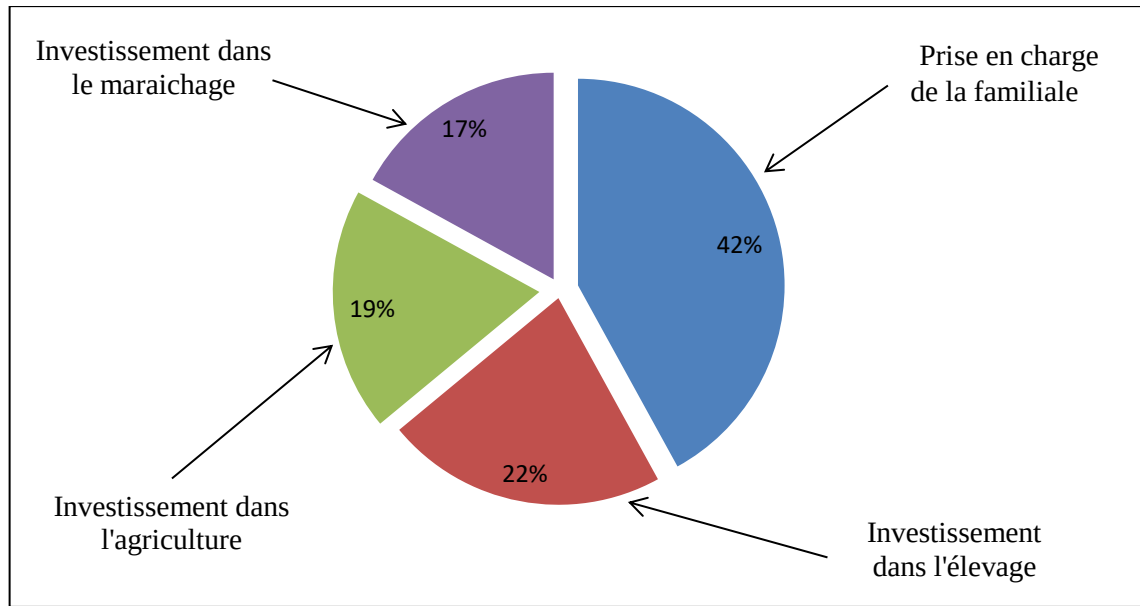


Figure 2 : Différentes classes d'âges de la population d'étude

**Figure 3** : Orientations des revenus tirés de la vente de natron**Tableau I** : Évaluation de la production de natron des sites visités

Région	Commune	Village	Nombre de sites	Nombre d'exploitants	Nombre de barres par exploitant et par saison	Production/saison (barres)	Masse estimative (kg)
Tillabéry	Ballayara	Balayara Ogga	8	34	25	850	46750
		Sandiré Golbé	12	42	30	1260	69300
		Sansani Zarma	22	61	27	1647	90585
Dosso	Koygolo	Gardi	19	50	21	1050	57750
		Yéni	15	47	25	1175	64625
	Kiota	Coulingal	11	52	18	936	51480
		Gamsazougou	13	68	23	1564	86020
	N'Gonga	Louga	21	73	22	1606	88330
		Labitounga	17	64	19	1216	66880
	Birni N'gaouré	Dibi	28	98	24	2352	129360
		Danafoga	25	83	20	1660	91300
	Fabidji	Milyatounga	25	83	20	1660	91300
Total			191	672	//	15316	842380

Le nombre de barres par exploitant par saison varie de 18 à 30 barres. Cette variation pourrait être due :

- d'une part à la disponibilité d'efflorescences de natron dans les cuvettes d'une localité par rapport à une autre. Plus les cuvettes d'une localité sont riches en efflorescences plus la quantité de barres produites est élevée ;
- d'autre part à la surexploitation des espaces natronnés (cuvettes) dans la localité. Plus

les espaces natronnés d'une localité sont surexploités plus les efflorescences se font rares et la quantité de natron produit est faible.

La production de natron varie de 850 à 2352 barres par saison. Cette productivité n'est pas statistiquement fixe. Elle dépend du nombre de sites, du nombre d'exploitants par site et de la disponibilité des efflorescences dans les localités.

3.4. Techniques de production artisanale de natron dans la vallée du Dallol Bosso

Dans la vallée du Dallol Bosso, l'extraction du natron se fait généralement en bordure des mares et les techniques d'exploitation demeurent toujours traditionnelles. Sur la figure 4, est détaillé, le processus de production du natron dans les cuvettes du Dallol Bosso. Ce processus de production débute par une collecte des efflorescences sur les fonds de mares ou elles émanent (a). Les efflorescences ainsi collectées sont mises dans un grand récipient perforé à sa base (tamis tissé avec des feuilles de palmier doum ou demi-tonneau perforé) posé sur une sorte de trépied à une hauteur d'environ 50 cm. Ensuite, une grande quantité d'eau est versée dans ce récipient servant de filtre, afin de recueillir la solution salée (saumure) dans un autre récipient placé en bas (b). Ainsi, à travers ce procédé répétitif, le sable est séparé de la composante utile qui est le natron. Puis, la saumure obtenue est versée dans un demi-tonneau et mise à bouillir sur un feu ardent au moins douze heures (12 heures), le temps d'obtenir un composé compact de couleur grisâtre à noirâtre (c). Enfin, à partir de ce composé compact sont confectionnées les barres de natron vendues au marché (d).

3.5. Caractéristiques physico-chimiques des eaux de puits et de mares des cuvettes de la zone d'étude

Les puits et les mares échantillonnés dans ce travail se situent aux fonds des cuvettes. Les eaux issues de ces puits et mares ne sont pas utilisées pour la consommation humaine. En effet, elles sont utilisées pour l'abreuvement des animaux, l'exploitation du natron et la lessive. Le tableau II donne les résultats des analyses physico-chimiques des eaux de puits et de mares des cuvettes de la zone d'étude.

L'analyse du tableau montre que les pH varient de 8,16 à 9,6 avec une moyenne de 8,88 pour les eaux de puits et varient de 9,15 à 10,5 avec une moyenne de 9,57 pour les eaux de mares. Ceci montre d'une manière générale que ces eaux sont basiques et les eaux de mares sont plus basiques que celles de puits. Cette différence de basicité des eaux de mares par rapport celles de puits pourrait être due à l'effet de concentration par évaporation des espèces chimiques présentes dans ces eaux.

L'analyse du tableau montre également que la minéralisation des eaux varie de 15 987,3 à 31 708 $\mu\text{S cm}^{-1}$ pour les eaux de puits et de 20 098 à 46 479 $\mu\text{S cm}^{-1}$ pour les eaux de mares. Les eaux des marres sont plus chargées que celles des puits. Cette minéralisation pourrait être due au lessivage des sols et des roches (c'est-à-dire à la nature lithologique de l'aquifère). La forte minéralisation dans les eaux de mares par rapport à celles de puits s'expliquerait par la concentration en sels due à l'évaporation de ces eaux. Ces mêmes observations ont été faites dans une étude menée à Diandjandou (Dosso) par Salifou *et al.*, (2019) ^[15]. Dans leur étude, le lessivage des sols et l'évaporation des eaux au sein de l'aquifère ont augmenté considérablement la conductivité électrique qui est passé de 20 à 1000 $\mu\text{S cm}^{-1}$ au niveau des eaux souterraines et à plus 2000 $\mu\text{S cm}^{-1}$ pour les eaux de mares.

Les concentrations des ions déterminés sur les échantillons montrent que dans la zone d'étude le cation dominant est le sodium, suivi dans l'ordre par le potassium, le calcium et le magnésium. Ces concentrations montrent aussi que pour les anions, les ions bicarbonates et carbonates sont les plus abondants suivis des ions chlorures, avec présence plus ou moins marquée des ions sulfates et nitrates.

- Anions : $[\text{HCO}_3^-] > [\text{CO}_3^{2-}] > [\text{Cl}^-] > [\text{SO}_4^{2-}] > [\text{NO}_3^-]$
- Cations : $[\text{Na}^+] > [\text{K}^+] > [\text{Ca}^{2+}] > [\text{Mg}^{2+}]$.



Figure 4 : Processus de production de natron dans les cuvettes du Dallol Bosso

Tableau II : Caractéristiques physico-chimiques des eaux de puits et de mares des cuvettes de la zone d'étude

Échantillons	T (°C)	pH	CE ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	MES (mg L^{-1})	$[\text{CO}_3^{2-}]$ (mg L^{-1})	$[\text{HCO}_3^-]$ (mg L^{-1})	$[\text{Cl}^-]$ (mg L^{-1})	$[\text{SO}_4^{2-}]$ (mg L^{-1})	$[\text{NO}_3^-]$ (mg L^{-1})	$[\text{Na}^+]$ (mg L^{-1})	$[\text{K}^+]$ (mg L^{-1})	$[\text{Ca}^{2+}]$ (mg L^{-1})	$[\text{Mg}^{2+}]$ (mg L^{-1})	Fe_T (mg L^{-1})
PO	27,6	9,13	25803	352	4800	10982	2285	198,4	48,2	9341	1383,6	62,13	28	7,2
PS	22,32	8,56	19483	410	0	11346	1513	171	19,8	9238,82	4198,14	114,23	38	6
PSA	25,9	9,52	26460	114	6150	12200	2196	380	5,51	10330	815,52	46,1	14,6	0,75
PG	27,92	9,4	20172	128	12420	3599	3578	138	4,35	9934	1280,74	122,24	38,9	1,8
PY	21,6	9,05	28120	320	7230	9760	3212	132	6,2	9430,6	145,1	82,1	38,4	2,8
PC	29	9,48	32315	240	7200	19520	4168	100	7,12	9426	285,43	68,14	18,5	0,61
PGZ	23,5	8,32	31708	75,36	0	26596	6380	70	10,5	10116	2252,2	70	41,8	0,12
PL	26,9	8,24	19472	140,2	0	11956	5241	1063	8,5	9164,31	198,51	618,2	42,3	10,4
PLT	22,8	9,6	17400	88,17	9300	7808	3638,1	105,2	2,64	11334	856,3	75,5	12,51	0,11
PDD	26,6	8,31	16941,2	140,2	0	8967	1514,2	1132	8,5	9164,3	918,1	608,5	62,7	10,4
PMT	24,8	8,16	15987,3	123	0	13359	1358,14	2034	22,41	8235	298,15	103	89,15	10,14
MO	26,9	9,59	27763	614	12630	6710	2550	174,1	103	10096,45	2473,11	42,7	19,44	7
MS	22,11	9,6	30285	720	9600	17324	2395	89,2	41,2	10530	6252	64,13	26,16	10
MSA	24,6	9,71	33454	612	18990	2440	6116	103	10,2	11212,6	3211,68	30,66	13,2	2,1
MG	28	10,5	39423	212	15990	4880	5102	94,2	22,5	12468	2251	63,13	51	3,2
MY	20,9	9,15	36449	460	21600	7320	3775	59	14	10160,4	3133,33	68,12	27	4
MC	28,7	9,64	41264	412	19200	13359	4024	86,12	15,3	12703	6238,51	61,52	12,3	1
MGZ	22,2	9,25	46479	281,66	600	42704	7098	26	2,73	12702,5	3160,31	53,51	32,5	0,2
ML	27	9,23	26063	616	12690	11041	7134	612	14,6	10405	2162	57,61	31,6	8,3
MLT	21,9	9,71	26660	233,2	9600	6100	5850,8	14,96	2,12	13806,5	650,2	69	6,2	8,6
MDD	27,3	9,72	26063	616	1290	7259	1713,4	721	14,6	10402	1316	67,64	51,4	8,3
MMT	25,38	9,2	20098	190	10710	4758	1698	177,98	61,2	9136,5	986	78,3	58,14	7

Dans ces eaux, les concentrations des métaux alcalins sont plus élevées que celles des alcalino-terreux. Ce phénomène pourrait être dû en partie, à un échange de bases entre l'eau et le matériau argileux de l'aquifère ou bien uniquement à la soustraction des ions calcium (Ca^{2+}) par précipitation de CaCO_3 . Le même constat a été fait par Dotsika *et al* (2009) ^[23] dans leur étude intitulée : « une source de natron au lac Pikrolimni en Grèce ? Preuve géochimique ».

D'après Bouvier (1994) ^[18], les eaux susceptibles de donner naissance par évaporation à des sels carbonatés sodiques doivent présenter les caractères suivants : **TN > 0 ; TH < TA et TB < 0**. Le tableau III donne les résultats de titres des eaux de puits et de mares de la zone d'étude.

D'après le tableau III, toutes les eaux sont susceptibles de donner par évaporation des sels carbonatés sodiques (**TN > 0**). Aussi, dans toutes les eaux **TH < TA**, ce qui signifie qu'il n'y a pas assez de métaux alcalino-terreux pour saturer les ions CO_3^{2-} et HCO_3^- ; il est vraisemblable que les sels carbonatés sodiques et potassiques se précipitent. En outre, aucun dépôt de gypse ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) n'est susceptible d'y être rencontré puisque les analyses montrent qu'il n'y a pas assez d'ions Ca^{2+} (**TB < 0**) pour saturer les carbonates qui précipitent avant ceux-ci.

Ces interprétations sont confirmées par les résultats analytiques portés sur le diagramme losangique de Piper représentés à la figure 5. D'après ce dernier, ces eaux présentent le faciès carbonaté sodique et le faciès carbonaté potassique. Comme le carbonate de potassium (1120 g L^{-1}) est plus soluble que le carbonate de sodium (448 g L^{-1}), alors des sels bicarbonatés et carbonatés sodiques plus ou moins hydratés seront présents.

3.6. Physico-chimie des saumures issues de la lixiviation des efflorescences de natron des cuvettes de la zone d'étude

La nature des sels minéralogiquement exprimés est évidemment fonction des caractères physico-chimiques de la source d'eau à partir de laquelle ils prennent naissance ^[23]. Une montée excessive des alcalins est observée (surtout en Na) par rapport aux alcalino-terreux dans les saumures issues de la lixiviation des efflorescences de natron. Ces saumures sont hyper-carbonatées. Le tableau IV présente les analyses physico-chimiques des saumures issues de la lixiviation des efflorescences de natron des cuvettes de la zone d'étude.

D'après ce tableau, la minéralisation des saumures issues de lixiviation des efflorescences de natron varie de $71\,400$ à $137\,800 \mu\text{S cm}^{-1}$. Cette minéralisation des saumures pourrait être due à l'effet de l'évaporation des eaux et à la lixiviation de ces efflorescences de natron.

Tableau III : TN, TH, TA TB des eaux de puits et de mares de la zone d'étude

Echantillon s	TN (meq L^{-1})	TA (meq L^{-1})	TB (meq L^{-1})	TH (meq L^{-1})
PO	377,17	340	-341,03	5,4
PS	466,97	186	-183,86	8,83
PSA	408,96	405	-410,61	3,5
PG	363,94	473	-469,8	9,3
PY	323,11	401	-399,65	7,26
PC	299,55	560	-558,7	4,92
PGZ	317,78	436	-433,96	6,94
PL	255,7	196	-187,28	34,33
PLT	412,37	438	-436,43	4,79
PDD	379,28	147	-140,22	35,51
PMT	327,33	219	-256,21	12,48
MO	430,41	531	-532,49	3,73
MS	550,75	604	-602,7	5,35
MSA	454,6	673	-673,61	2,63
MG	455,9	613	-611,76	7,4
MY	415,85	840	-837,83	5,62
MC	598,75	859	-857,7	4,11
MGZ	433,07	720	-717,87	5,37
ML	306,6	604	-613,87	5,47
MLT	452	420	-416,87	3,95
MDD	437,71	551	-562,6	7,63
MMT	374,62	435	-434,79	8,71

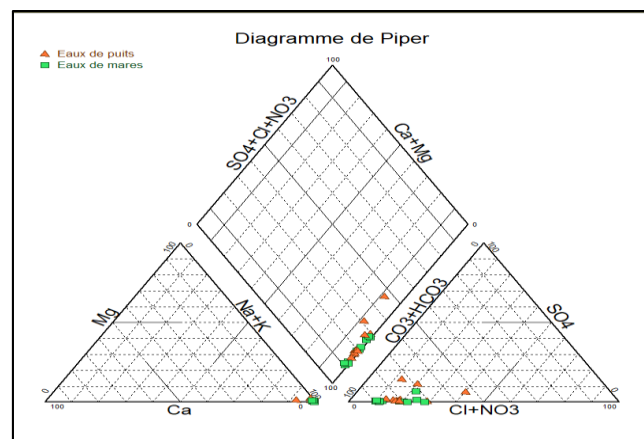


Figure 5 : Diagramme de Piper des eaux de puits et de mares des cuvettes de la zone d'étude

Tableau IV : Analyses physico-chimiques des saumures issues de la lixiviation des efflorescences de natron des cuvettes de la zone d'étude

Echantillons	T (°C)	pH	CE ($\mu\text{S.Cm}^{-1}$)	MES (mg.L^{-1})	[CO ₃ ²⁻] (mg.L^{-1})	[HCO ₃ ⁻] (mg.L^{-1})	[Cl ⁻] (mg.L^{-1})	[SO ₄ ²⁻] (mg.L^{-1})	[NO ₃ ⁻] (mg.L^{-1})	[Na ⁺] (mg.L^{-1})	[K ⁺] (mg.L^{-1})	[Ca ²⁺] (mg.L^{-1})	[Mg ²⁺] (mg.L^{-1})	Fe _T (mg.L^{-1})
SO	27,9	9,86	71400	518	37803	3589	1368	150	57,3	22400,3	8561,5	32,1	23,5	12
SS	22,5	10,41	86000	295	43120	7281	1400	61	23,76	33560,6	6160,3	90,18	9,72	13,2
SSA	26,2	10,21	85500	151	42460	3610	1880	43,8	6,6	32480,32	5802	44,1	8,51	7,64
SG	28	10,7	137800	149	61200	3244	6630	48	7,48	43800,5	8240,3	44,1	13,37	8,14
SY	22,1	9,95	82700	296	34680	1586	4340	29	11	42350,6	4240,5	50,4	19,7	5,2
SC	30	9,98	84700	391	33760,5	1464	6340	32	10,12	43760,5	6283,3	50,1	11	6,5
SGZ	22,5	9,91	76300	316,65	24000	6100	7134,4	14,5	3,85	323920	2236,52	70	37	0,31
SL	27	9,88	74000	215,9	29200	6440	1525	7,4	3,32	34255	1525	54,21	47,8	0,52
SLT	21,8	9,92	75700	49,06	37200	2440	1068,8	52,3	2,66	31864	8681,3	57,5	15	0,45
SDD	26,2	10,25	91620	430	49540	7865	2638,5	130	11,2	36860	6673	21	62	4,3
SMT	24,3	10,12	77900	230	39753	6740	3075	77,6	37,5	32832	7270	58,2	34,6	12,7

Le processus d'évaporation est illustré par le diagramme de la figure 6.

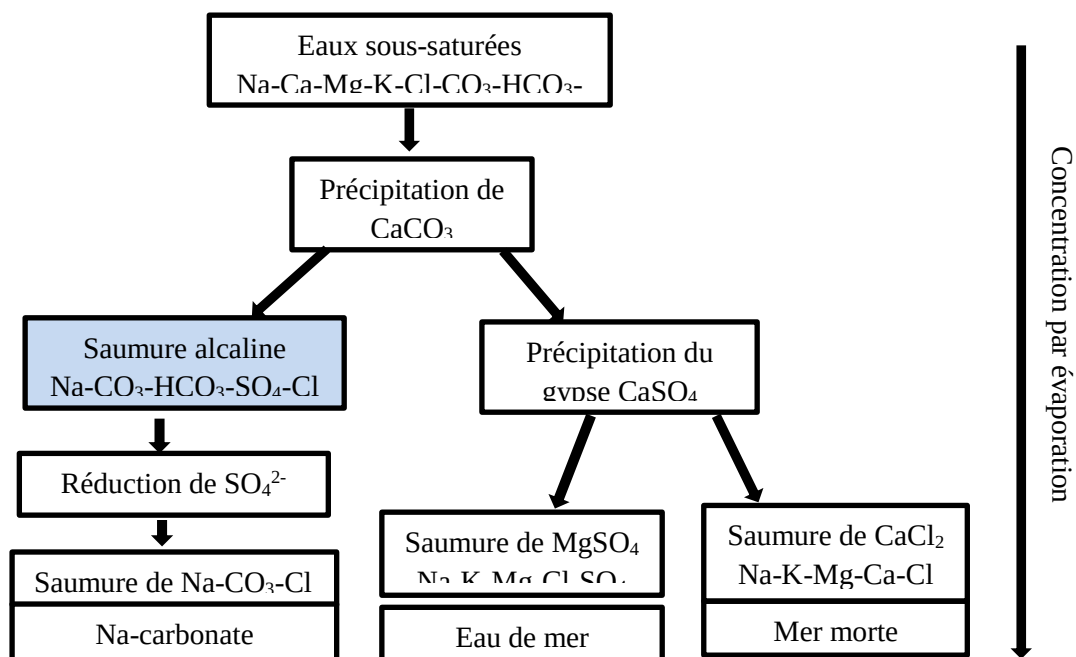


Figure 6 : Schéma illustrant le principe des divisions chimiques et l'évolution des saumures ^[24]

Les saumures de la zone d'étude se trouvent sur le côté gauche du diagramme en raison de leurs faibles teneurs en ions Ca^{2+} et Mg^{2+} . Lors de la précipitation de CaCO_3 , la teneur en Ca^{2+} diminue ; la concentration par évaporation continue et produit une saumure alcaline dominée par les ions HCO_3^- et CO_3^{2-} . Ensuite les ions SO_4^{2-} sont réduits par les bactéries halophiles suivant la réaction :

$$\text{SO}_4^{2-} + 2\text{C}_{\text{organique}} + 2\text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{H}_2\text{S} + 2\text{HCO}_3^-$$
 Cette réduction des ions SO_4^{2-} produit une saumure $\text{Na-CO}_3\text{-Cl}$ à partir de laquelle les minéraux de carbonate de sodium précipitent ^[7, 24].

4. Conclusion

Dans la vallée du Dallol Bosso, la production du natron est pratiquée depuis plusieurs générations. Elle reste toujours artisanale et est pratiquée par des femmes et hommes démunis. Cette production constitue une source de revenus pour les exploitants. Les sites de production de natron visités sont assez nombreux (191 sites).

Les eaux de puits et de mares des cuvettes de la zone d'étude sont très salines caractérisées par des eaux douces alcalines ($\text{Na-CO}_3\text{-HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Cl}$) mais pauvres en Ca et Mg. Le diagramme de Piper montre que ces eaux présentent le faciès carbonaté sodique. Les saumures issues de la lixiviation des efflorescences de natron montrent des saumures très alcalines riches en Na et pauvre en Ca et Mg. La concentration par évaporation de ces saumures

produit une saumure $\text{Na-CO}_3\text{-Cl}$ à partir de laquelle les minéraux de carbonate de sodium précipitent.

Vu la qualité des natrons en carbonate de sodium, la production de natron est assez élevée pour permettre la mise en place d'une unité de production de carbonate de sodium dans la zone.

5. Références bibliographiques

- [1] Mahamadou, I. (2018). Impact sur les ménages de l'exploitation des ressources naturelles des cuvettes oasiennes du département de Gouré dans le sud-est nigérien : cas du natron. Département de géographie, université de Zinder. *Geo-Eco-Trop*, 2018, 42, 2 : 351-359.
- [2] Ozer, P., Hountondji, Y.C., Niang.AJ., Karimoune, S., Laminou, M., Salmon, M. (2010). Désertification au sahel : historique et perspectives. *Bulletin de la société géographique de Liège*, 54 : 69-84.
- [3] PLECO. (2011). Etude sur l'identification des sites de suivi, la mise en place des mécanismes de collecte des données et de la dégradation des terres dans la zone d'intervention du PLECO. CNSEE, Niamey, Niger, 45p.
- [4] AGRA., (2022). Africa agriculture status report. Accelerating food systems transformation (Issue 10). Nairobi, Kenya : Alliance for a green revolution in Africa (AGRA).
- [5] Antoine, F., Julien, J., Iddé, Z. (1985). Etude spécifique des principales substances minérales et leur contexte géologique. Plan minéral de la république du Niger, tome IV, 1^{er} volume.

- [6] Malam Moussa, D., Tidjani, A.D., Saidou, H., Guero, Y., Ambouta, K. (2022). Caractérisation des principales évaporites des oasis du Kawar (Nord-Est du Niger). *Revue des Bio-Ressources*.
- [7] Josset, P. (1996). Emplois thérapeutiques du natron dans l’Egypte antique et le monde gréco-romain. In : *Revue d’histoire de la pharmacie*, 84^e année, n°311, 1996.pp.385-396. Document généré le 07/01/2016.
- [8] Mugelé, R., Lemoalle, J. (2014). Importance inégale des activités liées à l’exploitation des autres ressources naturelles. Le développement du lac Tchad : situation actuel et future possible, Marseille IRD Edition, Coll. Expertise collégiale 395-422.
- [9] Salva, T (2015). Rapport d’étude de faisabilité du renforcement des chaînes de valeurs natron et dattes au Tchade.
- [10] SOPAMIN. (2014). Rapport d’évaluation et de valorisation de la production artisanale de natron dans les régions de Zinder et du Dallol Bosso. Mini projet de mise en place d’une unité pilote de production de carbonate de sodium.
- [11] Haoua, A., Mahaman Sani, L., Abdou Salam, M., Hama, A. (2020). Contribution of statistical and hydro-chemical methods of the waters of the Dallol Bosso area in Fillingué and Ballayara departments.
- [12] Hamadou, O. (2014). Contribution à l’étude de la vulnérabilité des eaux souterraines face aux activités agricoles et stratégiques d’adaptation des populations : cas de la nappe phréatique du Dallol Bosso dans le département de Ballayara au Niger. Mémoire de Master en gestion concertée des ressources naturelles, centre régional AGRHYMET.
- [13] Adamou, M. (2014). Impacts des activités agricoles sur l’état quantitatif et qualitatif de la nappe des Dallols au Niger : cas du Dallol Maouri dans la région de Dosso. Mémoire de Master GCRN/GIRE, centre régional AGRHYMET.60p.
- [14] Balkissa, O.I. (2016). Evaluation quantitative et qualitative de la nappe alluviale de Dallol Bosso : cas des départements de Birni N’Gaouré et Falmey. Mémoire en prospection et gestion des ressources en Eau souterraine, FAST/UAM de Niamey. 70p.
- [15] Salifou, B., Boureima, O. (2019). Impacts de la recharge sur la piézométrie et la minéralisation de la nappe phréatique du kori de Dantiandou (sud-ouest Niger). Institut de recherche pour le développement, Niger.
- [16] Rodier, J., Legube, B., Merlet, N., Coll. (2009). *Analyse de l’eau*, 9^e édition. Paris, 2009 ; 1579 pages.
- [17] Maglione, G. (1968). Présence de gaylussite et de trona dans les « natronières » du Kanem (pourtour nord-est du lac Tcad) In : bulletin de la société française de minéralogie et de cristallographie, volume 91, 4,1968.pp.388-395. Fichier pdf généré le 18/ 03/ 2019.
- [18] Bouvier, C. (1994). Le natron du Lac et du Kanem: première approche de la question. N’djaména, Association française des volontaires du progrès (AFVP), 23p.
- [19] Harou, M. (2013). Mise en valeur des ressources en eau dans le Dallol Bosso. Mémoire de master, Université Abdou Moumouni, Niger, 74p.
- [20] Abdoul-Aziz, I. (2022). Extraction et commercialisation du natron à Balleyara. (ONEP), envoyé spécial. Disponible sur : <https://www.lesahel.org/presentation-des-voeux-du-nouvel-an-au-palais-de-la-presidence>. Consulté Le 15 / 01 / 2022.
- [21] Saidou, D.H., Adamou, D.T., Malm Boukar, A., Boubacar, Y. (2018). Analyse du système de production et commercialisation des ressources naturelles dans les cuvettes oasiennes de Gouré. *Geo-Eco-Trop*, 2018, 42,2 : 361-372.
- [22] Karimou, B.M., Tychon, B., Ousseini, I., Ambouta, K., Laminou, M.O. (2018). Analyse de l’évolution des paysages de cuvettes oasiennes et de leurs alentours dans le centre-Est du Niger. *Geo-Eco-Trop*, 42 : 259-273.
- [23] Dotsika, E., Poutoukis, D., Tzavidopoulous, I., Maniatis, Y., Ignatiadou, D., Raco, B. (2009). A natron source at Pikrolimni lake in Greece? *Geochemical evidence. Journal of geochemical exploration* 103 (2009) 133-143.
- [24] Jagniecki, E., Lowenstein, T. (2015). Evaporites of Green River formation, bridger and piceance creek basins : diagenesis, paleobrine chemistry, and eocene atmospheric CO₂. *Stratigraphy and paleolimnology of the Green River formation, western USA*.