

CARACTERISATION DES PRINCIPALES EVAPORITES DES OASIS DU KAWAR (NORD-EST DU NIGER)

MALAM MOUSSA Dagrama¹, TIDJANI Adamou Didier¹, SAIDOU Hassidou², GUERO Yajji¹,
AMBOUTA Karimou¹

¹Université Abdou Moumouni de Niamey, République du Niger

²Université Dan Dicko Dan Kolodo de Maradi, République du Niger

Résumé :

Parmi les ressources biophysiques des oasis du Niger, le sel occupe une place importante. Dans les oasis de Bilma situées au nord-est du Niger, l'exploitation artisanale des sels se fait dans les oasis reliques des lacs fossiles et dans les oasis à eau saumâtre et affleurante. Ce travail a pour but de caractériser les principaux sels des oasis de Bilma afin de dégager leur aptitude à la consommation humaine et animale. La méthodologie est basée sur les échantillonnages des sels dans les salines et natronières puis une analyse aux rayons X dans un laboratoire au Nigéria. Des enquêtes socio environnementales ont été effectuées auprès des oasiens pour s'enquérir de leur système de production. Les résultats montrent que les modes d'accès à ces salines sont restés ancestraux. Les mesures des conductivités électriques indiquent que les eaux des salines ont une forte conductivité par rapport à celles des mares natronières. Les analyses aux rayons X montrent que la composition des sels de cuisine de Bilma (B1) est dominée par la burkeite (60%), de Fachi (F1) par la Thenardite (79,62%) et de Siguidine (S1) par d'analcite (83,67%). L'halite (NaCl) est présente dans ces trois sels de cuisine (B1, F1 et S1) dans une proportion variable. Les sels à lécher des trois sites sont principalement composés de la Thenardite et les natrons (A1 et A2) par le trôna. Le minéral B3 est composé en majorité de la Thenardite et du quartz. Ces sels sont utilisés dans l'alimentation humaine et animale. Ils sont aussi utilisés comme savon, remède contre certaines maladies telles que la constipation et les brûlures d'estomac. Pour valoriser ces sels, il faut moderniser les systèmes d'exploitation afin qu'ils soient consommés sans aucun danger et devenir compétitifs sur les marchés.

Mots clés: Evaporites (sel), gypse, oasis, Kawar, Niger

Abstract:

Among the biophysical resources of the oases of Niger, salt occupies an important place. In the oases of Bilma located in the north-east of Niger, the artisanal exploitation of salts is done in the relic oases of fossil lakes and in the oases with brackish and outcropping water. This work aims to characterize the main salts of the Bilma oases in order to identify their suitability for human and animal consumption. The methodology is based on the sampling of salts in the saltworks and natronières then an X-ray analysis in a laboratory in Nigeria. Socio-environmental surveys were carried out among oasis dwellers to inquire about their production system. The results show that the modes of access to these saltworks have remained ancestral. The electrical conductivity measurements indicate that the waters of the saltworks have a high conductivity compared to those of the natron ponds. X-ray analyzes show that the composition of cooking salts from Bilma (B1) is dominated by burkeite (60%), from Fachi (F1) by Thenardite (79.62%) and from Siguidin (S1) by d analcite (83.67%). Halite (NaCl) is present in these three cooking salts (B1, F1 and S1) in a variable proportion. The lick salts of the three sites are mainly composed of Thenardite and natrons (A1 and A2) by the trôna. The mineral B3 is mainly composed of Thenardite and quartz. These salts are used in human and animal food. They are also used as soap, remedy against certain diseases such as constipation, heartburn. To valorize these salts, it is necessary to modernize the exploitation systems so that they are consumed without any danger and become competitive on the markets.

Keywords: Evaporite (Salt), gypsum, oasis, Kawar, Niger

Introduction

Actuellement, il existe plusieurs types de dépôts évaporites dans les formations du quaternaire des terres africaines, mais très peu sont exploités industriellement. Ce sel provient de dépôts formés par l'évaporation des lacs intérieurs [1]. La plupart des ménages africains consomment le sel marin. Par exemple, le trona, un sel non marin est couramment utilisé dans l'Est, l'Ouest et le Centre de l'Afrique et c'est le deuxième sel le plus utilisé en maisons nigériennes [2]. Les ménages nigériens, à l'instar de beaucoup d'autres pays africains, consomment les sels marins provenant de l'Europe et de l'Asie, malgré l'existence de plusieurs gisements de sels non marins. Au Niger, le sel et le natron sont exploités dans plusieurs sites notamment dans la commune d'Ingal, les oasis du Kawar, dans le dallol Bosso et Maouri et dans les cuvettes du Manga et du Damagaram. Aucune estimation de ces gisements n'a été faite pour le moment. Les oasis du Kawar, situées au Nord-est du Niger, disposent de potentiels salifères importants [3], [4]. En 2019, les superficies des salines en activités sont estimées à 163,66 ha et à 8,45 ha pour les natronières [5]. Pour les salines, moins de 1/3 de la superficie des sols salés est exploité actuellement. En effet, au quaternaire les vallées de Tafassasset, du Kawar et des

grands fleuves sahariens constituaient des forêts galeries. Cette histoire paléoclimatique de la région associée aux deux grands systèmes d'aquifères (Bilma et Djado) confère à ces oasis l'existence de sources d'eau parfois artésiennes, de nappes salifères moins profondes qui affleurent par endroit pour former des mares saumâtres [6]. Ces sels sont exploités de façon artisanale dans les dépressions des oasis. Plusieurs types de sels sont exploités notamment le sel gemme, le sel à lécher, le natron rouge et blanc et le gypse [5]. Ils sont vendus dans les marchés du pays et au Nigeria via des camions et par commerce transnigérien à travers les caravaniers [7]. Environ 20.000 tonnes de sels sont exploités rien que dans les salines de Bilma [8] et 10000 tonnes de natron dans les natronières d'Achounouma et d'Argui dans la commune de Dirkou [8]. Mais le prix de vente de ces sels est peu profitable, comparé au prix sur les marchés du pays compte tenu du coût du transport. Un sac de 100 kg de sel ou natron est transporté à Agadez à 5000 F CFA [9], soit deux fois son prix de vente. Le sel gemme est extrait dans les salines de Bilma, Fachi et de Siguidine. Celui de Bilma est plus apprécié par les consommateurs locaux et par les caravaniers du fait de son meilleur goût comparé aux autres. Quant au sel de Siguidine, il a pour particularité sa couleur très attirante (blanchâtre), qui donne une

impression de pureté. Aucune caractérisation de ces sels n'a été faite pour le moment, d'où l'objet de ce travail qui a pour but de caractériser les principaux sels et natrons des oasis du Kawar afin d'apprécier leur qualité minéralogique et chimique.

Matériel et méthodes

Présentation de la zone d'étude

Situé à l'extrême nord-est du pays, le département de Bilma est limité au nord par l'Algérie et la Libye, au sud par le département de Gouré et de N'Guigmi, à

l'Est par la République du Tchad et l'Ouest par les départements de Tchirozérine, Iférouane, Timia et d'Aderbissinat. Compris entre 18° et 23°25'' de latitude Nord et 11° et 16° de longitude Est. Il couvre une superficie de 278 880 km², soit 44,47 % de la superficie de la région et 22,01 % de la superficie totale du pays, les oasis occupant seulement 89 146,35 ha (Fig.1). Ces oasis font partie des oasis des zones traditionnelles du Niger et sont classées dans la catégorie des oasis à nappe. Elles sont alimentées par les nappes d'eau fossiles et peu rechargées par les précipitations. La figure 1 montre la localisation des oasis du Kawar.

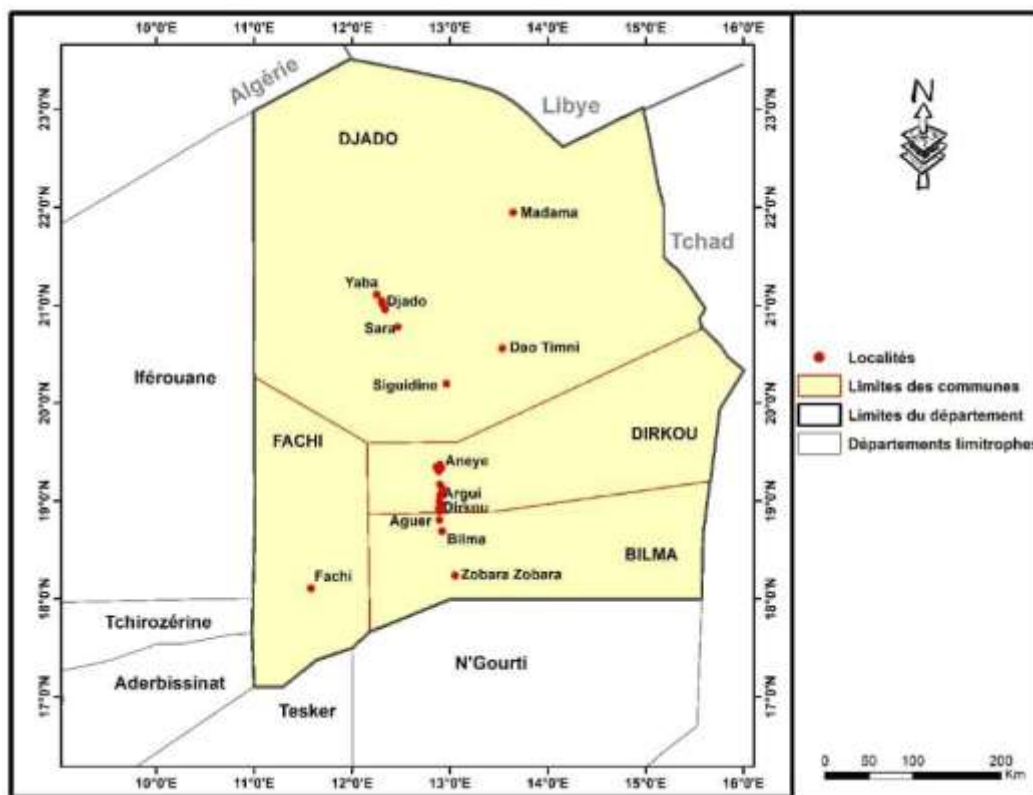


Figure 1 - Localisation des oasis du Kawar

Caractéristiques climatiques

Du point de vue climatique, la région étudiée appartient à la zone saharienne du Niger oriental (pluviométrie moyenne de 15,9 mm, température moyenne maximale de 35°C et évaporation de l'ordre de 3000 mm). Le changement climatique se fait surtout sentir à travers l'augmentation de la vitesse du vent et de la température.

Géologie

Les dépôts salins se localisent au fond des dépressions interdunaires qui constituent les oasis du Kawar. Ces oasis présentent des degrés de salinisation et d'alcalisation variés, allant des simples efflorescences de surface jusqu'aux salines activement exploitées dans certaines oasis dans lesquelles toute la couche de sol au-dessus de la nappe phréatique est le siège d'une intense accumulation de sels.

Dans le département de Bilma, on distingue deux grands ensembles géologiques d'après les travaux de Gregert cité par [10] à savoir :

- Le bassin du Djado : d'axe Nord-Ouest, Sud-Est, il repose sur un socle ancien (précambrien) ; le remplissage de cette cuvette d'une épaisseur de 2000 m comprend schématiquement de bas en haut les grès et les sables de cambro-Dorien, les calcaires argileux du carbonifère en discordance, les argiles et les grès formant la couverture permienne et crétacée (grès de Nubie du plateau du Manguini) discordante sur le carbonifère ;
- Le bassin de Bilma : Il comprend toutes les formations crétacées à l'Est de la ligne Fachi- Achegour jusqu'au Tchad, et au sud du bassin de Djado jusqu'au lac Tchad. Il repose sur le

socle précambrien. On peut distinguer de bas en haut : le continental intercalaire, les séries marines du crétacé inférieur, les séries continentales gréseuses de Bilma et de Séguédine, les séries marines du crétacé supérieur. Le bassin de Bilma est marqué par une falaise haute de 100 à 150 m.

L'histoire géologique et paléoclimatique de cette région montre des formations de séries marines d'âge crétacé. Elles sont à l'origine des dépôts des évaporites après la régression marine. Depuis des siècles, ces dépôts montent en surface à travers un mouvement ascensionnel dans les zones des failles et sont couvertes par des dépôts quaternaires (sable, grès, graviers, etc.). Le creusement des salines dans ces zones jusqu'à la nappe phréatique donne naissance à une saumure (4 à 6 m de la surface) où le sel gemme précipite après l'évaporation en surface du bassin. Par endroits, les roches salifères cristallisent et affleurent en subsurface couvertes par d'autres roches sédimentaires superficielles. Dans les salines du Kawar, les sauniers creusent ces roches salifères, les concassent et les mélangent avec de l'eau et de l'argile sortie des basins salifères pour fabriquer le sel à lécher. Quant au natron, il est aussi obtenu dans l'environnement géologique similaire au sel, mais il se forme dans les mares après leur assèchement.

Echantillonnage et couleur des sels

Neuf (9) échantillons de sels ont été prélevés dans quatre (4) salines et dans deux natronières des oasis du Kawar. Ces sites sont situés dans les zones non loin des agglomérations urbaines. Trois (3) échantillons ont été prélevés dans la saline

de Bilma, deux (2) à Fachi, un (1) à Ayama d'Achounouma, un (1) à Barara d'Argui, un (1) aussi dans les salines de Siguidine et un (1) à Yaba. Pour les sels de cuisine, les prélèvements ont été effectués à l'aide d'une pelle et pour les sels à lécher et le gypse, un morceau a été coupé à l'aide d'un marteau et mis dans un sac pour transport au laboratoire d'analyse. Le code Munsell a été utilisé pour déterminer les couleurs. Pour faciliter la compréhension,

la première lettre de chaque oasis a été utilisée pour désigner les sels et les natrons par ordre. Ainsi, les sels de Bilma sont désignés comme suit : B1 : Sel de cuisine, B2 : Sel à lécher, B3 : Gypse ; Sel de Fachi : F1 : sel de cuisine, F2 : Sel à lécher ; celui de Siguidine : sel de cuisine est désigné par S1 et le sel à lécher de Yaba par Y1. Le tableau 1 montre les différents types de sels avec leurs couleurs.

Tableau 1 - Couleurs déterminées avec le code Munsell de principales évaporites

Typologie des sels	Désignation	Couleur
1. Sel gemme Bilma	B1	7, 5 YR 8/1 (Blanc)
2. Sel de lécher Bilma	B2	2,5 Y 7/3 (brun pâle)
3. Gypse Bilma	B3	10Y 6/2 (Grisâtre au brun foncé)
4. Sel gemme Fachi	F1	7, 5 YR 8/1 (Blanc)
5. Sel lécher Fachi	F2	7,5 YR 8/2 (blanc rosâtre)
6. Natron d'Achounouma	A1	2,5 YR 8/3 (Rose)
7. Natron d'Argui	A2	N/9,5 (Blanc)
8. Sel gemme Siguidine	S1	N/9,5 (Blanc)
9. Sel à lécher Yaba	Y1	2,5 YR 8/2 (Blanc)

Analyse au laboratoire

Détermination du pourcentage de résidus

Deux (2) grammes de chaque échantillon ont été pesés sur une balance de précision (Mettler modèle MT-2000) et introduits dans un bécher. Puis après en ajoutant 100 cm³ d'eau ultra pure, chaque échantillon a

été agité pendant une durée de 20 minutes et filtré à l'aide d'un filtre de 0,45 µm de maille. Le résidu restant a été séché à 100°C pendant 4 heures dans une étuve et placé dans un dessiccateur, après quoi le solide a été pesé et son pourcentage a été déterminé comme suit :

$$\text{résidu \%} = \frac{(m_1 - m_0)}{m_{P.E}} \times 100 \quad (1)$$

m_0 : masse du filtre ; m_1 : masse du filtre + masse du résidu ; $m_{P.E.}$: masse de l'échantillon d'essai.

Le pourcentage d'ion d'un sel est :

$$Ion\% = \left(\frac{C_{ion}}{C_{ev}} \right) \times 100 \quad (2)$$

où C_{ion} est la concentration de l'ion et C_{ev} est la concentration de l'échantillon. Notez que C_{ion} et C_{ev} sont exprimés en gramme par litre. Les spectres de diffraction des rayons X des solides séchés ont également été enregistrés.

Détermination de la Concentration ionique

Le filtrat obtenu a été récupéré pour déterminer la composition ionique de chaque solution. Ainsi, les concentrations de sodium, potassium, chlorure, bicarbonate, fer, sulfate, magnésium et ions étaient déterminés. Le sodium et le potassium ont été déterminés avec un photomètre de flamme, technologies de

type BWB. Le chlorure a été déterminé avec un potentiomètre type 716 DMS Titrimo. Le bicarbonate a été déterminé à l'aide d'une méthode volumétrique. Le fer, le magnésium et le calcium étaient déterminés par absorption atomique avec un spectrophotomètre type AAS Vario6. Le sulfate a été déterminé par gravimétrie, méthode utilisant le réactif au chlorure de baryum.

Mesure de la densité de l'échantillon

L'échantillon B1 a été prélevé comme exemple pour déterminer sa densité. Ainsi, 10 g de cet échantillon (préalablement broyé) a été dissous dans 30 cm³ de solution ultrapure l'eau. Après filtration, le poids de 5, 10, 15, 20, 25 et 30, 35, 40 et 45 cm³ ont été enregistrés à l'aide d'une balance de précision. La densité (g·cm⁻³) est :

$$d = \frac{m_1}{5} = \frac{m_2}{10} = \frac{m_3}{15} = \frac{m_4}{20} = \frac{m_5}{25} = \frac{m_6}{30} = \frac{m_7}{35} = \frac{m_8}{40} = \frac{m_9}{45} \quad (3)$$

$d = m_1/5 = m_2/10 = m_3/15$ où m_1, m_2, m_3, m_4, m_5 et m_6 sont la masse en g de 5, 10, 15, 20, 25 et 30, 35, 40 et 45 cm³ de filtrat obtenu.

Expérience de recristallisation

Après avoir déterminé la densité, 15 ml du filtrat ont été introduits dans un cristalliseur et aéré à température ambiante. Après 7 jours, des cristaux blancs étaient formés. Le spectre de diffraction des rayons X des cristaux obtenus a été enregistré à l'aide du même diffractomètre à rayons X que précédemment. Les 15 ml restants ont également été introduits dans un cristalliseur et placés au réfrigérateur. Après 30 min, des cristaux blancs ont également été formés comme mentionné précédemment. Le spectre de diffraction des rayons X a également été enregistré.

Enquête socioéconomique

Une enquête a été réalisée à travers un focus groupe dans ces oasis au niveau des salines et des natronières pour s'enquérir du système de production et de commercialisation des sels. L'enquête a concerné non seulement les sauniers âgés ayant vécu au moins 20 ans dans l'activité salifères mais aussi les autorités communales, coutumières et les services techniques de l'environnement, de la santé et du plan. Les points abordés portent notamment sur les modes d'accès aux salines, les systèmes de production et de commercialisation et les différents usages des sels, certains aspects financiers, sans

oublier les contraintes liées au système de production.

Résultats et discussion

Modes d'accès aux salines

Dans les oasis du Kawar, l'exploitation des sels et des natrons sont des activités séculaires. L'accès à ces salines se faisait de façon ancestrale et diffère selon les salines, natronières et les oasis. Au niveau des salines de Bilma, c'est le chef de canton qui donne l'ordre de creuser une saline et qui confère le titre de propriété aux sauniers. Chaque année après la récolte des dattes, le chef de canton de Bilma arrête l'exploitation du sel pour une période d'environ quatre (4) mois pour éviter une surexploitation des sels. La date de l'ouverture est fixée par le chef de canton. En dehors de la période officielle d'exploitation, les sauniers se rendent dans leurs salines pour remettre en état leurs bassins et en retirer le sel gemme, mais la fabrication du sel pour bétail (Fochi et Kantou) est strictement interdite. L'ouverture de la fabrication des pains de sel est conditionnée par un rituel. Elle se faisait toujours un lundi après avoir récité des versets de coran à la mosquée. Pour le coup d'envoi officiel des activités de fabrication des sels, sept (7) kantou et sept (7) fochis sont fabriqués dans une saline du chef de canton en exercice. Néanmoins, si

la demande est élevée, le chef de canton écourte la durée de la fermeture de fabrication des salines. Dans les salines de Fachi et du Djado, l'accès est libre pour toute personne qui souhaite creuser une saline. Les salines sont acquises aussi par voie indirecte (don, héritage, gage, achat). Les natrons sont extraits de deux natronières : à Achounouma dans la mare d'Ayama et à Argui dans la natronière de Barara. Ces mares sont des biens publics des collectivités. A Achounouma une partie de la mare (la partie Ouest) est ouverte à toute la population du kawar qui souhaite participer à l'exploitation et la partie Est appartient aux autochtones. La période d'extraction intervient généralement après l'assèchement de l'eau de la mare. Elle est indiquée par le chef du village. Chaque exploitant travaille pour son propre compte. Dans les cuvettes oasiennes du Sud-est du Niger, où on exploite le natron, l'accès aux sites d'extraction est différent de celui du Kawar [5] car le natron est une propriété exclusive des chefs de canton dont relèvent les cuvettes oasiennes, les exploitants

travaillant sous forme de main d'œuvre [11], [12]. Dans les natronières du Lac et du Kanem au Tchad, c'est aux chefs de l'eau qui ont une connaissance empirique des conditions de cristallisation, que revient la décision de la fermeture ou de l'ouverture des ouadis [13]. A Borkou au Tchad, où cette exploitation semble être très importante, les mineurs sont beaucoup plus organisés, mais les bénéfices qu'ils en tirent [14] ne semblent pas meilleurs à ceux des cuvettes oasiennes du Sud-est nigérien.

Conductivités électriques des saumures utilisées pour la production de sel et de natron

Dans les oasis du Kawar, les sels sont exploités à partir des eaux salifères et les natrons des saumures des mares après l'assèchement des eaux. Les conductivités électriques mesurées in situ dans les salines et natronières varient de 12710 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à 170000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (figure 2). Les salines concernées par ces mesures sont indiquées dans la figure 2.

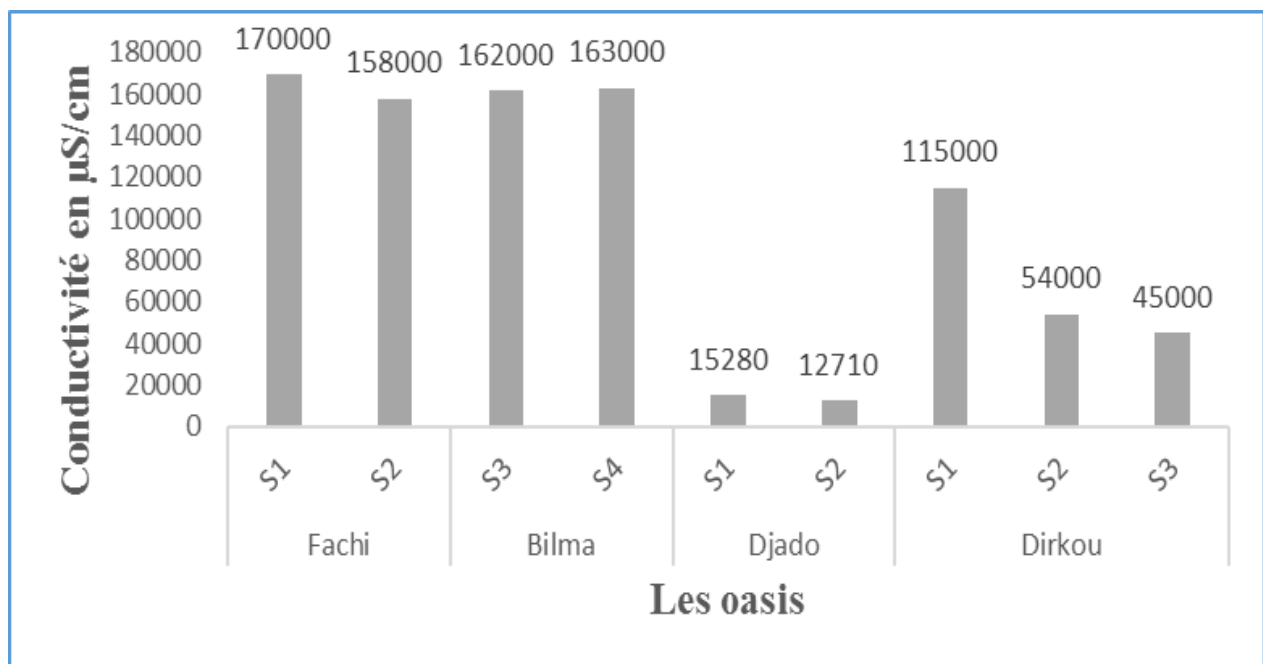


Figure 2 - Conductivités électriques de quelques saumures (salines, et mares salifères), mesurées au Kawar en période de haute eau (Décembre 2020).

Cette forte différence observée peut s'expliquer non seulement par le contexte géologique variable d'un site à un autre mais aussi et surtout par le fait que les mesures ont été réalisées au cours du mois de décembre correspondant à une période où, dans les zones sahélo-sahariennes nigériennes, l'évaporation est plus élevée qu'en zones sahariennes. Ces résultats corroborent ceux de [15] dans trois lacs salés permanents de la vallée d'Oued Righ (Sahara septentrional, Algérie nord-est).

Caractéristiques chimiques des minéraux contenus dans les sels du Kawar

Quatre catégories de sels ont été analysées. Il s'agit du sel gemme avec trois (3) échantillons, du sel à lécher avec trois (3) échantillons, du natron avec deux (2) échantillons et du gypse avec un (1) échantillon. Le tableau 2 montre les minéraux rencontrés dans les échantillons de sels du Kawar.

Types d'usages des sels

Suivant la spécificité de chaque sel, ces différents minéraux se combinaient pour donner les sels utilisés par les humains. Les sels gemment, les sels à lécher, le natron ont les mêmes appellations mais les analyses effectuées révèlent qu'ils n'ont pas la même composition.

Tableau 2 : Minéraux rencontrés dans les sels du Kawar

Nom local du sel	Formule	Description minéralogique et utilisation	Bilma	Dirkou	Fachi	Djado
Trona	$\text{Na}_2\text{CO}_3\text{NaHCO}_3(\text{H}_2\text{O})_2$	Minéral caractéristique des produits d'évaporation des lacs, souvent à eaux saumâtres, des régions désertiques. Très soluble dans l'eau, de goût alcalin, stable à l'air sec, non hygroscopique, Il sert à la fabrication de la soude ou carbonate de sodium		×		
Halite	NaCl	Minéral incolore à blanchâtre à l'état pur. Il se cristallise dans le système cubique, densité de 2,1 à 2,2 et de dureté 2,5. Il est utilisé dans la cuisine, dans l'industrie (fabrication des papiers, le réglage de teinte des textiles et des tissus, la production de savon et détergents). Il est aussi adoucisseur de l'eau.	×	×	×	×
Burkeite	$\text{Na}_4(\text{SO}_4)_{1,45}(\text{CO}_3)_{,55}$	Système orthorhombique et de densité 2,57 Il rentre dans la fabrication du savon.		×		
Stishovite	SiO_2	Minéral silicaté, polymorphe tétragonale. Densité 4,29 à 4,35. Il est utilisé dans la décoration, le sablage industriel, l'épuration de l'eau, joaillerie. Il rentre dans la composition de la vitre	×			
Quartz	SiO_2	Système rhomboédrique, densité 2,65 et de dureté 7. Il est utilisé dans la décoration, le sablage industriel, l'épuration de l'eau, joaillerie, rentre aussi dans la composition de la vitre.	×			
Anatase	TiO_2	Système cristallin tétragonal, avec de trace de fer, densité 3,9 à 4, dureté 5,70. Il est utilisé en industrie tel que le caoutchouc, la peinture, les papiers, les textiles, les cosmétiques et les composés alimentaires. Il est aussi utilisé dans les composants photovoltaïques : Pour la production d'électricité, dans les applications pour la photocatalyse, pour le procédé d'autonettoyage et des désinfections ainsi que pour le	×			

Nom local du sel	Formule	Description minéralogique et utilisation	Bilma	Dirkou	Fachi	Djado
		contrôle du comportement hydrophile de surface.				
Aphthilatite	$\text{NaK}_3 (\text{SO}_4)_2$	Système cristallin : Hexagonal, densité 2,6 à 2,7. Il rentre dans la composition du clinker.	×	×		
Thernadite	Na_2SO_4	Cristal du système orthorhombique en pyramide, parfois aux cristaux tabulaires, les macles sont fréquentes. Utilisé dans l'industrie de verre et de la soude	×		×	×
Vaterite	CaCO_3	Il se cristallise dans le système hexagonal. Il est Polymorphe de la calcite et de l'aragonite. Il est utilisé pour créer des pierres de décoration ou de construction. Il peut être utilisé pour fondre le verre en métallurgie, mais aussi pour fabriquer les engrais ect..			×	
Analcite	$\text{NaAl} (\text{SiO}_3)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	Système cristallin : Triclinique, transparent à translucide, dureté 4 et de densité 3,01 à 3,25. Il est un bon engrais et décontaminant des sols. Il est utilisé pour la croissance des animaux d'élevage et dans l'aquaculture et dans la lutte contre les champignons et les bactéries.				×
Ternesite	$\text{Ca}_5 (\text{SiO}_4)_2 (\text{SO}_4)$	Minéraux silicaté (nésosilicate). Il rentre dans la composition du clinker comme l'aphthilatite			×	
Dolomite	$\text{CaMg} (\text{CO}_3)_2$	Système cristallin : rhomboédrique, dureté 5 et à l'éclat vitreux. Il est source de magnésium, réfractaire, ornemental, ciments spéciaux et fondant ect.				×
Blodite	$\text{Na}_2 \text{Mg} (\text{SO}_4)_2 (\text{H}_2\text{O})_4$	Système cristallin monoclinique, minéral dur, densité 2,23 et a un éclat vitreux. Minéral typique du lac salé.				×

Sel de cuisine (B1, F1 et S1)

Le sel gemme ou sel de cuisine communément appelé « Yargal » en kanouri et « Gréni » en toubou, est exploité dans trois salines du Kawar. Il s'agit des

salines de « Kalala » de Bilma (B1), de Fachi (F1) et de Siguidine (S1). Le tableau 3 montre la composition minéralogique (le volume exprimé en 10^6 m^3 en haut et son pourcentage en bas) des trois sels gemmes des oasis du Kawar.

Tableau 3 : Composition minéralogique de sel cuisine de trois salines du Kawar

Minéraux détectés Saline	Halite	Burkeite	Stishovite	Thenardite	Analcite	Dolomite
Bilma	179,41 (32%)	337,42 (60%)	45,96 (8 %)			
Fachi	179,41 (20,38 %)			700,99 (79,62 %)		
Siguidine	179,79 (5,85 %)				2571,35 (83,67 %)	322,21 (10,48 %)

Les résultats des analyses montrent, que le sel de cuisine de Bilma est principalement composé de Burkeite, le sel de Fachi de Thenardite et celui de Siguidine d'Analcite (tableau 3). Le minéral commun à ces trois sels est l'Halite (tableau 3). Cependant, selon l'Organisation Internationale du Commerce et la Norme (Codex), un sel de cuisine est considéré de bonne qualité, lorsque sa teneur en NaCl est supérieure à 97 % [16]. Les sels analysés sont donc loin de cette norme. Les proportions des autres minéraux dans ces sels sont très élevées, ce qui affecte considérablement leur qualité et par conséquent leur valeur marchande. Ce résultat corrobore celui rapporté dans les travaux de [17] sur la caractérisation de six (6) évaporites au Niger parmi lesquelles figuraient deux sels des oasis du Kawar. Ces sels utilisés

localement dans l'alimentation humaine sont surtout destinés à l'industrie pour la fabrication de chlore, d'hydroxyde de sodium et d'autres produits industriels connexes de dégivrage des routes, d'adoucissement de l'eau, d'additif de piscine et d'additif d'alimentation [18]. Les principales contraintes de l'exploitation et de la commercialisation des sels demeurent l'ensablement des salines, certaines maladies respiratoires et l'effet corrosif de l'eau. Cet effet corrosif du sel est dû à la présence de l'ion sodium dans la composition des sels. Pour booster la production et améliorer la qualité en termes de teneur en NaCl des sels des oasis du Kawar, il est judicieux de moderniser le système de production pour purifier ces sels afin qu'ils deviennent compétitifs tant sur le marché local que national.

✓ **Sel à lécher (sel pour bétail) (B2, F2 et Y1)**

Sel à lécher communément appelé « manda loumané » en kanouri, est fabriqué dans les salines de Bilma, Fachi et du Yaba. Le système d'exploitation diffère très peu d'une saline à une autre. Une fois les bassins salifères débarrassés de leur sel de cuisine, la couche solidifiée est cassée avec la barre à mine, retirée du bassin puis réduite en poudre à l'aide de bâtons et de marteaux. Le produit obtenu est malaxé avec de l'eau et moulé en pains de deux types : le kantou (pain de 20kg) et de fochi (galette de 3 kg). Les minéraux détectés dans ce type de sel sont : Halite, Quartz, Burkeite, Vaterite, Anatase, Thernadite, Analcite, Aphthilatite, Ternesite et Blodite

(tableau 3). Le Quartz, l'Anatase et l'Aphthilatite sont uniquement présents dans le sel B2 de Bilma. La Ternesite et Vaterite sont spécifiques au sel F2 de Fachi et la Blodite a été trouvée uniquement au niveau du sel de Yaba (Y1). Le polymorphe (Calcite) de Vaterité a été détecté par [17] dans les évaporites d'Agadez, Bilma, Dirkou et de Zinder.

Le sel de Bilma est celui qui contient le plus de minéraux parmi les trois types de sels analysés. Cette hétérogénéité s'explique par le mélange des minéraux cristallisés en dehors de la saline dans la fabrication de ce sel. Le tableau 4 montre la composition minéralogique (10^6 pm^3 en haut et son pourcentage en bas) des trois sels pour bétail dans trois salines du Kawar.

Tableau 4 : Composition minéralogique de trois sels à lécher pour bétail dans trois salines du Kawar

Minéraux détectés	Salines									
	Halite	Burkeite	Quartz	Vaterite	Anatase	Thenardite	Analcite	Aphthilatite	Ternesite	Blodite
Bilma	178,26 13,44 %	2,57 0,19 %	112,2 8 8,47%	130,3 6 9,38 %	700,99 52,87 %			201,54 15,20 %		
Fachi	179,41 7,39 %	337,42 (13,91 %)		125,4 1 5,17 %		709,54 29,24 %			1075,1 2 44,30 %	
Yaba	179,41 12,95 %					709,54 51,10 %				498,8 7 35,94 %

Les résultats des analyses aux rayons X montrent que les compositions

minéralogiques des trois types de sels sont en majorité dominées par la Thenardite,

avec respectivement 52,87 % et 51,10 % pour le sel de Bilma et du Yaba et par la Ternesite à Fachi (Tableau 4). Le minéral Halite est aussi présent dans les trois sels respectivement à hauteur de 13,44 %, 7,39 % et 12,95 %. Ces sels sont destinés à l'alimentation des animaux en particulier des vache, des veaux, des dromadaires, des chèvres et des moutons ; la consommation de ces sels par les animaux les inciterait à boire davantage d'eau pour les dissoudre et favoriser leur passage dans l'organisme, conférant ainsi à leur chair une saveur particulière très prisée par les consommateurs de viande comme rapporté dans les travaux [19] dans les salines de

Salins-les-Bains dans la région du Midi en France. Le sel à lécher de Bilma (B2) est aussi le plus apprécié par les caravaniers par rapport à celui de Fachi (F2) et Yaba (Y1) selon les oasiens enquêtés du fait de sa teneur plus élevée en NaCl.

✓ **Gypse (B3)**

Ce type de sel est communément appelé « bararam ». Il est extrait uniquement dans les salines de Bilma (B3). Sous forme de solution aqueuse, il est utilisé par les populations pour soigner les maux de ventre. Le tableau 5 montre la composition minéralogique (10^6 pm³ en haut et son pourcentage en bas) du gype extrait de la saline de Bilma.

Tableau 5 : Composition minéralogique de l'extrait de gypse de la saline de Bilma

Minéraux détectés Oasis	Thernardite	Quartz
	Bilma	709,54 86,16 %

Le résultat de l'analyse aux rayons X montre qu'il est composé en majorité de Thenardite (Na_2SO_4) (86,16%) et de Quartz (SiO_2) (13,80 %) et il ne renferme aucune trace de chlorure de Sodum (NaCl). Alors que [20] n'a observé la présence du Quartz que dans les évaporites du Soudan et du nord de la Tanzanie, [21] ont trouvé systématiquement ce minéral dans les six échantillons prélevés des

évaporites d'Abalak, Agadez, Dirkou, Bilma, Niamey et Zinder.

✓ **Natron (A1 et A2)**

Le natron, connu sous le nom de « koulfou » en kanouri et « oro » en toubou, est exploité dans deux mares saumâtres du Kawar. Il s'agit de la mare d'Ayama (Achounouma) et celle de Barara (Argui). Le mode d'extraction est le même

dans le deux natronières. Il consiste à casser avec des barres à mine les dépôts des natrons formés dans les mares après assèchement d'eau. Les minéraux présents dans ces échantillons sont : le Trona, la

Halite, la Burkeite et l'Aphthilatite (tableau 3). Le tableau 6 montre la composition minéralogique (10^6 pm^3 en haut et son pourcentage en haut) des deux natronières du Kawar.

Tableau 6 : Composition minéralogique de natron dans deux natronières du Kawar

Minéraux détectés	Trona	Halite	Burkeite	Aphthilatite
Oasis				
Achounou ma	706,54 57,86 %	178,26 14,60 %	336,33 27,54 %	
Argui	704,87 56,6 %		335,92 26,97 %	204,66 16,43 %

Les résultats de l'analyse aux rayons X, montrent que les deux natrons (A1) et (A2) sont principalement composés du Trona 57,86 % et 56,60% respectivement dans la natronière d'Achounouma et d'Argui (Tableau 6). Ce minéral a été détecté par Nielsen (1999) lors de son étude de Magadi en Afrique de l'Est. Le minéral Burkeite est aussi présent dans ces natrons dans une proportion de 27,97% et 26,43 % respectivement dans A1 et A2. Quant aux minéraux Halite et Aphthilatite, uniquement présents dans le natron A1 pour le premier et A2 pour le second, ils n'apparaissent qu'en de faibles proportions respectivement 14,60 % et 16,43%. Le natron A1 est utilisé localement et un peu partout au Niger dans la cuisson des aliments. Cette propriété est due aux ions bicarbonates contenus dans le Trona car

ces ions sont connus pour réduire le temps de cuisson des aliments ; il est utilisé aussi pour soigner les maux de ventre selon les populations enquêtées. Quant au natron A2, il est directement exporté vers le Nigeria où il est utilisé dans l'industrie ; il n'est en revanche pas utilisé dans la cuisson des aliments car ne contenant point du chlorure de sodium (NaCl). Ces résultats et usages corroborent ceux rapportés par [11], [12], [22] dans leurs travaux sur les cuvettes oasiennes du Manga et du Damagaram. Ainsi donc, contrairement aux natrons des oasis du BET (Borkou, Ennedi et Tibesti) au Tchad et à celui de la Vallée du Tadress dans le Nord du Niger, le natron du Kawar n'est pas utilisé dans l'élevage, ce qui le rend moins compétitif [14], [23], [24].

Conclusion

Les résultats obtenus ont montré que le mode d'accès de ces salines est demeuré ancestral et obéit à des rituels établis. Sur le plan des caractéristiques des sels des oasis du Kawar, les conductivités électriques sont très élevées dans les salines par rapport aux natronières. Les analyses aux rayons X de ces sels ont révélé que les sels de cuisine des trois salines sont en majorité dominés par la Burkeite, la Thenardite et l'Analcite respectivement à Bilma, Fachi et Siguidine. Leur teneur en chlorure de Sodium (NaCl) est faible selon la norme Codex. Les sels à lécher analysés sont composés principalement par de la Thenardite. Le Trona est la principale composante du natron A1 et A2 et le sel B3 contient uniquement de la Thenardite et du Quartz. Ces sels sont à la fois utilisés dans l'alimentation humaine (B1, F1 et S1) et animale (B2, F2 et Y1). B3 et A1 ont des effets thérapeutiques pour l'homme et utilisés aussi comme catalyseurs de cuisson du niébé du fait essentiellement de leur forte teneur en ions bicarbonates.

Cependant, ces sels sont classés comme étant de mauvaise qualité car ils ne répondent pas à la norme Codex qui exige une teneur de 97% de NaCl. Malgré les potentialités des salines du Kawar, leur mode d'exploitation expose les sauniers à des maladies dues aux effets corrosifs et irritants du minéral Thenardite que ces sels renferment. Des études complémentaires doivent être faites notamment dans le circuit d'usage des natrons et des sels surtout au Nigéria et évaluer aussi les impacts des minéraux accessoires présents dans ces sels. Au vu des importantes couches de dépôts marins d'âge secondaire et tertiaire dont regorge la zone d'étude, la mise en valeur à grande échelle de ces ressources pourrait permettre au Niger de consommer son propre sel et de disposer des matières premières pouvant impulser le développement d'un tissu industriel centré sur l'exploitation de son potentiel d'évaporites. Quand bien même ces sels constituent une source de revenus non négligeables aux oasiens et ont des vertus pour les animaux, des précautions doivent être prises pour protéger les sauniers de certaines maladies dans les salines.

Références bibliographiques

- [1] M. Iwunze, « A preliminary analysis of the constituents of the Nigerian Crude Potash,» Nigerian Journal of Science and Technology », 1998.
- [2] A. Makanjuola et J. Beetlestone, « Some chemical and mineralogical notes on kaun (trona), Journal of Mining Geology », p. 41, 1975.
- [3] S. Abdoulaye, « Caractérisation et gestion territoriales des cuvettes oasiennes de Bilma dans un contexte de changement climatique, rapport », DDE Bilma, Niger, 2012.
- [4] B. Anné, « Rapport du système de production et de commercialisation des oasis du kavar », IRD, Niger, 1982.
- [5] A. Tidjani, « Diagnostic biophysique de l'occupation des sols dans les oasis du Kavar (Fachi-Bilma-Djado-Dirkou) », Niger, 2020.
- [6] J. Greigert, « Atlas des eaux du Niger, état des connaissances ». 1978.
- [7] A. Hamit, « La piste du commerce transsaharien Tripoli-Lac Tchad : étude d'anthropologie économique et historique », These de doctorat, Paris 8, 1998. Consulté le: 17 juillet 2022. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.theses.fr/1998PA081429>
- [8] C. C Bilma, « Plan de Developpement Communal de la Commune Urbaine de Bilma (2014-2018), version finale », 2014.
- [9] C.C Dirkou, « Pan de developpement communal de la commune rurale de Dirkou (2010-2014), version finale », 2010.
- [10] M. Chégou, « Rapport d'étude sur le developpement d'une filière dattes au Kavar, ONG PROMEDIATION », 2019.
- [11] B. Sponholtz, « Phénomènes karstiques dans les roches siliceuses au Niger oriental », *Karstologia*, vol. 23, n° 1, p. 23- 32, 1994, doi: 10.3406/karst.1994.2328.
- [12] K. J. M. Ambouta, M. Guero, T. Zabeirou, et B. Mamane Amadou, *Rapport de caractérisation des sols des cuvettes et bas-fonds de la zone d'intervention du projet de lutte contre l'ensablement des cuvettes oasiennes dans les départements de Gouré et de Mainé-Soroa: possibilités d'exploitation agricole et de valorisation*. 2005.
- [13] A. K. Malam Boukar, « Système d'exploitation et potentialités économiques des cuvettes oasiennes du sud-est nigérien », Université Abdou Moumouni, Niamey, Niger, 2016.
- [14] R. Mugelé, « La Grande muraille verte au Sahel : entre ambitions globales et ancrage local », *Bulletin de l'association de géographes français. Géographies*, vol. 95, n° 2, Art. n° 2, juill. 2018, doi: 10.4000/bagf.3084.
- [15] CILSS, « Rapport de la problématique foncière au Tchad », Tchad, 1994.
- [16] G. Gouasmia, M. Amarouyache, H. Frihi, et M. Hichem Kara, « Caractérisation physico-chimique de trois lacs salés permanents de la vallée d'Oued Righ (Sahara septentrional, Algérie nord-est) », *Revue d'Ecologie, Terre et Vie*, vol. 71, n° 4, p. 330- 341, 2016, Consulté le: 7 juillet 2022. [En ligne]. Disponible sur: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03532755>
- [17] CODEX STAN 150-1985, « NORME POUR LE SEL DE QUALITE ALIMENTAIRE ».
- [18] S. Hassidou, S.; Ahmed Hichem, H. Insoluble Content, Ionic Composition, Density, and X-Ray Diffraction Spectra of 6 Evaporites from Niger Republic, Article. 2015, p 11
- [19] J. K. Waren, « Evaporites through time: Tectonic, climatic and eustatic

- controls in marine and nonmarine deposits », p. 52, 2009.
- [20] G. Ivan et G. PHILIPPE, De pierre et de sel. Les salines de Salins-les-Bains - Ivan Grassias, Philippe Markarian, Pierre Pétrequin, Olivier Weller. France, 2006. Consulté le: 7 juillet 2022. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.decitre.fr/livres/de-pierre-et-de-sel-9782840931690.html>
- [21] J. M. Nielsen, « “East African magadi (trona): Fluoride concentration and mineralogical composition,” » *Journal of African Earth Sciences*, vol. 29, p. 423- 428, 1999.
- [22] S. Hassidou, H. Ahmed Hichem, et M. Adel, « Insoluble Content, Ionic Composition, Density, and X-Ray Diffraction Spectra of 6 Evaporites from Niger Republic », Niger, p. 11, 2015.
- [23] A. Souley, « Contribution de l'hydrochimie à l'amélioration de connaissances des aquifères interdunaires de Gouré/Zinder. Mémoire de Master en Prospection et Gestion des Ressources en Eau Souterrain », Abdou Moumouni, Niamey, Niger, 2017.
- [24] P. Couty, « Sur un secteur intermédiaire dans les économies de savane africaine; l'exemple du natron », O.R.S.T.O.M., 1966. Consulté le: 25 juin 2022. [En ligne]. Disponible sur: https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Sur+un+secteur+intermediaire+dans+les+economies+de+savane+africaine%3B+l%27exemple+du+natron&author=Couty%2C+Philippe.&publication_year=1966
- [25] C. Batello, M. Marzot, A. H. Touré, et F. and A. O. of the U. Nations, *The Future is an Ancient Lake: Traditional Knowledge, Biodiversity and Genetic Resources for Food and Agriculture in Lake Chad Basin Ecosystems*. Food & Agriculture Org., 2004.