



Numéro spécial

Variabilités climatiques et évolution de l'occupation des sols dans l'oasis de Timia, Région d'Agadez, Niger

Climate variabilities and evolution of soil occupation in the Timia oasis in the Agadez Region, Niger

Salifou KARIMOUNE, Ouma Kaltoum SIDI TANKO & Haoua ISSIAKA

Abstract: For decades, the arid and semi-arid regions on Niger have experienced recurrent droughts that have led to crises in the morphogenetic processes. Climate degradation has resulted in reducing vegetation, resulting in the increase of water and wind erosion processes. This has also led to changes in land use. An analysis of diachronic satellite images helps understand the evolution of soil occupation and the changes in the state of its surface. This paper uses satellite images to investigate the evolution of land use in the oasis of Timia (Province of Iférouane in the Agadez Region, Niger). Since changes in soil transfers have had important consequences on the exploitation of natural resources, we also investigated the adaptation strategies developed by local populations. The methodology consisted in analyzing climate-related data to explore climate variability, examining satellite images of 1976, 1988 and 2010 to evaluate the transformations in land use, and carrying out socio-economic surveys to identify adaptation strategies adopted by local populations.

Keywords: Climate variability, land occupation, adaptation strategies, Timia, Niger

Résumé : Depuis quelques décennies, les régions arides et semi-arides du Niger sont soumises à une exacerbation des processus morphogéniques due à des sécheresses récurrentes. La réduction de la couverture végétale, conséquence de la péjoration climatique, expose les sols à l'agressivité des éléments météoriques, accentuant les processus d'érosion hydrique et éolienne. L'analyse d'images satellitaires diachroniques permet de saisir l'évolution de l'occupation du sol et les changements d'état de surface liés aux processus induits par les changements climatiques. Cet article analyse, par télédétection, l'évolution de l'occupation du sol dans l'oasis de Timia (Département d'Iférouâne, Région d'Agadez). Les changements d'affectation du sol ayant des conséquences importantes sur l'exploitation des ressources naturelles, les investigations se penchent également sur les stratégies d'adaptation déployées par les populations locales. La méthodologie consiste à analyser des données climatiques pour mettre en évidence la variabilité climatique ; traiter des images satellitaires des années 1976, 1988 et 2010 pour évaluer les transformations dans l'occupation du sol ; et mener des enquêtes socio-économiques pour identifier les stratégies d'adaptation des populations locales.

Mots clés : variabilité climatique, occupation du sol, stratégies d'adaptation, Timia, Niger.

Dr KARIMOUNE S., Département de Géographie/ENS/UAM, BP 10963, Niamey, Niger.

Email : skarim@refer.ne, salifoukarimoune@yahoo.fr

SIDI TANKO O. K., Département de Géographie/FLSH/UAM, BP 418, Niamey, Niger.

Email : kaltumu@yahoo.fr

Dr ISSIAKA H., Département de Géographie, ENS/UAM, BP 10963, Niamey, Niger.

Email : haoua.issiaka@yahoo.fr

INTRODUCTION

Le Niger est confronté à d'énormes difficultés liées à une forte variabilité spatio-temporelle des éléments de son climat. La mauvaise répartition des précipitations et la dégradation des ressources naturelles (eau, sol, végétation) constituent de véritables fléaux qui précarisent le mode de vie des populations. Celles-ci, pour faire face à leurs besoins fondamentaux, se livrent à des activités agropastorales qui accentuent le déséquilibre écologique et compromettent encore plus leur survie dans des milieux de plus en plus austères.

La région d'Agadez qui occupe la partie nord du Niger, couvrant les 4/5 de la superficie du pays, est particulièrement sensible aux changements climatiques du fait d'un écosystème relativement fragile et d'un mode de vie des populations fondé sur l'agriculture oasienne irriguée et le pastoralisme transhumant. A la faiblesse des précipitations, caractéristique permanente des climats arides, se sont surajoutées les conditions extrêmes induites par les changements climatiques. Le problème de l'eau, la forte évaporation, le froid, les inondations, sont autant de contraintes auxquelles fait face la commune rurale de Timia (Département d'Iferouane, Région d'Agadez). Le système oasien permettait aux populations de vivre de l'agriculture irriguée, de l'élevage, de l'artisanat et du tourisme. Mais, depuis les années 1970, l'accentuation de l'aridité, la dégradation accélérée des ressources naturelles et la démographie ont perturbé l'ancien équilibre et précarisé la vie des populations. Pour subvenir à leurs besoins, celles-ci sont obligées de prélever de façon abondante et irrationnelle les ressources en eau disponibles, de procéder à de nouveaux défrichements pour étendre les aires de culture, au morcellement des espaces cultivés et à la surexploitation des jardins et des espaces pastoraux. Au total, les changements climatiques associés à la pression démographique se traduisent par des mutations dans l'occupation du sol et des processus d'érosion hydrique et éolienne de plus en plus accrus.

Le présent travail vise à analyser l'impact des changements climatiques sur la dynamique d'occupation du sol et les stratégies d'adaptation déployées par les populations locales.

PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

Localisation de la zone d'étude

La commune rurale de Timia est située entre 17°56'57'' et 18°44'27'' de la latitude Nord, 8°11'49'' et 11°0'14'' de longitude Est (Fig. 1). Elle occupe la partie sud-est du département d'Iferouane, aux confins du massif de l'Air. Elle est limitée au sud par la commune de Tabelot, au sud-ouest par celle de Dabaga, au nord par Iferouane, à l'ouest par Gougaram et à l'est par la commune de Fachi.

Elle a une superficie d'environ 32000 km² avec une population estimée à 22750 habitants en 2011, soit une densité de 0,7 hab/km². Elle compte 21 villages, 24 campements où sont développées diverses activités comme le maraîchage, l'élevage, le commerce et l'artisanat. L'étude couvre toute l'extension de la commune en latitude, mais en longitude, elle s'intéresse seulement à la partie ouest de la commune, comprise entre 8°30' et 9°30'.

Etude physique

Géologie et relief

Les formations géologiques présentes dans le secteur peuvent être regroupées en deux grands ensembles : l'erg du Ténéré à l'est et le massif montagneux de l'Air à l'ouest. Ce dernier a une structure géologique très complexe comme en témoignent la richesse et la diversité des dépôts des périodes allant du Précambrien au Quaternaire. On distingue (GIAZZI, 1996) :

- Les formations de couverture comprenant essentiellement des grès localisés dans le fossé de Tafidet,
- Les formations cristallophylliennes, constituées notamment de gneiss et de micaschistes, sont les plus répandues.
- Les roches éruptives du socle, principalement granites et rhyolites, forment les plus hauts reliefs.

Ainsi, la structure confère à la zone d'étude un relief fort contrasté et accidenté permettant d'identifier une succession d'unités morphologiques comme des montagnes, des collines, des plateaux, des vallées, des ergs comme l'illustre la figure 1.

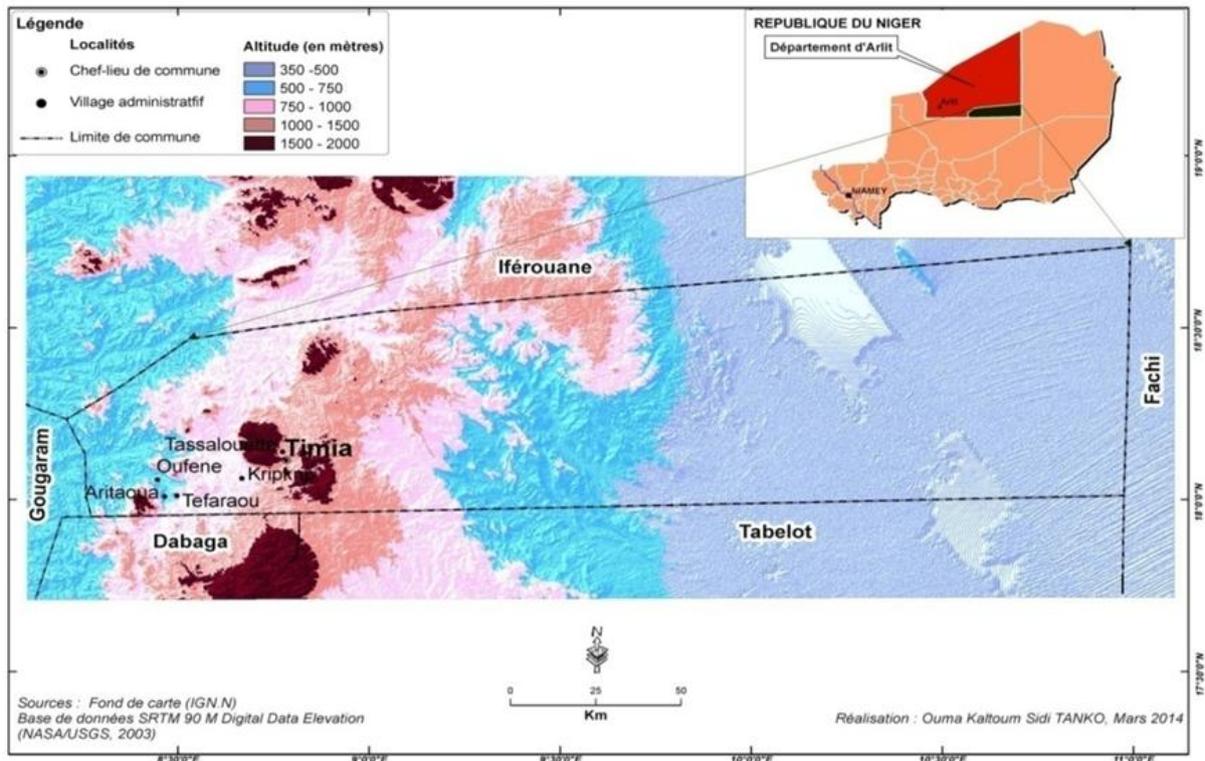


Figure 1 : Localisation et relief de la zone d'étude.

Climat

La région d'Agadez présente un climat de type aride à hyper-aride. Le cycle annuel se distingue par une longue saison sèche (octobre-mai) et une courte saison des pluies (juillet-septembre) (Fig. 2).

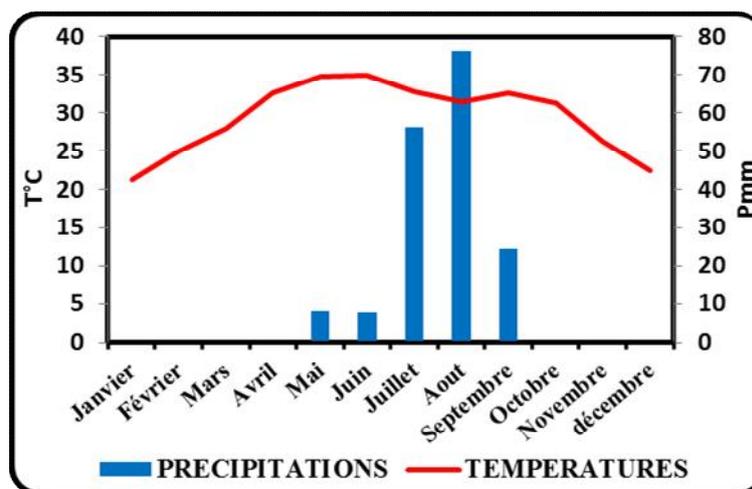


Figure 2: Courbe ombro-thermique de la station d'Agadez (source : DMN).

Le total pluviométrique annuel est de l'ordre de 170 mm (moyenne sur 90 ans). Sur la courbe ombro-thermique de la station d'Agadès, tous les mois sont pratiquement secs en dehors de celui

d'août pendant lequel la courbe des températures passe sous celle des précipitations (76,1 mm). Le 2^{ème} mois le plus pluvieux est juillet qui n'enregistre que 56,2 mm. Les autres mois de la saison pluvieuse qui débute en mai ou juin et se termine en septembre-octobre, enregistrent des précipitations très faibles (respectivement 8,1 mm, 7,6 mm, 24,6 mm et 0,5 mm). Ces faibles précipitations, de surcroît irrégulières, caractéristiques d'un climat désertique, sont associées à une couverture végétale très réduite à nulle et l'omniprésence:

- de températures diurnes très fortes (moyenne annuelle de l'ordre de 30,8°C) ;
- d'une amplitude thermique journalière d'une vingtaine de degré (sous abri) et une amplitude thermique annuelle modérée (autour de 15°C) ;
- de vents secs soufflant du NE (harmattan) chargés de poussières ou de sable selon leur vitesse, s'intensifiant avec l'accroissement des températures. Ces lithométéores dégradent la qualité de l'air et impactent la santé des populations (OZER, 2005 ; DE LONGUEVILLE *et al.*, 2009, 2013).

Hydrographie

La commune rurale de Timia est traversée par de nombreux *koris*¹ dont les principaux sont : le réseau hydrographique de Timia (Azar), d'Anoumakaran, d'Assodey, de Malatass, de Zomo et d'Ejaragdou, de Tafidat, d'Anfissag, d'Ajirou, etc. Ces réseaux entaillent les hauts reliefs de la commune. Il existe aussi des réseaux hydrographiques secondaires qui sont les affluents des principales vallées. Ces cours d'eau permettent l'installation de jardins maraîchers.

Végétation

La végétation de la commune est assez diversifiée et répartie de façon hétérogène. Dans les vallées et sur certaines plaines inondables, pousse une végétation composée d'une grande variété de plantes ligneuses et d'herbacées.

Les principales espèces rencontrées sont :

- Espèces arborées : *Acacia raddiana*, *Acacia nilotica*, *Balanites aegyptiaca*, *Acacia albida*. Ces espèces se trouvent surtout dans les vallées et éparées sur les plaines inondables.
- Espèces arbustives : *Salvadora persica*, *Maerua crassifolia*, *Boscia senegalensis*, *Prosopis juliflora*, *Acacia ehrenbergiana*, *Acacia seyal*, *Calotropis procera*, etc.
- Espèces herbacées : *Panicum turgidum*, *Shouvia thebeica*, *Tribulus terrestris*, *Cenchrus biflorus*, etc. Les herbacées sont des plantes qui ne poussent qu'en saison pluvieuse.

Ces espèces végétales sont utilisées dans l'alimentation des animaux, comme bois de service ou d'œuvre, bois de chauffe, dans la pharmacopée et aussi dans l'alimentation humaine en période de soudure (fruits et graines de certaines plantes).

MATERIELS ET METHODES

Matériels

Dans le cadre de cette étude, un certain nombre de matériels ont été utilisés afin de recueillir des données de terrain. Ce sont entre autres :

- Des cartes topographiques au 1/200000 qui ont permis de broser les caractéristiques physiographiques du secteur d'étude. Elles proviennent de prises de vue de 1958 – 1959 avec un complètement de 1972 ;
- Un appareil photographique ;
- Des logiciels SIG (Système d'Information Géographique):
Erda imagine (version 9.1) utilisé pour les opérations de traitement des images ;
Arc View GIS 3.3 pour la digitalisation des unités d'occupation des terres ;
ArcGIS 10.1 pour la restitution cartographique.

¹ *Kori* : nom local pour désigner des cours d'eau intermittents de type « oued ».

- Des images satellitaires Landsat dont les caractéristiques sont présentées au tableau 1.

Tableau 1 : Caractéristiques des images utilisées.

Satellites	Capteurs	Référence	Date	Résolution	Bandes
Landsat7	ETM+	P188R047	29/03/2010	30 m	3,5,4
		P188R048	01/04/2010		
		P189R047	11/04/2010		
		P189R048	08/04/2010		
Landsat4	TM	P188R047	31/01/1988	28.5 m	2,3,4
		P188R048	04/01/1988		
		P189R047	23/02/1988		
		P189R048	27/01/1988		
Landsat1&2	MSS	P202R047	22/03/1976	57 m	1,2,4
		P202R048	16/01/1976		
		P203R047	06/12/1976		
		P203R048	06/12/1976		

Méthodes

Elles ont consisté essentiellement à :

Analyser les paramètres du climat (températures et précipitations, vents).

Appliquer un certain nombre de traitements aux images satellitaires en vue de mettre en évidence les changements d'occupation du sol intervenus depuis la « grande sécheresse » des années 1970 et 1980 ;

Administrer des questionnaires à des personnes ressources et réaliser des entretiens directs avec les autorités administratives et coutumières sur la péjoration du climat et ses conséquences sur le mode de vie des populations. Outre 99 chefs de ménage, des entretiens directs ont été réalisés avec des autorités locales (Maire de la commune, Secrétaire Général de la Commune, et les chefs de villages et de tribus des sites sélectionnés [Oufen, Tefarawt, Idaouden, Aborakan-Krip-Krip, Tesselwat et Timia]). Les principaux axes abordés par le questionnaire et les entretiens portent sur les activités pratiquées dans la commune, les potentialités en ressources naturelles et l'évolution récente de ces ressources, le régime foncier, les risques et incertitudes auxquels la commune est confrontée de façon récurrente, les effets de ces risques et incertitudes sur les productions agricoles et les systèmes d'élevage, les stratégies d'adaptation développées par les populations, et l'efficacité de ces stratégies. Les informations collectées par questionnaire sont mixtes, à la fois quantitatives et qualitatives. Les renseignements recueillis lors des entretiens sont de type qualitatif.

Nous exposons ici les différents traitements et activités connexes ayant permis de mettre en évidence les modifications d'occupations du sol survenues depuis les années 1970.

Traitement d'images

Le traitement d'images consiste à appliquer sur les images satellitaires un certain nombre d'opérations en vue d'en extraire des informations. Les opérations les plus utilisées sont les classifications.

Classifications des images

Les classifications sont des affectations de pixels à des classes représentant divers éléments du paysage. Ces affectations se font sur la base de classes homogènes de réflectance. Les phénomènes géographiques qui se trouvent à la surface de la Terre ont des signatures spectrales spécifiques fonction de leurs caractéristiques physiques. La classification peut se faire sur la base d'un nombre de classes fixé par l'opérateur de façon arbitraire. C'est alors une classification non supervisée. Elle peut se faire sur la base de la connaissance du terrain. Dans ce cas, l'opérateur attribue à chaque élément

reconnaissable du paysage une signature spectrale. Cette affectation peut comporter des erreurs car différents objets peuvent avoir des signatures spectrales similaires. En ce qui concerne l'oasis de Timia, les confusions les plus fréquentes sont celles qui adviennent entre la végétation naturelle et les cultures maraîchères pratiquées dans les *koris*. Pour contourner cette difficulté, il a été procédé à une interprétation visuelle des images.

Interprétation visuelle

Cette démarche commence par l'élaboration d'une clé d'interprétation. Celle-ci consiste, sur la base de la connaissance du terrain, des caractéristiques spectrales des images (texture, structure, tonalité, distribution spatiale), d'informations provenant de diverses sources (carte, monographie, documents divers), à délimiter différentes unités d'occupation du sol qui vont servir de parcelles de référence pour affecter les pixels aux différentes classes ainsi retenues.

Outre les classes d'occupation du sol, les autres informations qui vont servir à l'habillage de la carte (réseau hydrographique, agglomérations, etc.) ont été répertoriées et hébergées dans des couches créées à cet effet.

Pour la définition des objets de la couche occupation du sol, il a été créé une table contenant les différentes unités d'occupation du sol et un code numérique clé permettant de rattacher chaque polygone à l'ensemble de ses attributs. Tous les polygones sont ainsi rangés un à un et leurs superficies déterminées. Après ces opérations, les informations répertoriées dans les différentes couches ont été utilisées pour la représentation cartographique. Cette opération a été réalisée à l'aide de logiciel Arc View 3.2.

Pour mettre en exergue les modifications intervenues dans l'occupation du sol de la zone d'étude, une analyse diachronique a ainsi été réalisée. Une carte d'occupation du sol a été élaborée pour chacune des années pour lesquelles nous disposons d'images satellitaires.

Investigation sur le terrain

L'acquisition de données de terrain est nécessaire pour réaliser une classification supervisée des images de télédétection. A ce niveau, deux activités complémentaires ont été menées sur le terrain :

- La première a consisté à choisir des parcelles d'entraînement. Pour cela, lors des sorties sur le terrain, des sites représentatifs d'une classe d'occupation du sol et ayant une surface suffisante pour être repérée sans ambiguïté sur l'image, ont été retenus.
- La deuxième est la campagne de vérité-terrain : à ce niveau, le travail de terrain a permis de vérifier et de confronter les résultats cartographiques avec la réalité du terrain.

Ensuite, des calculs d'erreurs de confusion ont été réalisés pour estimer la précision des cartes élaborées. On procède à une correction des erreurs afin de dégager une classification plus complète et définitive des différentes unités d'occupation des sols. La validation de cette classification est obtenue par la construction d'une matrice de confusion permettant de confronter les résultats de traitement d'images satellitaires avec les résultats des observations sur le terrain. La matrice de confusion dénombre les unités correctement classées et les unités mal classées. Elle calcule les erreurs de confusion sur le terrain et les erreurs d'omission sur la classification. La précision cartographique de la classification correspond à la somme des unités bien classées sur la somme totale des unités. La matrice permet donc de valider la classification faite sur les images satellitaires.

La mission d'observation de terrain a été une réussite grâce à l'appui du laboratoire SIG du Centre Régional AGRHYMET.

ANALYSE DE LA VARIABILITE CLIMATIQUE DANS LA REGION D'AGADEZ.

Les précipitations constituent un des éléments fondamentaux du climat dont la variabilité temporelle permet d'apprécier les notions d'aridité et de sécheresse. Et l'une des caractéristiques essentielles des précipitations des climats arides et semi-arides est leur grande variabilité spatio-temporelle. Des alternances de périodes humides / périodes sèches ont bien marqué l'histoire récente des régions sahéliennes. L'analyse de séries pluviométriques suffisamment longues permet de repérer

ces périodes de sécheresse qui débouchent sur des disettes ou des famines aux conséquences dramatiques.

Lorsqu'une période sèche s'étend sur plusieurs décennies, comme c'est le cas dans les régions sahéliennes et sahélo-sahariennes, elle peut engendrer la dégradation de la couverture végétale exposant, par conséquent, les sols à une érosion hydrique et éolienne plus intense. L'étude de la variabilité climatique implique donc non seulement l'analyse de l'évolution des précipitations, mais également celles des autres paramètres du climat, à savoir celle des températures et du régime éolien.

Pour bien mettre en relief l'évolution récente des paramètres climatiques, nous avons non seulement tracé les courbes des variations interannuelles de ces paramètres, mais également calculé des indices d'anomalies. L'anomalie est le rapport de la différence entre la valeur du paramètre d'une année donnée et sa valeur moyenne et l'écart type sur une période déterminée. Elle est calculée selon l'équation suivante : $I = (x_i - X)/\sigma$ où x_i représente l'observation pour l'année i , X est la moyenne des observations pour la période retenue et σ est l'écart-type.

Analyse de l'évolution des températures

Les données de températures se rapportent à la période 1951-2010, soit 60 ans. Le calcul d'indices d'anomalie réduite, permet d'obtenir les figures ci-dessous :

Les graphes des anomalies font ressortir que (Fig. 3) :

- Pour les températures moyennes maximales :
 - les anomalies sont positives du début de la série (1951 à 1963), seule l'année 1961 faisant exception ;
 - à partir de 1964, et jusqu'en 1990, les anomalies sont négatives, hormis quelques années isolées (1969, 1972, 1979, 1987, 1990) ;
 - la fin de la série (1995-2010) est caractérisée par des anomalies positives qu'on peut qualifier de globalement croissantes, bien que, dans le détail, on peut relever une évolution en dents de scie.
- Pour les températures moyennes minimales (Fig. 3) :
 - les anomalies sont négatives de 1951 (début de la série) à 1977, à l'exception de l'année 1969 ;
 - elles sont positives à compter de 1978 (mais surtout à partir de 1984) jusqu'à la fin de la série (2010), avec, comme pour les températures moyennes maximales, une tendance à l'accroissement et, dans le détail, une évolution en dents de scie.

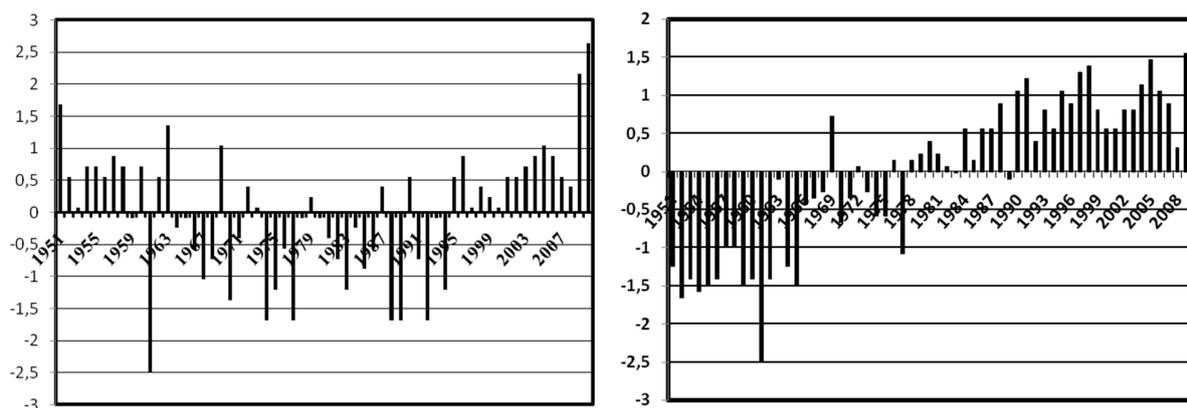


Figure 3 : Anomalies réduites des températures maximales (gauche) et minimales (droite) à Agadez (1951-2010).

Au total, la conjonction de l'accroissement des températures moyennes maximales et minimales, surtout à partir des années 1980, se traduit par une augmentation de la température moyenne annuelle ayant pour conséquences des chaleurs torrides aux mois les plus chauds (moyennes de 39°C en avril et 41°C en mai et juin), une évaporation de plus en plus intense. Cette évolution est en accord avec les

observations réalisées sur l'évolution des températures en Afrique de l'Ouest (MORON *et al.*, 2016) et le réchauffement global de la surface de la terre observé pendant les dernières décennies (IPCC, 2013).

Cependant, l'analyse de l'ETP des périodes 1982-1988 et 2003-2010 (nous n'avons pas pu disposer de données pour les années 1973-1976) permet de relever que ce paramètre climatique est en croissance pour la décennie 1980 alors qu'elle connaît une tendance à la baisse de 2003 à 2010, en relation avec une légère hausse des précipitations, depuis le début des années 1990.

Evolution des précipitations

La station d'Agadez a été retenue dans le cadre de cette étude parce qu'elle comporte les séries les plus longues et les plus complètes (1921-2010). Celles d'Arlit et d'Iférouane sont plus courtes et enregistrent beaucoup de lacunes (GIAZZI, 1996).

Ainsi, le graphe de l'évolution de la pluviométrie à la station d'Agadez met en évidence non seulement l'alternance, depuis le début du siècle, de périodes relativement humides (par exemple, 1944-1965) et de périodes très sèches (1965-1989), mais également la grande variabilité des lames d'eau précipitées d'une année à l'autre (Fig. 4).

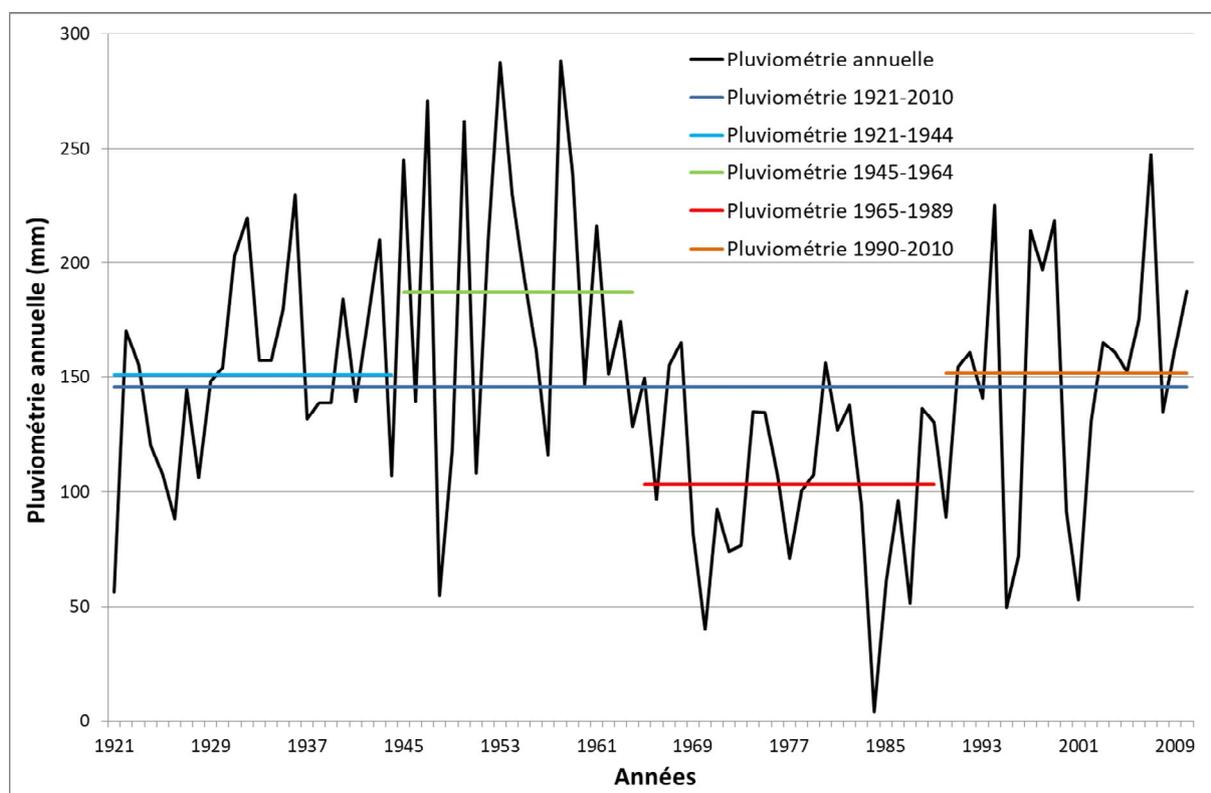


Figure 4 : Evolution des précipitations à Agadez de 1921 à 2010.

L'analyse de la courbe d'évolution de la pluviométrie de 1921 à 2010 montre une très forte variabilité interannuelle des précipitations doublée d'une alternance de périodes humides et sèches. Ainsi, de 1921 à 1944, la courbe est en général au-dessus de la moyenne de la période 1921-2010 (avec une pluviométrie moyenne annuelle de 151 mm). Par la suite, on remarque une augmentation de plus de 20% des précipitations entre 1945 et 1964 (moyenne pluviométrique de 187 mm). De 1965 à 1989, les précipitations chutent lourdement et la pluviométrie moyenne de la période n'est plus que de 103 mm. Cette période coïncide avec les terribles sécheresses de 1972-1973 et 1984-1985. De 1990 à 2010, la station d'Agadez enregistre une reprise relative des précipitations avec une moyenne pluviométrique proche de la normale sur le long terme (152 mm). Ainsi, le climat est non seulement aride, mais connaît périodiquement une baisse drastique des totaux pluviométriques annuels déjà bien maigres.

- Pour la période récente (qui débute autour de l'année 1990), on peut relever les hauteurs de :
- 225,1 mm en 1994, 49,7 mm en 1995, soit une réduction d'environ 78% sur deux saisons qui se suivent,
 - 218,5 mm en 1999 contre 52,8 mm en 2001, soit une baisse du cumul annuel de près de 76 % en 2 ans,
 - 247,3 mm en 2007, contre 135 mm en 2008, soit une diminution de 45% du total pluviométrique d'une année à l'autre.

Cette variabilité des précipitations ne favorise pas la recharge de la nappe phréatique qui est très déterminante pour l'irrigation. La position topographique de l'oasis de Timia, prise en sandwich entre les massifs d'Egalah au NW et de l'Aroyan et d'Ashkout au SE, fait que les pluies qui y tombent dévalent les pentes de ces reliefs, donnent naissance à des écoulements torrentiels qui évacuent en peu de temps les lames précipitées. L'intensité élevée des averses (atteignant quelquefois 50 mm/h, voire 100 mm/h pendant de courtes périodes de cinq à dix minutes ; MOREL, 1986), ajoutée aux fortes pentes des *koris* (par exemple, Tiguir – qui draine le haut massif d'Aroyan – a une pente de 75 m/km et un lit rocheux plus ou moins encombré de gros blocs ; MOREL, 1986) contribuent à transformer les crues en véritables écoulements boueux très dévastateurs. En outre, les sécheresses récurrentes engendrent l'encroustement des sols des zones d'épandages, accentuant les processus de ruissellement qui ont pour conséquences le sapement des berges, l'étalement des *koris* et les inondations.

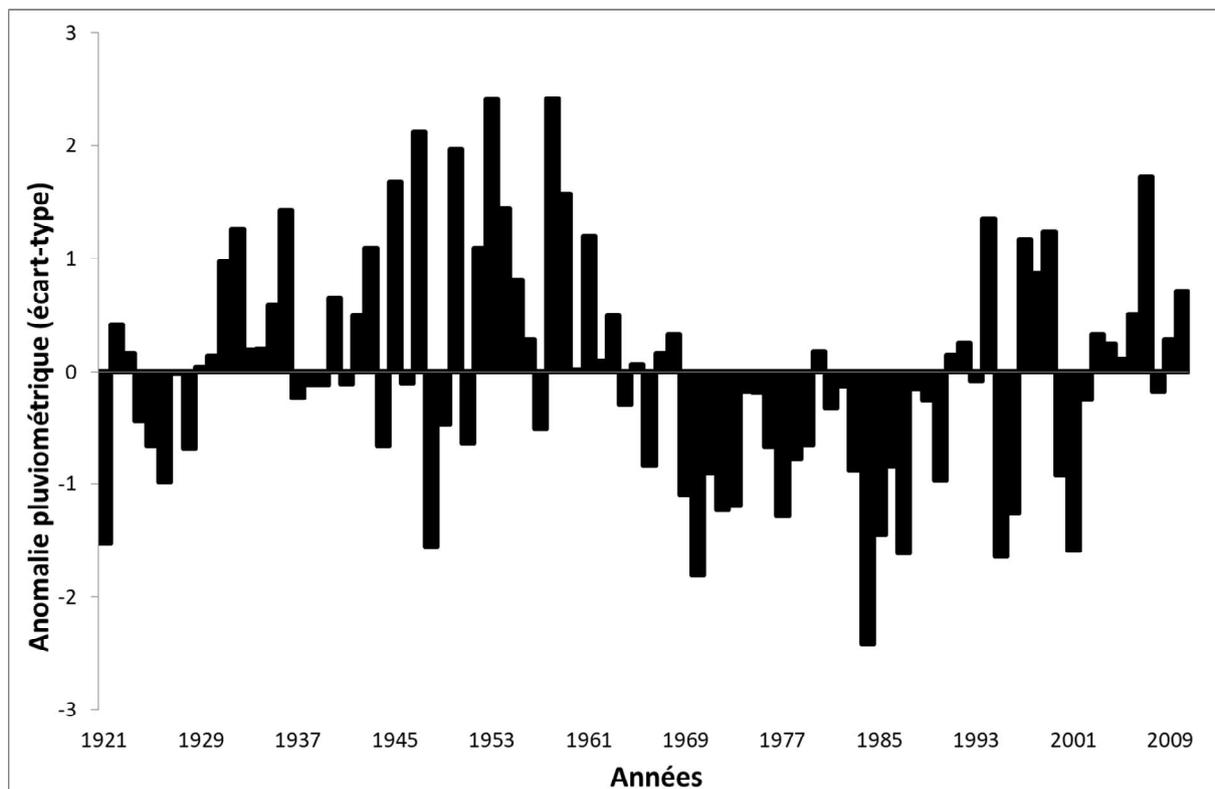


Figure 5 : Anomalies des précipitations à Agadez (période 1951-2010).

Le graphe des anomalies des précipitations fait bien ressortir les trois périodes de l'évolution récente du climat dans la zone d'étude (Fig. 5) :

- Les anomalies sont positives de 1951 à 1968, avec deux années exceptionnellement humides (1953 et 1958 où $I > \text{moyenne} + 2\sigma$). On relève néanmoins quelques années déficitaires (1951, 1957, 1964 et 1966) qui révèlent la variabilité interannuelle des précipitations, caractéristique fondamentale des climats arides et semi-arides ;
- De 1969 à 1993, hormis 1980, 1991 et 1992, toutes les années enregistrent des anomalies négatives, avec une année particulièrement sèche (1984) où $I < \text{Moyenne} - 2\sigma$.

- A partir de 1994 et jusque la fin de la série, on note une évolution en dents de scie, avec des épisodes de deux à trois années d'anomalies positives séparées par autant d'années à anomalies négatives.

Le graphe traduit ainsi l'évolution récente du climat sahélien, marqué par une phase humide au cours des années 1950 et au début des années 1960 à laquelle a succédé une longue période d'une vingtaine d'années caractérisée par des déficits pluviométriques, ponctuée de disettes et de famines. Puis, à partir des années 1990, le Sahel connaît un retour timide à des pluviosités normales (DE LONGUEVILLE *et al.*, 2016 ; OZER *et al.*, 2005, 2009, 2017 ; OZER & PERRIN, 2014) qui fera dire à certains auteurs que la grande sécheresse au Sahel pourrait s'être terminée dans les années 1990 (OZER *et al.*, 2003).

Mais la période précédente a été si longue et le retour à des saisons de pluies normales est si timide et tellement entrecoupé d'années déficitaires, qu'il serait illusoire de croire que les productions pourront, de façon continue, assurer la sécurité alimentaire d'une population en croissance exponentielle.

Analyse du régime éolien

Les données de vent analysées se rapportent aux périodes 1972-1976 (cinq ans), 1982-1987 (six ans), et 2003-2009 (sept ans). Le choix de ces périodes est dicté par les dates de prise de vue des images satellitaires dont nous disposons qui sont respectivement de janvier et décembre 1976, janvier-février 1988 et mars-avril 2010. Il nous a semblé utile, pour bien cerner l'impact des manifestations éoliennes sur le paysage, de couvrir une période suffisamment longue du régime du vent (cinq à sept ans) précédant la date de prise de vue des images satellitaires et incluant les déficits pluviométriques les plus marquants (1972-73, 1984-85). Les données tri-horaires comportent, pour les trois périodes considérées, respectivement 1,92 %, 0,01% et 0,70 % de relevés erronés qui ont été éliminés. Pour chacune des trois périodes, 5 à 6 % des relevés valides correspondent à des calmes. Les données ainsi triées ont servi à élaborer des roses de vents (Fig. 6).

Quatre classes de vitesse du vent ont été retenues pour l'élaboration de ces roses de vent :

Les vents faibles dont la vitesse est inférieure à 5 m.s^{-1} ;

Les vents modérés ($5 \text{ m.s}^{-1} < \text{vitesse} < 7 \text{ m.s}^{-1}$) ;

Les vents moyennement forts ($7 \text{ m.s}^{-1} < \text{vitesse} < 9 \text{ m.s}^{-1}$) ;

Les vents forts ($\text{vitesse} > 9 \text{ m.s}^{-1}$).

Les principales composantes de la direction du vent varient entre ENE (80°), E (100°) et ESE (120°). Ces trois directions totalisent 39,4%, 48,0% et 46,8% des fréquences des manifestations éoliennes au cours, respectivement, des années 1970, 1980 et 2000. Ceci traduit la forte prédominance de l'Harmattan. Cependant, entre les années 1970 et 2000, on relève un glissement de la prépondérance des directions ENE et E vers les directions E et ESE. Les manifestations du vent de mousson (directions WSW à WNW, soit de 260° à 300°) sont généralement réduites (représentant respectivement 9,6%, 8,0% et 11,9% des fréquences des vents des trois périodes considérées) et correspondent essentiellement à la classe des vents faibles. Elles sont les plus faibles pour les années 1980 où la phase sèche atteint son paroxysme. Ainsi, elles font ressortir la corrélation entre ces vents humides et les précipitations dans les pays de l'hinterland de la région ouest africaine.

L'analyse des données de vent permet d'apprécier l'érosion éolienne qui se déclenche dès que la vitesse dépasse 5 m.s^{-1} et atteint 5% de déflation à 7 m.s^{-1} (OZER, 2000). L'érosion croît avec la vitesse du vent et atteint 20% de déflation à 9 m.s^{-1} (OZER *et al.*, 2005, BIELDERS *et al.*, 2004).

Dans le secteur de Timia de nombreuses vallées descendant des massifs de l'Aroyan et d'Ashkout ont un tracé orienté NW-SE. Les vents de saison sèche qui, depuis les années 1980, sont de plus en plus véloces et ont une direction ESE (120°) prépondérante, s'engouffrent dans ces vallées où ils déposent les sables qu'ils transportent lorsque leur vitesse diminue. En effet, au fur et à mesure qu'ils pénètrent dans le massif, les flux éoliens canalisés remontent les vallées qui leur imposent, du fait de l'accroissement des altitudes, une ascendance orographique qui les oblige à se délester d'une partie de leur charge en sédiments sableux. Ceux-ci sont déposés dans les parties basses des vallées qu'ils obstruent partiellement ou entièrement, constituant des obstacles au ruissellement et favorisant l'étalement des crues lors des averses et par conséquent les inondations. Ainsi l'accentuation de l'érosion éolienne avec la récurrence des sécheresses se traduit-elle par une faible recharge de la nappe

et par des dégâts importants dans les habitations et les jardins. Toutes ces contraintes amènent des mutations dans l'occupation du sol ainsi que des stratégies d'adaptation de la part des agriculteurs et des pasteurs.

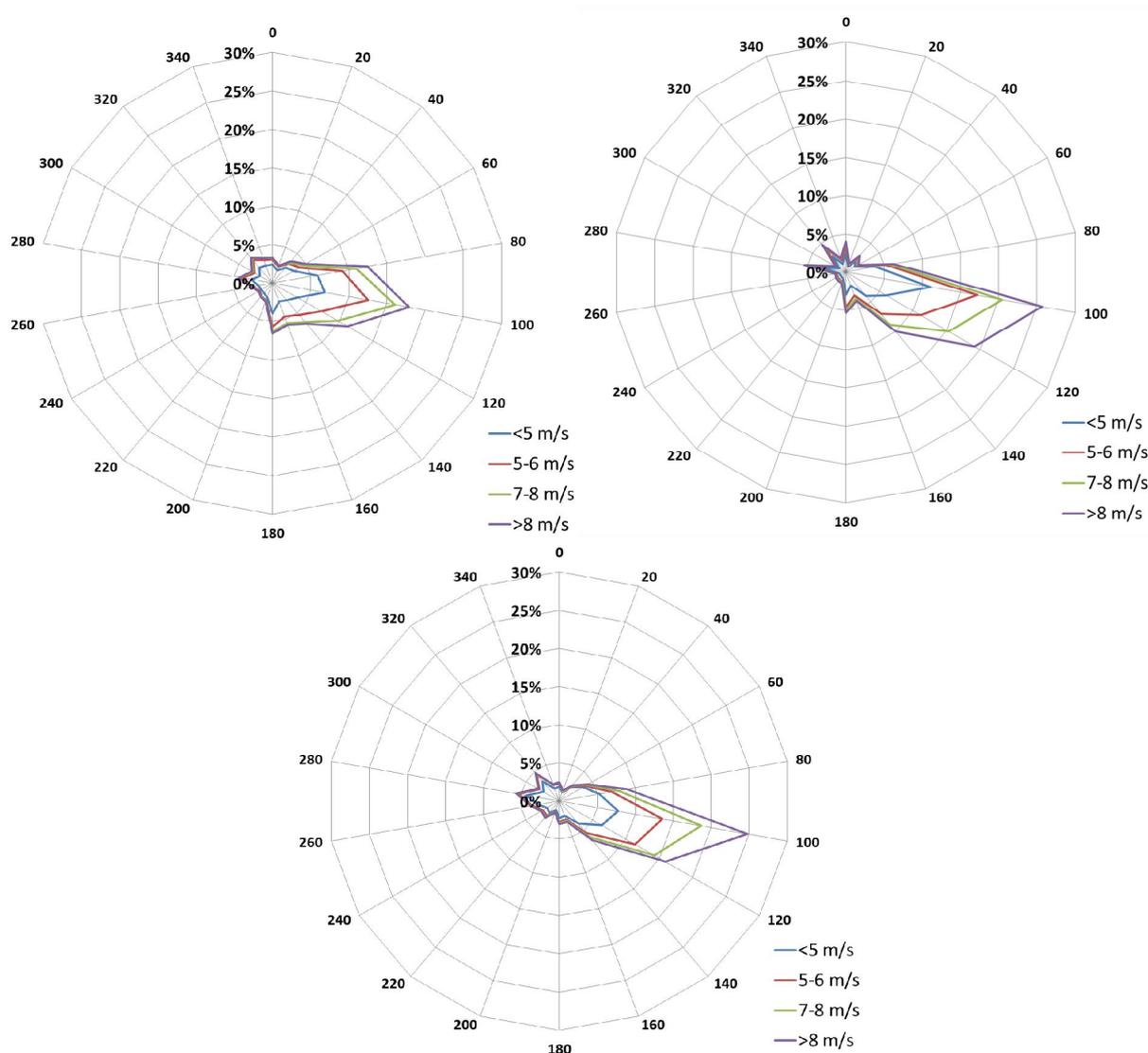


Figure 6 : Roses des vents à Agadez pour les périodes 1972-1976 (a), 1982-1988 (b) et 2003-2009 (c).

ANALYSE DE LA DYNAMIQUE DE L'OCCUPATION DU SOL

Les résultats de nos investigations se structurent autour de l'analyse de la dynamique d'occupation du sol pour les années 1976, 1988, 2010 pour lesquelles nous disposons d'images satellitaires.

Occupation du sol en 1976

En 1976, les oasis couvraient une superficie de 13000 ha, soit 1,2% du secteur d'étude. Quant aux *koris*, leur superficie était estimée à 163200 ha, soit 15,6% de la zone d'intérêt. Les dunes vives,

occupaient une superficie estimée à 253400 ha, soit 24,3% de la superficie totale, révélant ainsi l'importance des manifestations et des effets de l'érosion éolienne. Les terrains rocheux s'étendaient sur 613200 ha, soit 58,8% de la superficie totale qui est estimée à 1042800 ha.

La Commune rurale de Timia, piégée entre le massif de l'Air à l'ouest, le désert du Ténéré à l'est, connaît depuis les sécheresses de 1972-1973, en relation avec la pression anthropique exercée sur la ressource en terre, une dégradation considérable du couvert végétal et une réduction des espaces agricoles. Pour faire face à cette pénurie en terres agricoles, la solution consistera en l'occupation des bordures des *koris*.

Occupation du sol en 1988

L'analyse des statistiques de 1988 indique déjà une régression des oasis dont la superficie qui était de 13000 ha en 1976 passe à 12600 ha. Les changements d'usage des sols ont activé l'érosion et l'étalement des *koris* qui ont eu pour conséquence la dégradation des berges dans les zones de cultures entraînant la dégradation des superficies cultivées.

Les terrains rocheux occupent, en 1988, 57, 5% de la superficie totale du secteur d'étude, soit une réduction de 1,3 point de pourcentage par rapport à 1976. Cette réduction se fait au profit des dunes vives qui gagnent des terrains également au détriment des oasis. Leur superficie passe de 2534 km² en 1976 à 2699 km² (25,9 % de la superficie de la zone d'intérêt). Ainsi, en 1988 déjà le phénomène d'ensablement atteint des proportions très significatives, les dunes gagnant sur les superficies des oasis et encombrant le lit des vallées.

Cette dynamique est consécutive à la surexploitation des ressources végétales en relation avec l'apparition de certains villages et le développement des villes proches comme Arlit et Agadez qui utilisent les ressources de la Réserve Nationale Naturelle de l'Air et du Ténéré (RNNAT). En effet, ces deux villes ont vu leurs populations respectives croître très rapidement. Ainsi, lors des recensements de 1977, 1988 et 2012, la population de la ville d'Artil est passée de 10386 à 32272 puis 78651 habitants, alors qu'Agadez a également vu augmenter fortement sa population puisque de 20643 habitants en 1977, elle est passée à 49424 en 1988 pour finalement atteindre 110497 personnes en 2012 (BRINKHOFF, 2017). La dégradation très sensible de la couverture végétale conduit à l'étalement des *koris* et à l'augmentation des champs de dunes. La rareté des pluies constitue une menace pour le développement des ressources oasiennes. L'eau des averses qui tombent au niveau des montagnes ruisselle quasi intégralement engendrant l'érosion des berges et l'étalement des *koris*. De plus, les sables éoliens qui envahissent les lits des oueds constituent des obstacles à l'écoulement et provoquent l'étalement des eaux et les inondations.

Occupation du sol en 2010

En 2010, 26,2% de la superficie totale de la zone d'étude sont occupés par les dunes. Celles-ci progressent donc au détriment des autres unités du paysage. Ainsi, parmi les unités affectées par l'expansion des sables éoliens figurent en premier les oasis. Celles-ci connaissent de nouveau une réduction significative de leur superficie qui ne couvre plus que 6500 ha, soit 0,6% de la superficie totale au lieu de 13000 ha en 1976 et 12600 ha en 1988. L'amplification des processus éoliens est une des conséquences des actions anthropiques qui se traduisent par la surexploitation des ressources, mais elle est également liée aux changements climatiques qui ont pour conséquence la réduction de la couverture végétale et la dégradation du sol.

En 2010, la surface occupée par les *koris* s'accroît pour atteindre 16,1% de la superficie totale alors qu'on enregistre une diminution de l'étendue des terrains rocheux. Ceux-ci ont été envahis par les sables dunaires qui ont connu une nette progression entre 1976 et 2010. De même l'envahissement des *koris* par les dunes vives a pu engendrer l'étalement des crues de ces cours d'eau et favoriser l'extension des zones de culture qui se traduit par cet accroissement des superficies des *koris*. Ainsi, les crues des *koris* ont deux types d'influence :

- ✓ Les crues torrentielles et brutales dévastent les zones de cultures, emportent une bonne partie des horizons superficiels meubles, appauvrissant ainsi certains secteurs des oasis qui seront abandonnés ;

- ✓ L'étalement des eaux dans les secteurs où les pentes sont faibles peut favoriser l'extension des zones de cultures maraîchères.

Par ailleurs, la relative reprise de la pluviométrie entre 1990 et 2010 a pu contribuer à l'extension des superficies des *koris* qui sont passées de 15,4% à 16,1% de la superficie totale.

La croissance démographique exerce une forte pression sur l'environnement. Presque 90% de la population utilise le bois de chauffe, malgré l'existence du gaz domestique. L'impact de la coupe abusive de bois se fait sentir surtout dans le massif de l'Air, où l'intervention anthropique accentue l'action des agents de l'érosion. Cette situation de dégradation des ressources naturelles rares (eau, sol et végétation), augmente la vulnérabilité de la population aux risques et incertitudes climatiques et à l'occurrence des crises socio-économiques. Face à cette situation, les paysans ont trouvé des mécanismes d'adaptation et de gestion du système oasien.

MECANISMES D'ADAPTATION AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES ET ENVIRONNEMENTAUX DANS LE SYSTEME OASIEN DE TIMIA

Irrigation

Dans le contexte des changements climatiques, l'irrigation constitue une façon de réduire la vulnérabilité des paysans aux aléas climatiques et d'assurer l'autosuffisance alimentaire. Cependant, si l'irrigation est une réponse aux contraintes qu'imposent les changements climatiques, elle doit être conduite de façon judicieuse. Aussi, les paysans ont-ils adopté quelques stratégies pour rationaliser l'utilisation de l'eau : mode de gestion de l'irrigation, stockage de l'eau, associations de cultures, etc.

La gestion de l'eau est fondée sur l'arrosage matinal ou tard dans la soirée pour éviter l'évaporation des eaux utilisables par les cultures. En outre, certaines ONG – comme la cogestion des puits (COGES) – ont réalisé des puits cimentés pour résoudre le problème d'eau de la commune et un comité de gestion de ces puits a été mis en place. Ces puits, quelque fois équipés de motopompes, servent à faciliter l'accès à l'eau aux agropasteurs, pasteurs et à la population de façon générale. En outre, certains jardiniers aménagent de petits bassins qui permettent le stockage des eaux et évitent leur gaspillage.

Association des cultures et répartition du calendrier culturel selon les spéculations

L'association des cultures constitue un autre mécanisme d'adaptation des populations aux changements climatiques. Selon 90% des enquêtés, elle permet d'atténuer la vulnérabilité des paysans en cas de fluctuation des prix sur le marché et d'avoir un bon rendement. Ainsi, un calendrier agricole tenant compte de la productivité de chaque espèce, est observé.

- Les cultures céréalières : le blé et l'orge sont cultivés pendant la saison froide (décembre à mars) ; le mil pendant la saison chaude humide ; le maïs n'a pas de période fixe, les paysans le cultivent en fonction de leurs besoins.
- Les cultures fruitières : l'arboriculture est très développée dans la zone de Timia. Les palmiers sont en association avec les cultures de légumes et de céréales entre juin et août. Pour les agrumes : les pamplemousses et mandarines sont récoltés entre octobre et novembre ; les oranges, de novembre à février ; les grenadines et le raisin respectivement entre juin-juillet et juillet-août et même en décembre pour le raisin rouge.
- Les cultures de légumes : la laitue, le chou, l'oseille de Guinée, les cucurbitacées, etc. sont cultivés en association avec l'oignon, la tomate, l'ail, le poivron, le piment. Les cultures d'oignon, du chou sont réalisées pendant la saison chaude humide et la pomme de terre, l'oignon pendant la saison sèche.

Ouvrages de conservation des eaux et de défense et restauration des sols

Des ouvrages ont été réalisés dans toute la partie sud de Timia, par les partenaires techniques et financiers comme le Projet de Cogestion des Ressources Naturelles de l’Air et du Ténére (COGERAT) et certaines ONG intervenant dans la zone. C’est le cas du seuil d’épandage de Tassalwat réalisé dans le but de favoriser l’infiltration et une rétention importante des eaux de pluie afin de résoudre le problème de la baisse du niveau de la nappe phréatique (photo 1). En outre une digue a été construite pour renforcer la protection des berges. Cet ouvrage a également permis de prévenir les éboulements et de sécuriser les jardins et la population riveraine.



Photo 1 : Seuil d’épandage.

Stratégies déployées pour sécuriser l’élevage face aux changements climatiques.

L’élevage subit également les risques et incertitudes climatiques à cause de l’irrégularité de la pluie, la réduction de la production fourragère et l’amenuisement des espaces pastoraux. En réponse à ces contraintes, le nomade, depuis des siècles, considère le déplacement comme la seule issue pour sauver les troupeaux. En cas de sécheresse, il se déplace pour la conquête d’autres terres de pâture suffisante pour le bétail. BONNET *et al.* (2013) affirment que « la gestion des risques et incertitudes par la mobilité est au cœur des stratégies des sociétés pastorales, stratégies qui fondent leur durabilité et dynamisme ».

Le déplacement dans l’espace et dans le temps devient ainsi une stratégie d’adaptation très importante dans la minimisation des risques. Par ailleurs, les chameaux et les chèvres, plus résistants aux variations du climat sont préférés par les éleveurs aux bovins et ovins, premières victimes en cas de sécheresse.

Autres formes de gestion des risques liés aux changements climatiques

D’autres formes d’adaptation aux changements climatiques sont :

- la vente d’animaux : une partie du bétail est vendue pour permettre de soigner les animaux restants et acheter du fourrage et des céréales comme réponse aux sécheresses
- la conversion des éleveurs en agropasteurs constitue un des mécanismes les plus efficaces pour la réduction des risques et incertitudes climatiques dans le système oasien de Timia.
- l’agropastoralisme est une des meilleures stratégies adoptées par la population pour faire face aux changements climatiques qui précarisent de plus en plus le mode de vie nomade (CHAIBOU, 2012).

Au cours de l’enquête, il a été demandé aux paysans de citer les différentes stratégies qu’ils utilisent en situation de crise (Fig. 7). Puis, parmi les stratégies les plus courantes, celles qui sont efficaces. Ils ont répondu, à 99 %, que ce sont la sédentarisation et la vente des animaux. C’est dire

que les paysans, notamment les pasteurs, bien que conscients de l'efficacité de certaines stratégies, préfèrent adopter celles qui préservent leurs pratiques ancestrales (entre autres la mobilité et l'élevage de petits ruminants pratiqué surtout par les femmes). Nombreux sont les éleveurs qui ont perdu la quasi-totalité de leur cheptel aux sécheresses de 1972-1973 et de 1982-1984 parce qu'ils refusaient, malgré les injonctions de l'Etat, de déstocker les bêtes les plus vulnérables.

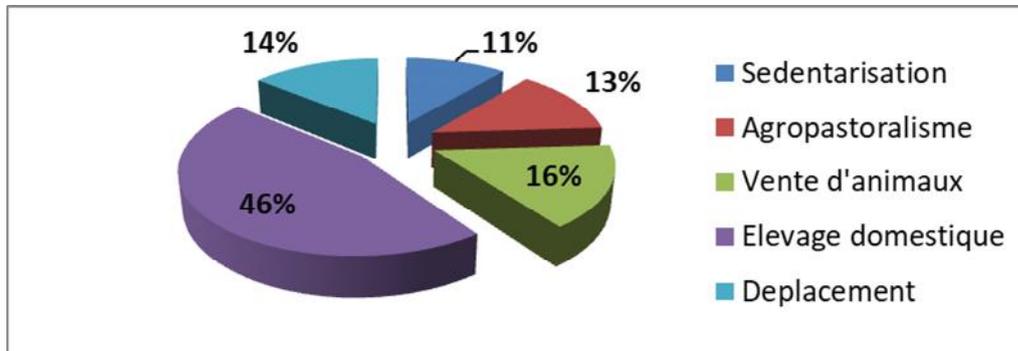


Figure 7 : Différents mécanismes d'adaptation des éleveurs aux risques climatiques, selon la perception paysanne.

La migration est essentiellement transfrontalière et concerne principalement les personnes âgées de moins de 40 ans. 52% des migrants vont vers la Libye, 32% vers l'Algérie et le reste vers le Tchad et le Nigeria. Elle est devenue une source de revenus essentielle pour plusieurs villages de la commune. C'est grâce à l'argent envoyé que le déficit alimentaire est comblé. Lorsque le ménage comporte plusieurs membres, au moins une personne de moins de 40 ans va chercher fortune en Libye ou en Algérie. Lorsque le ménage est constitué d'un couple ou d'un couple avec enfants en bas âge, c'est le chef de famille qui migre pour une durée plus ou moins longue. Les migrations en direction de l'Algérie et de la Lybie relèvent de pratiques multiséculaires qui tirent leur source du commerce transsaharien et ne revêtent pas nécessairement un caractère climatique ou environnemental. Cependant, on ne peut nier que le phénomène a certainement été amplifié par les effets des récentes modifications climatiques. De ce fait, la traversée de la Méditerranée est une pratique plutôt rare. Cette stratégie d'adaptation est amplement décrite par GEMENNE *et al.* (2017).

CONCLUSION

Le système oasien de Timia est confronté aux problèmes liés aux changements climatiques. Ces problèmes sont les températures extrêmes, les inondations, la rareté des précipitations auxquels s'ajoute la pression démographique. Il en résulte une dégradation de l'environnement qui induit une mutation de l'occupation du sol.

L'analyse de la dynamique des cartes d'occupation du sol des périodes 1976, 1988, 2010, montre une diminution significative des oasis avec respectivement 13000 ha, 12600 ha, 6500 ha et une évolution très importante des dunes occupant jusqu'à 26,2% de la superficie totale (1 042 800 ha) en 2010. Cela s'explique par la baisse des précipitations en rapport avec les changements climatiques et la surexploitation des ressources naturelles, déjà bien rares, par l'homme conduisant à leur épuisement et laissant le champ libre aux processus éoliens qui se traduisent par l'envahissement des *koris* et des oasis par les sables dunaires.

Face à cette dynamique, la population locale a développé un certain nombre de mécanismes de résilience. Il s'agit de l'irrigation, de la diversification des spéculations, de l'association des cultures, de l'achat et de la conservation des céréales, de la mobilité et de la restructuration des troupeaux, de la reconversion des éleveurs, de l'agropastoralisme, de la sédentarisation et de la migration (essentiellement transfrontalière).

Malgré toutes les stratégies déployées, beaucoup reste à faire car les techniques utilisées restent essentiellement traditionnelles. En outre, la croissance démographique rapide remet constamment en cause tout équilibre précaire réalisé dans le mode de vie de la population. Aussi peut-on se demander

quel sera l'avenir du système oasien ? Comment peut-on faire pour renforcer la résilience pour un développement durable?

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BIELDERS C.L., RAJOT J.L. & MICHELS K., 2004. L'érosion éolienne dans le Sahel nigérien : influence des pratiques culturales actuelles et méthodes de lutte. *Sécheresse*, 15: 19-32.
- BONNET B., SAMBO B. & HERAULT D., 2013. Sécurisation des systèmes pastoraux au Sahel face aux incertitudes. Démarches et enseignements. In: ANCEY V., AVELANGE I. & DEDIEU B. (Eds.), *Agir en situation d'incertitude en agriculture. Regards pluridisciplinaires au Nord et au Sud*. Bruxelles, Belgique : Peter Lang, 189-211.
- BRINKHOFF T., 2017. City Population, <http://www.citypopulation.de> (dernier accès, le 24/01/2017)
- CHAIBOU M., 2012. Population rurale et changements climatiques: savoir paysan et stratégies d'adaptation au village de Sabarou. Mémoire de maîtrise, FLSH, Niamey, 74 p.
- DE LONGUEVILLE F., HENRY S. & OZER P., 2009. Saharan dust pollution: Implications for the Sahel? *Epidemiology*, 20: 780.
- DE LONGUEVILLE F., HOUNTONDI Y.C., KINDO I., GEMENNE F. & OZER P., 2016. Long-term analysis of rainfall and temperature data in Burkina Faso (1950–2013). *International Journal of Climatology*, 36: 4393-4405.
- DE LONGUEVILLE F., HOUNTONDI Y.C., OZER P., MARTICORENA B., CHATENET B. & HENRY S., 2013. Saharan dust impacts on air quality: What are the potential health risks in West Africa? *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 19: 1595-1617.
- GEMENNE F., BLOCHER J., DE LONGUEVILLE F., VIGIL DIAZ TELENTI S., ZICKGRAF C., GHARBAOUI D. & OZER P., 2017. Changement climatique, catastrophes naturelles et mobilité humaine en Afrique de l'Ouest. *Geo-Eco-Trop*, 41: 317-337.
- GIAZZI F., 1996. La Réserve Naturelle Nationale de l'Air et du Ténéré (Niger) : la connaissance des éléments du milieu naturel et humain dans le cadre d'orientations pour un aménagement et une conservation durables : analyse descriptive. UICN. Gland, Suisse, 678 p.
- IPCC, 2013. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [STOCKER T.F., QIN D., PLATTNER G.K., et al. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 p.
- Ministère de l'économie et de finance, INS : Annuaire statistique 2003- 2007, édition 2008.
- Ministère de l'économie et de finance, INS : Annuaire statistique 2006- 2010, édition 2011.
- MOREL A., 1986. Les crues dans le massif de l'Air (Niger). *Revue de géographie alpine*, 74 : 129-138.
- MORON V., OUESLATI B., POHL B., ROME S. & JANICOT S., 2016. Trends of mean temperatures and warm extremes in northern tropical Africa (1961–2014) from observed and PPCA-reconstructed time series. *J. Geoph. Res.*, 121: 5298-5319.
- OZER P., 2000. Les lithométéores en région sahélienne, un indicateur climatique de la désertification. *Geo-Eco-Trop*, 24: 1-317.
- OZER P., 2005. Estimation de la pollution particulaire naturelle de l'air en 2003 à Niamey (Niger) à partir de données de visibilité horizontale. *Environnement, Risques & Santé*, 4: 43-49.
- OZER P., BODART C. & TYCHON B., 2005. Analyse climatique de la région de Gouré, Niger oriental : récentes modifications et impacts environnementaux. *Cybergeo: Revue Européenne de Géographie*, 308, 24 p. (<http://cybergeo.revues.org/3338>)
- OZER P., ERPICUM M., DEMARÉE G. & VANDIEPENBEECK M., 2003. The Sahelian drought may have ended during the 1990s. *Hydrological Sciences Journal*, 48: 489-492.
- OZER P., HOUNTONDI Y.C. & LAMINOU MANZO O., 2009. Évolution des caractéristiques pluviométriques dans l'est du Niger de 1940 à 2007. *Geo-Eco-Trop*, 33: 11-30.
- OZER P., LAMINOU MANZO O., TIDJANI D., DJABY B. & DE LONGUEVILLE F., 2017. Evolution récente des extrêmes pluviométriques au Niger (1950-2014). *Geo-Eco-Trop*, 41, 3 : 375-383
- OZER P. & PERRIN D., 2014. Eau et changement climatique. Tendances et perceptions en Afrique de l'Ouest. In: BALLOUCHE A. & TAÏBI N.A. (Eds.), *Eau, milieux et aménagement. Une recherche au service des territoires*. Angers, France: Presses de l'Université d'Angers, 227-245.