
Karim Selouane

Paysages et environnement géologique du Sahara atlantique

Pré-requis au développement durable



KARTHALA

**PAYSAGES ET ENVIRONNEMENT GÉOLOGIQUE
DU SAHARA ATLANTIQUE**

Cet ouvrage est publié avec le concours
de l'Agence pour la Promotion
et le Développement Économique et Social
des Provinces du Sud du Royaume du Maroc.

Visitez notre site :
www.karthala.com

Paiement sécurisé

© Editions Karthala, 2015
(Première édition papier, 2015)
ISBN : 978-2-8111-1360-5

Karim Sélouane

**Paysages
et environnement géologique
du Sahara atlantique**

Pré-requis au développement durable

**Éditions KARTHALA
22-24, bd Arago
75013 Paris**

À la mémoire de feu le Commandant Taie, qui nous a quittés prématurément suite à un accident d'hélicoptère en avril 2006... Le Commandant Taie est la personne qui m'a ouvert les premières portes des Forces Armées Royales Marocaines... et ainsi permis de réaliser les photos indispensables à la réalisation du présent ouvrage...

À mon Oncle Haj Joud, décédé au printemps 2004, et ma grand-mère maternelle Feue Habiba Marjane Bent Regragui, disparue en février 2007, pour qui mes travaux étaient et resteront un grand mystère... « *Pourquoi souffrir, dans le désert et porter tant de sable...* » me disaient-ils par crainte de me voir affaibli par la dureté du Sahara...

Enfin en mémoire à feu ma grand-mère paternelle Khadouj Aït Hammouch, venue du Grand Sud et que j'ai à peine connue...

À eux tous qui avaient fui dans les années 1960... des terres australes rudes synonymes de sécheresse...

Remerciements

À l'issue de ce long travail de recherches, je tiens à adresser mes vifs remerciements aux membres des Forces Armées Royales Marocaines de la Zone Sud, parmi lesquels je cite feu le commandant Taie. Sans son soutien logistique exceptionnel (survol de la région en hélicoptère, hébergement, disponibilités des militaires sur toute la période pour traverser les terrains minés, etc.), cet ouvrage n'aurait pu être réalisé convenablement et je n'aurais jamais pu traverser la totalité de ce vaste territoire. Merci à l'ensemble des militaires, des commandants, des colonels et des capitaines de l'armée de terre, de l'air et de la marine des Provinces du Sud du Royaume du Maroc. Qu'ils trouvent ici l'expression de ma profonde reconnaissance.

Je tiens aussi à remercier l'Agence pour la Promotion et le Développement Économique et Social des Provinces du Sud du Royaume du Maroc (APDS), principal partenaire de ce projet de publication avec les Editions Karthala, et son directeur Monsieur Ahmed Hajji pour les multiples appuis administratifs et scientifiques sans lesquels cette recherche ne se serait jamais achevée sous sa forme actuelle. Lui et son équipe ont pu m'assurer un environnement de travail agréable et plein de chaleur « saharienne ». C'est notamment grâce à l'Agence du Sud que j'ai pu obtenir, après de multiples, batailles pendant deux ans, les données météorologiques brutes de ma zone d'étude et de nombreuses cartes topographiques. M. Ahmed Hajji a été un interlocuteur privilégié, un ami et un ambassadeur de mes préoccupations scientifiques. C'est ainsi que j'ai pu être mis en contact avec M. Trichat (ancien waly de la province de Dakhla) qui a su m'ouvrir les portes des administrations des provinces Sahariennes.

Je tiens également à remercier M. Beaudoin, mon codirecteur de thèse qui a accepté l'ouverture scientifique en intégrant un géomorphologue au sein de son équipe de géologie du laboratoire des Géosciences (anciennement CGES ; Centre de Géologie et d'Exploitation du Sous-Sol) de l'École des Mines de Paris.

Mme Courel et M. Chamard qui m'ont encouragé depuis le début de mes études et « recadré » à plusieurs reprises sur le bon « chemin

géographique ». Merci à vous qui avez dirigé mes travaux de recherche et corrigé les premiers résultats, restant disponibles et patients. Vous avez su me transmettre le goût pour la recherche scientifique et la passion du terrain géologique et géomorphologique !

Que Monsieur le Directeur du Centre de Géosciences de l'École des Mines de Paris, ainsi que Madame Dominique Vassiliadis, secrétaire, trouvent ici l'expression de ma très vive et profonde gratitude pour m'avoir permis, respectivement, de disposer du temps nécessaire pour mener à bien cette recherche et de bien s'occuper de mes demandes de prolongations...

Un merci particulier à M. Gérard Friès, qui a su attendre patiemment la fin de ma thèse et m'encourager à la publication de mes travaux entre mes activités au sein de l'industrie et les cours universitaires dispensés à mes étudiants géographes. Sa compréhension et son soutien m'ont permis de reprendre sereinement et sans pression l'écriture de ces travaux.

Mes remerciements s'adressent également aux personnes suivantes :

M. Barathon, Mme Balland, Mme Rouyres et Mlle Valla pour leurs encouragements et leurs conseils tout au long de mes études.

M. Pierre Rognon, Professeur émérite de l'Université de Jussieu, et M. Tarek Oulheri qui m'ont fourni de précieux conseils pour m'aiguiller dans mes recherches,

M. Abdellatif Orbi, océanographe à l'INRH de Casablanca et ses équipes de Dakhla et de Laâyoune (M'Hamed Idrissi, Mahmoud Khatat, Samba...), M. Arid Hassan, Chef du département Océanographie, Climat et Pêche du CRTS à Rabat, pour m'avoir fourni les images satellites Landsat 7TM, M. Naïmi, anthropologue à l'université Mohamed V de Rabat, M. Rejmati Cherki, directeur régional du bureau de prospection minière de Laâyoune-Dakhla, à qui je dois énormément sur le plan de la connaissance géologique de la région,

Zoé Vaillant, Maître de conférences à l'Université Paris X, pour l'énorme effort de relecture et les premières corrections de français, ainsi qu'à Bastien Sechet pour le temps consacré à la correction et au rendu de mes cartes.

J'adresse d'immenses remerciements à Michèle Ducousso, pour tout ce qu'elle a pu m'apporter dans le domaine du dessin cartographique et le fait qu'elle ait su me former à cet exercice indispensable pour le géomorphologue que je suis, et me responsabiliser dans la réalisation de

mes illustrations.

Un énorme merci à tous les habitants des villes et les nomades des Provinces Sahariennes qui m'ont apporté assistance lors de mes nombreuses « odyssées ». En effet, les Saharaouis m'ont accueilli avec une totale disponibilité chaque fois que j'ai eu besoin en m'aménageant un espace chaleureux, sous la tente ou dans leur maison. Je remercie donc ici tous ceux qui, à des degrés divers, ont été pour moi une aide, sous quelque forme que ce soit, plus particulièrement la petite et grande famille qui ont supporté les absences nécessaires à la préparation de cette thèse, sans compter leur soutien et réconfort.

Merci donc à tous les membres de ma famille qui ont dû supporter ces années d'absences et d'isolement sur le plan financier et moral : Fatima, Nahima, Marco, Haziz, Sebastien, Hicham, Nadia, Abder, Kenza, Myriam, Amira, Sahel, Prune et ma maman Oum Hani, Thomas...

La famille Amrane, ainsi que mes proches amis qui ont pu m'héberger au Maroc : Nehza Bidouane, Aziz Sahere, Aziz Daouda. René et Chola Plaza, Quentin Agoston, la famille Ferroui, la famille Berrada (Salim, Si-Mohamed, Latifa et Haj), Alain Bortot, Élisabeth Sanchez « Zab » pour leur réconfort dans mes moments de doute...

Toute ma reconnaissance pour ceux qui, de près ou de loin, ont donc contribué à la réalisation de ce travail, ainsi que pour ceux qui prendront la peine de le juger.

Merci à tous et pour tout !

Préface

Paysages, environnement géologique ... pré-requis ... tout est dit.

Je ne vais ici ni résumer cet ouvrage ni le commenter.

Mais le situer dans son contexte.

L'ouvrage que nous propose Karim (vous me le permettrez, je l'appelle ainsi depuis des années...) est constitué du socle de la thèse qu'il a soutenue à l'École des Mines de Paris le neuf juillet 2008, recevant la mention Très honorable.

Géomorphologue de formation, l'auteur avait ressenti le besoin d'une nouvelle compétence, complémentaire, avant d'entreprendre une œuvre de recherche qui associe à ses racines marocaines sa formation universitaire parisienne : il est venu me trouver à l'École, désireux de s'immerger dans un milieu d'ingénieurs, formés aux sciences « dures », de géologues plus physiciens que naturalistes. Dans une Maison ayant depuis bien longtemps des relations géologiques et amicales avec le Maroc.

Chacun voit les difficultés.

Et Karim Sélouane, dynamique, prolixe, généreux, innovant, entreprenant, jamais découragé, enthousiaste ... a dû apprendre à fortifier son propos par une rigueur nouvelle.

Ce travail a été jugé par un jury non complaisant, garant de la qualité de l'ouvrage qui nous est aujourd'hui proposé. S'il fallait une preuve de la valeur scientifique, et plus largement professionnelle, de l'auteur, il suffirait d'observer qu'il a été embauché, successivement, dans les services de deux de nos anciens élèves docteurs, et soutenu au long de sa thèse par M. Ahmed Hajji également ancien de notre École.

Je terminerai en citant le rapport de soutenance : le jury a apprécié la somme considérable de travail fournie au cours des années et un beau travail de synthèse préparant le travail des aménageurs dans cette région difficile. Les membres du jury responsables d'institutions marocaines tra-

vaillant dans la même région ont mentionné les interactions très positives qu'ils ont eues au jour le jour avec le candidat auquel elles ont fourni des données non publiées et des moyens logistiques. Ces échanges constants ont d'ores et déjà permis de corriger certaines mauvaises pratiques sur les aménagements côtiers.

Ce souci d'application n'a jamais quitté Karim, et ces pré-requis indispensables seront rapidement suivis, nous l'espérons, par ce qui fut la dernière partie de la thèse et, en fait, son objectif premier.

Bernard BEAUDOIN
Professeur honoraire, École des Mines de Paris

Introduction

Du Grand Sahara au Sahara Atlantique... en diagonale

Le Grand Sahara, la plus vaste steppe désertique du monde, dont le nom vient de l'arabe *alsahara* et signifie « désert » ou « steppe », prend en écharpe le nord du continent africain et en représente près d'un quart de la superficie. Sur plus de huit millions de kilomètres carrés (équivalant à un continent tel que l'Australie) que se partagent dix états, de la Mauritanie à la Mer Rouge et de la Méditerranée au fleuve Niger et au lac Tchad, le Sahara gagnerait chaque année environ un million d'hectares. À l'ouest, le Sahara se jette dans l'océan Atlantique... Ses limites, notamment celles d'ordre biogéographique, fluctuent constamment sous l'influence de facteurs climatiques, mais aussi et de plus en plus anthropiques comme le surpâturage, le déboisement et les aménagements urbains... Alors que le Massif du Hoggar (Algérie) s'élève à 2 918 m au mont Tahat, le point culminant du Sahara est l'Emi Koussi (3 415 m), qui se dresse dans le Tibesti. La partie du Sahara Atlantique compris entre le bas oued Draâ et Lagwira (cap Blanc), beaucoup moins accidentée, s'élève progressivement depuis la côte Atlantique.

Cadre géographique

Le Sahara Atlantique a pour cadre géographique les provinces sahariennes du Maroc (l'ex-Sahara espagnol), ainsi que l'extrême nord-ouest de la Mauritanie (région de Nouadhibou). Ce territoire se situe à l'extrémité occidentale du « grand désert » baignant ses côtes dans les eaux relativement froides de l'Atlantique.

Notre zone d'étude s'étend ainsi sur une superficie de 300 000 km², compris entre le 20° et le 30° parallèle. Ce désert côtier est traversé par le Tropique du Cancer, au lieu-dit Cap Cintra. Ses frontières sont à la fois naturelles : le bas Oued Draâ (au sud de la boutonnière d'Agadir), au nord, et l'océan Atlantique à l'ouest, et politiques : l'Algérie au N-E, la Mauritanie à l'est et au sud.

Localisation de la zone d'étude (fig. 1)

Contexte et intérêts suscités par ce terrain

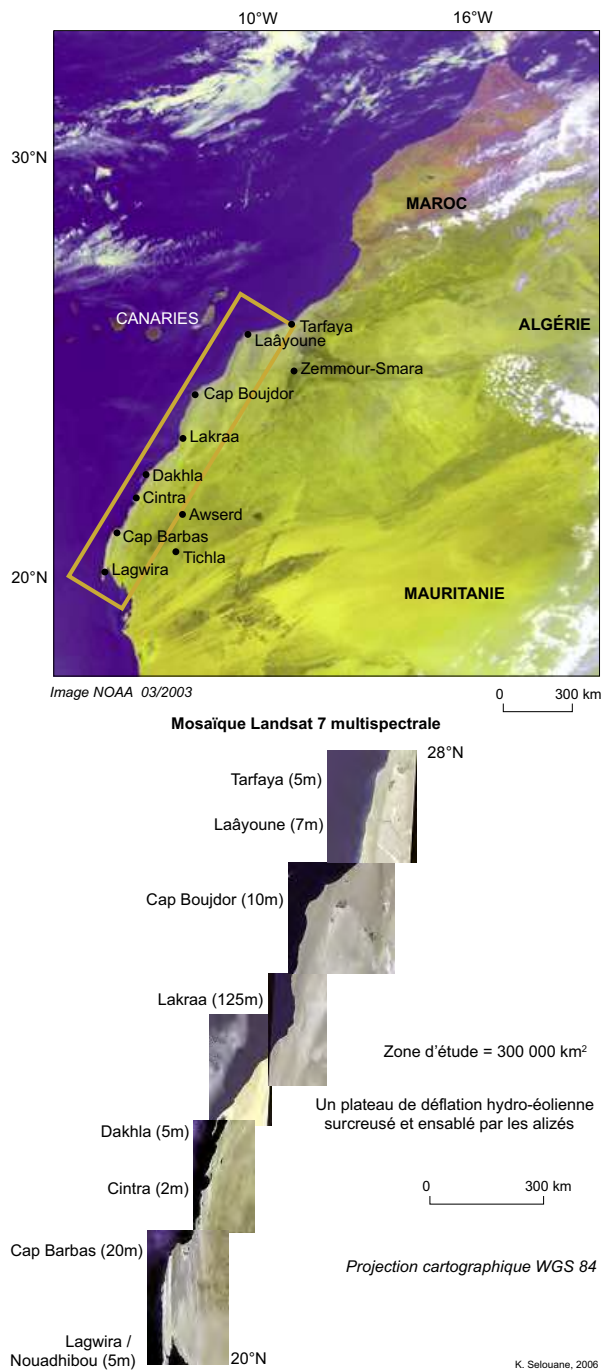
Le Sahara Atlantique, qui comprend l'intégralité de l'ex-Sahara occidental ainsi que le secteur compris entre ce territoire et le sud de l'Anti-Atlas, reste un espace peu connu des scientifiques actuels. L'ensemble des travaux effectués sur le terrain par les Espagnols est soit détruit soit conservé auprès de l'État-major à Madrid. Néanmoins certaines données sont accessibles au Bureau de Recherches géologiques et minières de Paris (Quiroga 1897, G. Lecointre 1965, L. Ortlieb 1975). Leur accès est très difficile parfois même impossible pour des raisons géopolitiques.

De plus, la communauté scientifique fut contrainte de délaisser ce territoire suite au conflit qui opposa le Maroc, l'Algérie et le Front Polisario entre 1975 et 1992. Ainsi aucun scientifique n'a pénétré le « Sahara Occidental » dans son intégralité, ce qui explique en partie le manque d'information et de documents (rarement actualisés) traitant de ce territoire. Or cet espace saharien s'inscrit dans une région à risques multiples rendant vulnérables les aménagements routiers et portuaires. La vulnérabilité du milieu induit par le cadre physique met à mal le développement des quatre pôles urbains du littoral : Tarfaya, Laâyoune, Boujdor et Dakhla, ainsi que le développement de son hinterland. Principalement d'origine naturelle, les processus physiques (ensablement, érosion, écroulement de terrain et inondation) sont prédéterminés par un contexte géologique, géomorphologique, hydroclimatologique et sédimentaire particulier que nous avons tenté de décrire et d'interpréter afin d'en dégager les tendances actuelles.

En dépit de ces aléas, le Sahara Atlantique doit devenir une zone économique majeure dans le cadre du développement septentrional du Maroc. Ce développement, amorcé depuis 1979, s'est accéléré en 2002 avec la création de l'Agence pour la Promotion et le Développement Économique et Social des Provinces du Sud du Royaume du Maroc (APDS). Le Sahara Atlantique connaît ainsi des mutations socio-spatiales et écologiques très rapides notamment sur le littoral. La côte représente le seul espace attractif dans la région, où se concentrent les forces vives de l'économie saharienne du Maroc.

C'est dans ce contexte que le gouvernement marocain tente, depuis 2003, d'encourager des projets d'études pluridisciplinaires visant à améliorer les connaissances sur la zone côtière entre Tarfaya et Lagwira où l'activité socio-

Figure 1 : Localisation de la zone d'étude



économique est principalement orientée vers l’exploitation et l’utilisation de la mer : pêche, tourisme, industrie et aménagement urbain et portuaire.

L’enjeu est donc de déterminer l’évolution géomorphologique actuelle du Sahara Atlantique entre l’Oued Draâ et Lagwira-Nouadhibou, afin de comprendre d’une part, les dynamiques sédimentaires principalement sur la zone margino-littorale et d’autre part, d’en déduire les risques qui peuvent handicaper les aménagements urbains, routiers et portuaires (fig. 2).

Problématique

La problématique est de déterminer un géosystème contribuant aux connaissances phénoménologiques et environnementales du Sahara Atlantique dans la perspective de développer des outils pour évaluer la vulnérabilité des milieux exposés à l’ensablement, à l’érosion, à l’effondrement de terrain et aux éventuelles invasions marines. Les diagnostics obtenus devraient orien-

Figure 2 : Carte des principales villes et localités du Sahara Atlantique



K. Selouane, 2006

ter l'aide à la décision en matière d'aménagement, particulièrement dans les zones fragiles côtières : Tarfaya, Laâyoune, Dakhla et Lagwira.

Cependant, de quelle manière peut-on répondre à ces enjeux à l'échelle du Sahara Atlantique (300 000 km²), par une approche naturaliste ? Pour ce faire, nous nous sommes interrogés sur la conjonction de facteurs physiques liés à son contexte géologique, au rôle des facteurs géomorphologiques, hydrodynamiques, climatologiques et biogéographiques. Nous avons également observé les principaux facteurs anthropiques liés aux aménagements récents, à risques ou perturbant le milieu. Nous avons donc choisi de considérer le Sahara Atlantique, comme un ensemble complexe, fruit d'interactions entre les composantes paysagères et la dynamique bioclimatique. C'est la démarche que nous allons tenter de présenter en vue de comprendre et d'interpréter la morphogenèse post-pléistocène de son paysage et son évolution actuelle.

Méthodologie : exploration et maîtrise d'un terrain « inconnu »

Démarche du géomorphologue

La géographie physique s'applique à l'étude des objets naturels observés sur la planète et à l'analyse des processus responsables des répartitions actuelles ou passées. Elle s'attache à caractériser les formes suivant leur nature mais aussi suivant leurs dimensions spatiales. Elle propose une démarche naturaliste fondée sur la reconnaissance et la classification raisonnée des objets ; ensuite, elle s'appuie sur la science des processus physiques, chimiques ou biologiques pour comprendre l'évolution des phénomènes ; enfin, c'est un savoir qui envisage les interactions complexes qui s'exercent à différentes échelles sur la Terre. La géographie physique fournit donc des outils efficaces pour comprendre les multiples relations entre les sociétés et leur environnement « naturel ». La géographie physique, qui propose une lecture des répartitions, est un outil efficace pour appréhender les dynamiques en relais et étudier leurs interférences avec les activités des sociétés.

Charles Le Cœur (coord.)

Éléments de Géographie physique. 1996. Bréal.

La méthodologie adoptée est ainsi présentée du point de vue du géomorphologue. L'étude du Sahara Atlantique implique que nous considérions notre zone d'étude comme un géosystème impliquant une approche systémique. C'est-à-dire que l'on ne peut se contenter d'étudier les différentes composantes du système. Il s'agit donc de dépasser l'approche analytique classique

pour avoir une vision globale des problèmes posés par l'évolution durant le quaternaire (période post-Pleistocène) et les changements du milieu (actuels).

Pour ce faire, j'ai travaillé à différentes échelles temporelles en m'intéressant au fonctionnement des systèmes à des pas de temps différents :

- temps instantané (à l'échelle de phénomènes se déroulant sur quelques jours comme une crue par exemple) ;
- très court terme (à l'échelle de processus transformant les milieux physiques en quelques années) ;
- court terme (ajustement des milieux survenant à l'échelle des dizaines d'années) ;
- moyen terme (ajustement à l'échelle des siècles) ;
- long terme (ajustement à l'échelle des millénaires) ;
- très long terme (ajustement à l'échelle des dizaines de milliers d'années).

Il y a donc un emboîtement d'échelles temporelles et l'on peut à ce propos citer Michel Foucault : *L'histoire, ce n'est pas une durée, c'est une multiplicité de durées qui s'enchevêtrent et s'enveloppent les unes les autres. Il faut donc substituer à la vieille notion de temps la notion de durée multiple.* (Chabal, 1997)

C'est ainsi que j'ai multiplié les zones d'observations et de mesures afin de ne pas généraliser à partir d'informations trop ponctuelles dans l'espace et dans le temps. De tels renseignements pourraient ne traduire que des situations exceptionnelles : ainsi une crue peut laisser une marque durable dans la topographie d'une plaine alluviale ou d'un reg mais un tel événement hydrométéorologique isolé et exceptionnel en région désertique ne signale pas forcément une période de grande fréquence des inondations sur l'ensemble de la région considérée.

Enfin, j'ai privilégié la démarche rétrospective qui consiste à partir de l'observation des faits de terrain, c'est-à-dire des réponses, pour remonter aux causes des phénomènes, aux processus. Mais la méthode récurrente n'est pas suffisante : il a donc été nécessaire de récupérer des données hydro-climatiques quantifiables auprès de la marine royale, de l'INRH et du centre de météorologie du Maroc, ainsi que des données relatives à l'action humaine auprès de l'Agence pour la Promotion et le Développement Économique et Social des Provinces du Sud du Royaume du Maroc et des différentes administrations territoriales (plan d'aménagement, documents historiques relatifs à l'urbanisation, etc.), ainsi qu'auprès de la Real Sociedad Geográfica de Madrid.

L'appel à la méthode hypothético-déductive est également indispensable. On part d'hypothèses de travail bâties à partir de l'expérience acquise ou d'une connaissance des mécanismes tels que l'on peut les observer actuellement. C'est le principe de l'« *actualisme* », démarche fondée sur le postulat selon lequel les mêmes processus qu'aujourd'hui ont (« pu ») modelé les formes du passé « *the present is the key to the past* » (Brunet et al., 1993).

C'est à travers cette démarche que la présente étude menée entre 2003 et 2007 sur l'ensemble du Sahara Atlantique a nécessité :

- l'usage de la documentation existante (bibliographie ; documents cartographiques et iconographiques : cartes thématiques, images satellitaires, mosaïques de photos aériennes orthorectifiées) ;
- des investigations systématiques basées sur les observations de terrain, l'analyse de photographies aériennes obliques prises lors de survols en hélicoptère, et des travaux de laboratoire (analyses granulométriques et sédimentologiques à l'INRH et au BRPM).

La méthodologie adoptée peut donc se résumer en six points comme suit :

1) De la bibliographie thématique au terrain

À la suite de l'étude bibliographique, il est apparu pertinent de dissocier les recherches concernant la géologie entre le précambrien et le tertiaire, la géologie du plioquaternaire et les dépôts superficiels quaternaires. Ce préambule a abouti à un éclaircissement sur les connaissances pluridisciplinaires sur le Sahara Atlantique et a fait apparaître quelques controverses sur la stratigraphie villafranchienne.

Les informations sur la géologie ainsi obtenues ont permis d'orienter les campagnes de terrain, de déterminer certains affleurements et de définir les paysages et les unités géomorphologiques.

Dans un second temps et avant d'entamer l'étude morphoclimatique et ses influences sur la dynamique sédimentaire actuelle, j'ai dissocié l'état de l'art concernant les études océanographiques et les études climatologiques. Pour ce faire et avec l'équipe d'océanographie de l'INRH, a été effectuée une synthèse des travaux antérieurs.

L'objectif de ce travail bibliographique a été de dégager des informations sur le plateau continental susceptibles de m'aider à interpréter l'origine des évolutions du littoral (trait de côte et secteur margino-littoral) le long du Sahara Atlantique, induites par le climat et les courants côtiers.

Les informations ainsi relevées à travers les lectures ont été vérifiées sur le terrain. Cela a permis d'orienter les axes de recherche et les sites

d'investigation *in situ* et d'organiser la planification de nos expéditions, en fonction des aléas (tempête de sable, brume sèche), de la logistique (disponibilité des Bédouins, de l'armée et des autorités locales...) et du risque élevé des mines...

J'ai ainsi pu établir une typologie des terrains en vue de la mise à jour des connaissances scientifiques restées en « parties mortes » depuis 1975. L'intérêt de cette démarche a été d'aboutir à une maîtrise de la zone d'étude qui n'a pas été foulée par les scientifiques depuis 1972.

2) *Le terrain : l'approche naturaliste et multiscalaire*

Les missions de terrain, entreprises entre décembre 2002 et juillet 2005, ont consisté à vérifier et à comprendre certaines informations géologiques, géomorphologiques et biogéographiques récoltées dans la bibliographie et les différents supports cartographiques.

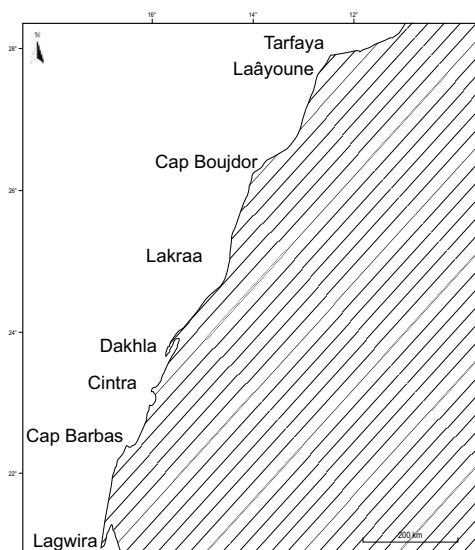
La démarche adoptée s'inspire du naturalisme. Elle se base sur l'observation et la description du terrain (affleurement géologique, formes et agencement du relief, nature et extension des dépôts superficiels et biogéographie) à plusieurs échelles, l'interprétation des phénomènes et leurs analyses. La description du paysage s'est ainsi effectuée d'une manière empirique.

Dans un second temps, les mesures *in situ* récoltées (à pied, en 4x4, en zodiac et en hélicoptère) ont abouti à une bonne connaissance du terrain permettant de définir et de localiser les composantes du géosystème du Sahara Atlantique (*cf* fig. 3).

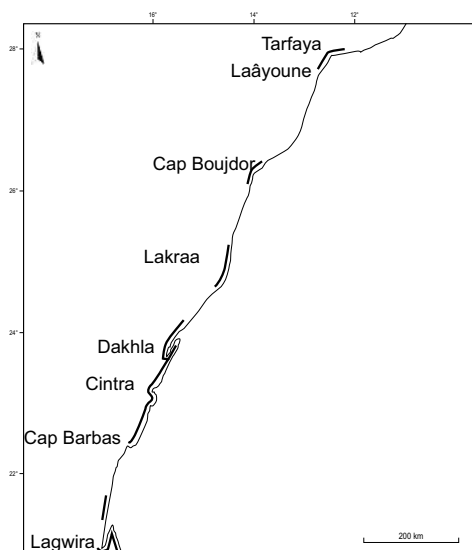
Enfin, les campagnes de relevés géologiques *stricto sensu* auxquelles j'ai pu prendre part entre 2002 et 2005, sous la direction de Rjmati Charki (directeur de l'agence du BRPM à Laâyoune) ont été principalement effectuées dans le cadre du Plan National de la Cartographie Géologique au 1/50 000 et 1/100 000 (PNCG 2002-2007). Cette collaboration a été déterminante dans l'analyse géomorphologique. Nous avons ainsi préconisé la méthodologie suivante : une approche analytique multiscalaire en combinant les mesures cartographiques et *in situ* (linéaments, affleurement, etc.) sur l'ensemble du territoire. En effet pour l'interprétation des données géologiques et morphologiques, nous avons considéré l'ensemble du Sahara Atlantique comme un édifice formé d'éléments de toutes tailles. Par exemple, l'étude des déformations structurales a consisté à inventorier et caractériser tous les éléments relevés sur le terrain et leur relation, à travers les affleurements géologiques et leur topographie. C'est au sens propre une analyse géomorphologique. Les directions, inclinaisons et pendages, de tous plans et de toutes lignes, qui

Figure 3 : Cartographies des zones explorées lors des missions de terrain réalisées entre 2002 et 2005 par K. Selouane

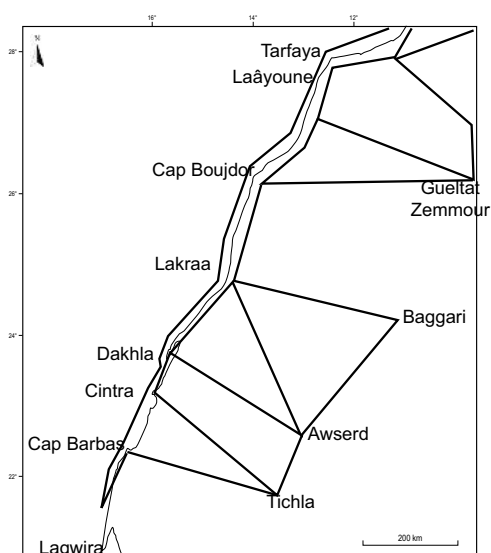
A pied et en 4X4 (seul ou accompagné de nomade)



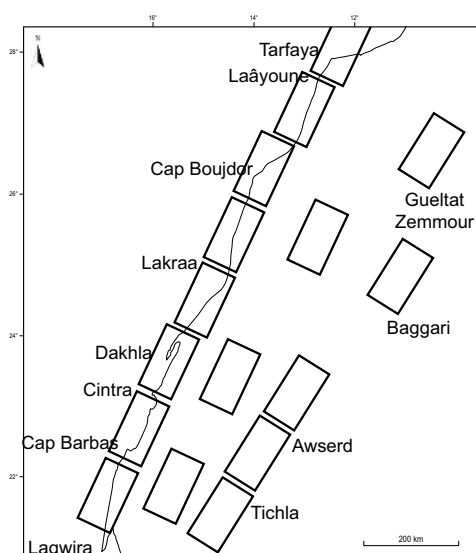
Zodiac (de l'INRH ou des FAR) et barque de marin pêcheur



Hélicoptère (Forces Armées Royales Marocaines)



PNCG (BRPM)*



*PNCG (BRPM) : 1er Plan National de Cartographie Géologique au 1/50 000 (Bureau de Recherche et de Prospection Minière)

limitent ces éléments ont ainsi été mesurés. Ces mesures géoréférencées ont ensuite été projetées manuellement sur les documents synoptiques multiscalaires (cartes topographiques, cartes géologiques, images satellites, photographies aériennes) pour être classées par familles et ordonnées en événements successifs. Nous avons opté pour des profils nord-sud et est-ouest afin d'obtenir une couverture géoréférencée maximale du terrain et réaliser des coupes et des schémas interprétatifs. Ces axes correspondent aux maillages cartographiques d'échelles 1/50 000 et 1/100 000. Néanmoins, les terrains étudiés ont été choisis en fonction de la pertinence des affleurements et des accidents topographiques cartographiquement remarquables mais également en fonction de leur accessibilité. C'est pour ces raisons que nous avons extrapolé certains résultats lorsque les données synoptiques telles que les images satellites, les photographies aériennes, les cartes topographiques et les cartes géologiques le permettaient.

3) *La Toponymie : les racines hassanophones*

L'espace Hassophone du Sud marocain est riche en toponymes mêlant les langues arabe, berbère, espagnole et darija.

Les toponymes traduisent une perception de l'espace vécu par l'homme à un moment donné de l'histoire. Les toponymes ne sont donc pas des expressions figées mais changeantes avec le temps en fonction des migrations, des métissages et des changements sociétaux (politique, culturel, etc.). À titre comparatif, une différence apparaît dans la genèse et la fonctionnalité du toponyme entre la perception européenne et saharienne. Alors qu'en Occident les toponymes ont correspondu à une sédentarisation des hommes, les nomades du Sahara ont utilisé les toponymes comme moyen de repérage pour leur déplacement.

Cependant, étant donné les différences linguistiques entre l'espagnol, le français, l'arabe, le maure (association de la langue arabe et berbère) et le *dallegea* (l'arabe dialectal marocain), il a fallu utiliser la translittération et la transcription phonétique (conversion du système alphabétique et phonétique) maure au système latin, en faisant correspondre à chaque lettre ou chaque son un équivalent français.

Les toponymes pourraient actuellement être utilisés comme des vocabulaires géomorphologiques. Leur description naturaliste (la petite montagne *Lagwira*, *guelb*, le mur de sable *Ribat*, les montagnes jumelles *Jbel Twama*, le couloir de vent *Assif*, etc.) leur confère un atout majeur dans la description du paysage et un outil majeur pour le géologue et le géographe.

En effet, pour l'œil du géomorphologue, il apparaît une corrélation parfaite entre les toponymes et les éléments du relief et de la biogéographie. À titre d'exemple, les grands fleuves de sable sont appelés *Ribat Sbayta*, ce qui signifie en hassanya le mur de sable. La notion de mur s'explique par l'obstacle que représentent les dunes organisées selon un axe nord-sud lors des traversées nomades est-ouest. Les toponymes couvrent ainsi la quasi-totalité de l'espace que ce soit pour désigner une dune, un arbre, une butte, une vallée, une montagne ou une grande dépression.

Néanmoins sur le plan linguistique, les toponymes révèlent une stratification qui s'est opérée en trois temps et de façon inégale selon la zone géographique entre l'arrière-pays et le littoral au cours des deux derniers siècles.

Le subtil mélange d'arabe et berbère de l'hassanya est le plus ancien. Il constitue l'armature de la toponymie régionale. Les mots pourraient remonter à une époque très ancienne millénaire, lorsque le Sahara était plus humide comme en témoignent les termes faisant référence à l'hydrographie : *daya* (lac d'eau douce temporaire), *guelta* (lac d'eau douce), *grara* (lac d'eau douce), *oued* (fleuve), *oudiya* (ruisseau).

Ensuite, lors des explorations maritimes portugaises au 15^e siècle, puis espagnoles à la fin du 17^e siècle, et suite à l'époque coloniale espagnole entre 1884 et 1976, les Ibériques ont nommé les criques, les plages, les caps et les baies le long du littoral saharien. Oued Eddahab est ainsi devenu sous le protectorat espagnol le Rio De Oro.

La dernière strate de toponyme correspond à l'appellation des lieux-dits par les populations du nord du Maroc après la Marche Verte en 1975. Les toponymes en *darija* (dialecte marocain) ne désignent exclusivement que les villages de pêche. Certains de ces noms en *darija*, traduisent de façon littéraire les toponymes hassanya et d'autres ne sont que le résultat d'une perception différente de l'espace. Ainsi seul le littoral présente une succession de toponymes « polyglottes », car seul espace devenu attractif et pénétrable.

Ces informations cartographiques m'ont permis de préciser l'interprétation des images satellites.

Les termes biogéographiques, que je mentionne, ont pour leur part été repris des travaux effectués par les botanistes et les naturalistes (*Adam J. G.*, 1962, *Berland L.*, 1939 *Chevalier A.*, 1932, *Gauthiers-Pilters H.*, 1975, *Lebrun J.-P.*, 1998, *Maire R.*, *Wilczek E.*, 1935, *Monod T.*, 1933-1974, etc.) ainsi qu'auprès des ingénieurs agronomes du service Eau et Forêt de l'Oued Eddahab et de la Seguiet El Hamra qui m'ont accompagné sur le terrain, mais également auprès des bédouins qui ont pu m'héberger durant de longs séjours.

4) Acquisition et atouts des images spatiales Landsat 7TM et Spot pour la photo – interprétation

Le Sahara Atlantique est peu accessible de par la présence de mines et le conflit militaire du Sahara occidental, aussi sa cartographie est-elle difficile. Ainsi, les avantages de la télédétection par satellite proviennent du niveau d'observation très étendu et inédit en certains secteurs géographiques encore inexplorés par les scientifiques. En effet, les photographies aériennes classiques n'offrent pas un tel avantage et surtout ne présentent pas l'homogénéité nécessaire à une échelle d'ensemble. Les cartes topographiques sont quant à elles imprécises. Les cartes topographiques du Sahara Atlantique sont des cartes d'essai, datant de 1984 et 1989 du fait qu'elles ont été réalisées par photo-interprétation sans aucun contrôle terrain. (*Le Maroc entreprend depuis 2003, le maillage de points géodésiques !*)

Nous avons ainsi corrigé géométriquement et géoréférencé les images Landsat 7 TM, sur les canaux 1, 2, 3, le long du littoral entre le 28° N et le 20° N. Les images ont été calées à l'aide de 1800 points de contrôle GPS au sol et projetées sur le même ellipsoïde (UTM WGS 84), en vue de réaliser des spatiocartes entre Tarfaya-Laâyoune et Lagwira – Nouadhibou. Toutes les images Landsat ont ainsi été choisies selon un unique « frame », afin de faciliter le « mosaïcage » de la zone margino-littorale.

Ensuite nous avons associé l'imagerie spatiale aux mesures *in situ* et confronté à divers documents cartographiques et photographiques. Ce travail a permis d'extraire une source puissante d'informations sur la géomorphologie du Sahara Atlantique, essentiellement due à la maîtrise du terrain.

Atouts de l'imagerie spatiale à l'étude de la dynamique géomorphologique

L'échelle et la surface couverte sur le terrain et par l'imagerie spatiale ont permis d'intégrer des phénomènes et des espaces souvent étudiés séparément et de réaliser une synthèse régionale. Pour le Sahara Atlantique, on a pu reconnaître, après exploration du terrain, l'imbrication des grandes hamadas, des chaînes plissées, les grandes fractures, les nappes de charriage, ainsi que les avancées parallèles des cordons littoraux et des fleuves de sables.

Les images satellites offrent donc une vue spatiale remarquable de la surface, de ses structures, de sa morphologie et donc de son utilisation potentielle par l'homme. Ici, l'intérêt des images satellites se révèle surtout lors de la confrontation avec les cartes topographiques, géologiques et les données *in situ*. Elles permettent de comparer d'un seul coup de grandes structures ou de prolonger certains accidents des cartes géologiques.

Les images nous ont permis de réaliser les spatiocartes (cf annexe II) sur l'étude de la géomorpho-dynamique actuelle sur l'ensemble du littoral selon la zonation suivante : Tarfaya-Laâyoune, Dakhla, Cintra et Lagwira-Nouadhibou.

5) Photo-interprétation et réalisation cartographique

L'étape précédente fut primordiale dans l'analyse des images satellites. En effet, les images satellites (Landsat 7TM et spot V) enregistrent souvent dans un même pixel un ensemble hétérogène composé de cailloux, de sables et de végétations. L'association des différentes composantes paysagères au sein d'un même pixel a pour résultat le signalement unique de l'objet dominant, pouvant masquer la lecture des images satellites ou des photographies aériennes.

Ainsi, les observations multiscalaires tirées du terrain ont été utilisées pour optimiser l'interprétation des images satellites et des photographies aériennes. Cependant, la vision humaine s'appuie sur la reconnaissance de la forme et la structure des objets. Il y a donc un phénomène d'apprentissage : plus on a eu l'occasion de repérer le relief ou les formes particulières et remarquables (barkhane, grara, eglab, inselberg, yardang, oued...) sur les images Landsat 7TM et les photographies aériennes, plus l'identification du paysage et l'interprétation ont été facilitées sur l'ensemble des images. Cependant, il ne m'a pas été nécessaire de voir les microreliefs environnants, qui eux, ont été examinés sur le terrain.

La recherche des points de calage et la limite du terrain

La recherche des points de calages sur le terrain a été particulièrement fastidieuse, car il n'a pas été évident de trouver des amers pour la géoréférenciation des cartes issues des photos anciennes. En effet les pistes et les carrefours qui semblent être plus pertinents dans ce genre d'exercice ne sont pas toujours les mêmes et souvent mal localisés voire inexistantes sur les cartes se rapportant à différentes dates. À ces contraintes s'ajoute le risque encouru par l'omniprésence des mines antichars et antipersonnelles éparpillées sur le territoire.

Les différents traitements de l'image soulignent les principaux éléments de la morphologie et de la structure de la région : reliefs résiduels, linéaments, dunes longitudinales et transversales, dépressions. Ils ont permis en outre de localiser les secteurs les plus sensibles à la déflation éolienne. Les sables les plus affectés par cette remobilisation sont ceux des sommets des dunes longitudinales allongées dans

la direction des alizés N10-N40 mais aussi de certaines dunes transversales de placage éolien qui fossilisent de façon très localisée le relief. Ces dépôts sableux de couleurs variables sont caractérisés par une forte réflectance.

D'autre part, il fut très simple d'importer les informations obtenues à l'aide du GPS sur les images et d'y ajouter des informations complémentaires en vue de l'interprétation. Cependant, des écarts ayant été constatés sur le terrain ainsi que des problèmes d'harmonie par rapport aux cartes topographiques souvent imprécises, car issues de la photo-interprétation, nous ont conduit à procéder à des traitements interactifs combinant la numérisation à l'écran et la classification sélective via des contrôles *in situ*. En effet, la localisation précise des unités géomorphologiques qui ont été identifiées pendant la phase de terrain a permis d'avoir des échantillons de description enrichissant les clés d'interprétation.

La phase d'identification géomorphologique

L'identification visuelle du relief s'est faite par l'appartenance des éléments du paysage qui englobe les reliefs remarquables. Ainsi il a été facile de reconnaître un yardang par le fait qu'il fait partie d'un alignement de buttes aérodynamiques monodirectionnelles. À titre d'exemple, faisons le parallèle avec la reconnaissance d'un œil ; on le caractérise bleu ou noir, plus ou moins bridé, chassieux ou pas.

Mais notons que l'on a reconnu le visage parce que c'était un objet composé de deux yeux, d'un nez, d'une bouche et d'un menton ou d'une barbe. C'est cette même démarche qui prévalut pour l'interprétation et l'extrapolation des formes géomorphologiques sur les images satellites Landsat 7TM et les photographies aériennes (missions 1978-1979).

En effet, un cordon de barkhane se reconnaît par ses composants : dune à colorimétrie homogène, morphologie en forme de lune, orientation monodirectionnelle dominante... Chacun de ses composants ne s'identifie correctement que par son appartenance à un cordon dunaire. La paléo-hydrographie se reconnaît par le suivi de la végétation chenalisée le long des lits d'oued. Un relief de Hamada se reconnaît par les ombres propres ou portées des inselbergs...

Cependant, dans cette phase d'identification des éléments du relief, il a été nécessaire de pratiquer le changement d'échelles de façon dynamique mais il ne m'est pas paru nécessaire de passer du centième au cent millième, car les objets de base vus au centième n'ont pas de signification au cent millième.

La phase de zonification

Par la suite, j'ai réalisé une phase de détermination de zones homogènes, en suivant au crayon la règle d'homogénéité interne des zones par rapport à leurs périphéries. Ce tracé tient compte alors d'une analyse en terme de continuité/discontinuité des formes du relief et du paysage. Ce travail a conduit à réalisation des spatiocartes sur fond des images satellites.

La phase de comparaison

Nous avons ensuite effectué une phase de comparaison avec les observations de terrain et sur le terrain, les cartes topographiques, les cartes géologiques et les photos prises au sol et en hélicoptère, par regroupement des différentes zones géomorphologiques et biogéographiques.

6) Démarche de l'interprétation paléogéographique (post-pléistocène)

L'interprétation du cadre morphologique du Sahara Atlantique a été faite à partir de différentes informations : des études de terrain fondées sur des transects et qui ont permis de définir la chronologie relative d'ordre géomorphologique, l'interprétation des images satellites et des photographies aériennes qui ont conduit à la caractérisation des états de surface.

Des reconnaissances de terrain ont permis de définir le cadre morphologique de la région, l'emboîtement des formes, la succession des systèmes morphogéniques ainsi que les formations superficielles corrélatives de modèles successifs. Il reste que l'extrapolation fut difficile à réaliser à partir d'itinéraires souvent linéaires à très court rayon d'exploration.

L'imagerie satellitaire de type Landsat et Spot, et les photographies aériennes en l'occurrence, ont permis de s'affranchir du point d'observation et conduit à une classification des états de surface significatifs et propres aux multiples formations détritiques observées. La généralisation devient de la sorte possible, des limites ont pu ainsi être données aux dépôts et leurs relations précisées au sein d'un géosystème plus global.

Enfin, si les paléoformes éoliennes ou hydriques sont pour la plupart encore très bien conservées, d'autres, actuelles et récentes, sont furtives ou très mobiles. Le déplacement des *barkhanes* est ainsi parfois si rapide qu'il entraîne des contraintes locales répétitives, tel l'ensablement des routes et des ports, etc.

De la sorte, en croisant les observations de terrain, et les diverses interprétations et représentations tirées des images spatiales couplées aux données hydro-climatiques, j'ai tenté de définir l'étendue des combinaisons géographiques. Il a donc été possible de présenter à la fois le résultat d'une

évolution et son rythme, permettant de comprendre la dynamique morpho-sédimentaire de cet environnement aride côtier.

D'autre part, dans un souci de clarté, il est apparu plus pertinent d'utiliser une « géographie schématique » pour dégager les logiques et les dynamiques spatiales ayant une interaction directe avec le milieu « naturel ». Ces schémas forment un langage, un outil sémiologique, de l'« espace », grâce auxquels il est possible de construire des modèles, souvent également nommés par extension chorèmes ou schémas chorématiques. Le but de cet outil a été de schématiser sous forme de tableau de synthèse quelques chapitres et l'ensemble des parties.

Présentation de la notion d'environnement

C'est donc le caractère environnemental de l'étude qui justifie l'association d'une méthode à la fois physique et humaine. En effet, selon *M. Jollivet et A. Pave, (1992, CNRS) l'environnement est l'ensemble des milieux naturels ou artificialisés de l'écosystème et de l'écosphère, où l'homme est installé, qu'il aménage et l'ensemble des milieux non anthropisés nécessaires à sa survie.*

Ces milieux sont caractérisés :

- par leur géométrie, leurs composantes physiques, chimiques, biologiques et humaines et la distribution spatiale de ces composantes.
- par les processus de transformation, d'action ou d'interaction impliquant ces composantes et les faisant changer dans l'espace et dans le temps.
- par leurs multiples dépendances par rapport aux actions de l'homme.
- par leur importance pour le développement des sociétés humaines.

D'autre part, les objectifs de développement durable et d'aménagement de ce vaste territoire se fondent sur la recherche d'intégration et de mise en cohérence des politiques sectorielles et imposent un traitement conjoint des effets économiques, sociaux et environnementaux de toute politique ou action humaine. C'est donc une approche d'intégration des démarches multipartenariales et interdisciplinaires qui justifie la méthodologie précédemment décrite.

Synthèse historique et bibliographique de la géologie au Sahara Atlantique

La géologie de l'Archéen au Tertiaire

Les études géologiques effectuées dans le domaine saharien sont intimement liées à celles d'une grande unité géologique du continent africain qui est le craton ouest-africain, limité au nord par l'Anti-Atlas, à l'est par

la zone mobile de l'Afrique centrale et à l'ouest par la zone mobile de l'Afrique de l'Ouest.

Le craton ouest-africain est recouvert, sur une grande partie de sa surface, par des formations sédimentaires protérozoïques, paléozoïques, mésozoïques des bassins de Tindouf au nord et de Taoudenni dans sa partie centrale.

Les premiers travaux géologiques sur le craton ouest-africain sont apparus au cours du premier quart du XX^e siècle d'après J. Chautard (1907), R. Chudeau (1910-1911), A. Lacroix (1911) et Hubert (1903 à 1934) pour l'étude de plusieurs régions de l'Afrique Occidentale, F. Dixey (1919 à 1925) pour la Sierra Léone et A.E. Kitson (1918 à 1928) pour le Ghana, in *Géologie de l'Afrique* (1977).

De 1925 à 1940, des cartes géologiques espagnoles, allemandes et françaises à différentes échelles ont été publiées à la suite des travaux systématiques de prospection minière et pétrolière, qui constituent encore la base des connaissances de la géologie de certaines régions du Sahara Atlantique.

Des synthèses régionales ont été réalisées, telle *L'esquisse géologique de l'Afrique Occidentale* de P. Legoux en 1936 in *Géologie de l'Afrique*.

Après la Seconde Guerre mondiale, dans le cadre de la recherche géologique et minière conduite par les puissances coloniales, la France et l'Espagne, pour ce qui concerne notre zone d'étude, le craton NW Africain et ses bordures sédimentaires et métamorphiques ont fait l'objet de recherches systématiques conduisant à l'élaboration de plusieurs travaux de synthèses. La plupart de ces travaux, effectués par les Espagnols ne sont que très rarement, voire difficilement, accessibles auprès de la Real Sociedad geográfica de Madrid et l'Instituto geologico y Minero de España et ce pour les différends qui opposent le Maroc et l'Espagne au sujet des provinces sahariennes.

Le Moghrébien : une datation controversée du Plio-Quaternaire

Le Moghrébien ayant été défini comme un important épisode transgressif, marin, distinct du Pliocène marin de l'Atlantique (G. Choubert et R. Ambroggi, 1953), les formations moghrébiennes appartiennent à la fin du Pliocène (G. Lecointre, 1964 et M. Gigout, 1960).

Une importante controverse scientifique oppose depuis plus d'un demi-siècle certains spécialistes à propos de l'âge stratigraphique des dépôts de la dalle moghrébine. Des travaux antérieurs sur le Plio-Quaternaire ont concerné l'étude chronostratigraphique de la formation grésocalcaire fos-

silifère, à Huîtres et Pecten. En effet, un âge tertiaire récent a été attribué aux calcaires fossilifères supérieurs et crétacés aux sables inférieurs. Cependant, par la suite cet ensemble stratigraphique fut réattribué au Pliocène par l'identification de fossiles végétaux (F. Quiroga, 1886).

Ainsi pour des auteurs comme M. Gigout (1960) et P. Biberson (1961), il est d'âge Pliocène. En revanche, pour G. Choubert et ses collaborateurs (1956), et ce après plusieurs analyses critiques de cette stratigraphie, le Moghrébien représente la première transgression pléistocène (G. Beaudet, 1968). Cependant, l'analyse critique de cette stratigraphie fait apparaître nombre d'incertitudes. Cette imprécision rend naturellement toutes tentatives de corrélations avec des régions trop éloignées. Elle ne peut s'insérer toutefois, dans le cadre de la stratigraphie et des hypothèses génétiques jusqu'à présent considérées comme classiques entre le Maroc et la Mauritanie (Choubert, Lecointre, Petit-Maire, Ortlieb et El Khatib).

Le Moghrébien a ainsi été défini comme un important épisode transgressif, marin, distinct du Pliocène marin de l'Atlantique (G. Choubert et R. Ambroggi, 1953). Les formations moghrébiennes appartiennent à la fin du Pliocène (G. Lecointre et M. Gigout). Le faciès classique de ses dépôts est la « lumachelle à Pectinidés ». Ce sont des grès calcaires, coquilliers, généralement consolidés. Des dunes, également consolidées, apparaissent souvent au sommet. Le problème de l'âge du Moghrébien a été largement débattu par ces différents auteurs que certains attribuent au Pliocène et d'autres au Quaternaire. Des relevés de coupes géologiques de reconnaissances, concentrées au niveau de la zone de Dakhla, comparées à d'autres, effectuées dans le bassin de Tarfaya-Laâyoune-Dakhla (G. Lecointre, 1963, 1964), ont permis d'attribuer les niveaux lumachelliques à Pectinidés au Moghrébien (Pléistocène), surmontés de deux autres niveaux quaternaires marins Maarifien et Anfatién.

Pour la partie du Sahara qui intéresse notre étude nous considérons le Moghrébien dans son acception la plus neutre à savoir le Villafranchien, à cheval entre le Tertiaire et le Quaternaire. Ainsi afin d'éviter les confusions engendrées par l'utilisation d'une nomenclature détournée de sa signification génétique originelle, nous adopterons dans ce travail une terminologie plus générale : pliovillafranchien. De ce fait nous estimons, conformément aux derniers travaux effectués le long du Sahara Atlantique par L. Ortlieb et N. Petit-Maire (1972-1975), que la dalle moghrébienne est d'âge plioquaternaire avec un plancher en contact avec le Miocène supérieur-Pliocène de 4 millions d'années maximum et un toit stratigraphique datant de la fin pléistocène, soit 2,5 millions d'années environ.

La géologie du Quaternaire et les dépôts détritiques

Les travaux concernant la géologie quaternaire, indispensables à l'étude géomorphologique et à la compréhension de la dynamique sédimentaire actuelle au Sahara Atlantique, sont d'une rareté frappante. Les premières recherches ont été entamées dans le secteur sud, à la fin du XIX^e siècle et au début du XX^e siècle par O. Lenz (1882), F. Quiroga (1886), C. Deperet (1912) et Font Y Sague (1911). Ces études précoces et incomplètes ont été poursuivies des années plus tard par des chercheurs espagnols en particulier : E. et F. Hernandez Pacheco (1949) et M. Alia Medina (1949) qui ont parcouru la région. D'autres recherches ultérieures ont porté surtout sur le littoral Atlantique et le secteur situé entre l'embouchure de l'Oued Draâ et Tarfaya, soit au nord de notre zone d'étude. Elles étaient réalisées par un groupe de géologues (Choubert et al., 1956) et de géographes dont G. Choubert, F. Joly, M. Gigout, J. Marçais, J. Margat et R. Raynal et les travaux relativement récents de L. Ortlieb (1972-1975).

Par ailleurs, parmi les préhistoriens et archéologues associés à des géologues qui ont contribué à faire connaître la préhistoire de ce territoire on peut citer : J. Santa Olalla (1944), F. Jorda Cerda (1955), M. Reine (1961) et P. Biberson (1963, 1968). Leurs résultats ont permis d'enrichir la compréhension des paléoenvironnements quaternaires et leur évolution durant l'Holocène et le Récent, déduits des modes d'occupations humaines ainsi que la reconnaissance de certains dépôts superficiels sur les sites néolithiques et paléolithiques.

Mais pour l'essentiel, les travaux récents ont porté sur l'Holocène et le Néolithique. On peut citer les cinq missions pluridisciplinaires entre 1973 et 1974 (géologie, paléontologie, paléanthropologie et palynologie) conduites par N. Petit-Maire, dont certains résultats sont publiés dans la thèse de L. Ortlieb (*Recherche sur les formations plioquaternaires du littoral ouest-saharien*, travaux et document de l'Orstom, 1975). Ces missions ont contribué à la reconnaissance de certains dépôts du Quaternaire Récent et de l'Actuel uniquement le long du littoral entre Tarfaya et Nouakchott et leurs relations avec les transgressions marines quaternaires.

D'autre part, D. Grébénart (1972) a signalé la présence de plusieurs sites néolithiques et épipaléolithiques dans la région de Tarfaya. Il est à noter que la majorité des études programmées et systématiques a été conduite sur le rivage atlantique et ne concerne que les derniers mille ans. En revanche, l'exploration préhistorique et géologique du bassin de Tindouf au NE de Smara est restée pendant longtemps soumise aux observations de quelques

chercheurs en mission de reconnaissance (A. Salih, J. Onrubia-Pintado et M. Noçairi, El Aioun-Tindouf, in *Évolution passée et future des déserts*. 1991). En effet, les informations peu précises disponibles sur la préhistoire et le Quaternaire du bassin de Tindouf sont fondées principalement sur les récoltes hâtives effectuées par les méharistes en déplacement (d'après A. Salih, J. Onrubia-Pintado et M. Noçairi, El Aioun-Tindouf, in *Évolution passée et future des déserts*. 1991). Pour ce qui est du secteur compris entre le Jbel Aguerguer (à quelque 20-30 km à l'est de la côte) et le sud du bassin de Tindouf entre Gueltat Zemmour et TichlaZoug, aucune étude de géomorphologie et sur les dépôts quaternaires n'a été réalisée. C'est pour ces raisons que peu de cartes géologiques mentionnent les dépôts quaternaires au Sahara Atlantique, à l'exception des principaux couloirs de dunes observables sur les photographies aériennes et quelques images satellites.

Au sud de notre zone d'étude, concernant l'Aguerguerien, R. Chudeau (1911), T. Monod (1923, 1928), R. Lambert (1938), F. Tessier et al (1971) et L. Hébrard (1973) ont étudié les grès de l'Aguerguerien de la péninsule du Cap Blanc (Lagwira). Ces travaux permettent de retenir qu'il s'agit de formations littorales marquant plusieurs fluctuations d'une mer régressive, probablement au Pleistocène moyen (« Aioujien », P. Elouard et al., 1969 ; L. Hébrard, 1973).

D'autre part, les géologues L. Hébrard et S. Duplaix ont contribué à « l'étude géologique du quaternaire du littoral mauritanien entre Nouadhibou et le Cap Tafarit (1974) », à travers une étude des minéraux lourds présents sur la plateforme littorale. Il ressort de leur analyse que les divers sédiments marins et dunaires du Quaternaire du littoral mauritanien sont caractérisés chacun par une association minéralogique différente. C'est ainsi que l'amphibole semble progresser des niveaux supérieurs de l'Aguerguerien à l'Ogolien.

L. Hébrard a également apporté de nombreuses précisions sur la succession des épisodes morphoclimatiques (cf. coupes près de Tiguent et à l'est d'Idini, in L. Hébrard 1973) depuis la période appelée Tafolien (4 500 à 4 000 BP) : elle impliquerait selon lui des pluies de lignes de grains dans une zone qui aujourd'hui ne reçoit plus que des pluies d'hiver et la formation de petits lacs dans les interdunes.

Enfin, dans ses recherches sur le Quaternaire marin de l'Ouest mauritanien, L. Hébrard (1973, 1978) mentionne à plusieurs reprises l'existence d'amas coquilliers et publie les premières dates radiométriques effectuées sur ces coquilles « anthropiques ». Il signale aussi l'existence, au lieu-dit

Tintane, de nécropoles néolithiques contenant plusieurs milliers d'inhumations. Cette découverte, qui sera ramenée à des chiffres plus raisonnables, suscite un regain d'intérêt de la part des anthropologues et préhistoriens, et plusieurs missions sont organisées au début des années 1970, aboutissant à un ouvrage collectif de synthèse sur la *Mauritanie atlantique à l'Holocène*, publié sous la direction de N. Petit-Maire (1979). En 1987, à l'occasion d'une action thématique programmée du CNRS sur l'histoire de l'environnement, cette équipe eut l'occasion de se rendre dans ces contrées, que les événements liés au conflit du Sahara occidental avaient rendues inaccessibles pendant plus d'une décennie.

Plus récemment, et concernant les grands ensembles dunaires du Sahara Atlantique (« *Fleuves de sables* ») Tarik Oulerie et Pierre Rognon (1992) ont réalisé une étude de terrain pour la compréhension de la dynamique de l'ensablement entre Tarfaya et Laâyoune à travers de nombreuses analyses granulométriques et des minéraux lourds des sables de barkhanes. Ce secteur correspond à l'extrême nord-ouest de notre zone d'étude.

Néanmoins, il est à noter que personne n'a suivi dans l'intégralité l'ensemble des dépôts superficiels et des cordons dunaires de l'ex-Sahara occidental. Les couloirs dunaires n'ont également jamais observé dans leur totalité par les différents explorateurs et scientifiques, ce qui pourrait en partie expliquer leur cartographie incomplète avant l'avènement des images satellites, et l'analyse des premières photographies aériennes militaires réalisées entre 1978 et 1979 par l'aviation des Forces armées Royales Marocaines. Pour ma part, je les ai suivis à terre, mais également en hélicoptère (Forces Armées Royales) dans leur intégralité. Les missions aériennes réalisées en mai et juin 2003, puis en mars et avril 2005 ont ainsi permis d'observer et d'étudier l'agencement des grands ensembles dunaires et leurs dispositions par rapport à leur environnement géomorphologique et topographique et de proposer une dynamique sédimentaire régionale.

Système chronologique quaternaire utilisé

Pour la chronostratigraphie quaternaire et les dépôts superficiels nous adopterons une terminologie générale : post-Plio-Villafranchien, Quaternaire ancien, Quaternaire moyen, Quaternaire récent (Holocène) et l'Actuel, quitte à subdiviser ces périodes si les niveaux sont nombreux (cf. tab 1).

Selon le principe de corrélation retenu et les récents résultats de Ph. Brebion (1980), nous avons choisi les termes de Messaoudien, Anfatién

et Oulijien pour les trois principaux étages marins pléistocènes (cf. Tab. 1 et 2). Ils font suite au cycle pliocène dont les termes moyen et supérieur portent localement le nom de Moghrébien (R. Wernli, 1978 et 1979). Ils se corrélaient respectivement avec le Calabrien, le Sicilien et le Tyrrhénien définis par E. Bonifay (1964).

Il est à noter que le Moghrébien est dénommé selon les auteurs : Villafranchien, Plio-Quaternaire. Selon R. Wernli (1979), la base du Moghrébien est d'âge Pliocène moyen. D'une manière plus générale, cet âge est daté par l'ensemble des auteurs entre 1,8 et 2,5 millions d'années.

Chaque étage se subdivise donc en trois parties :

- une partie inférieure correspondant au début de la transgression,
- une partie moyenne correspondant au maximum transgressif,
- une partie supérieure correspondant à la phase régressive.

Les hauts niveaux à faune « froide » ou « fraîche » (Harounien, Maarifien), simples oscillations à l'intérieur d'un cycle, résultent de déformations tectoniques locales ou de mouvements eustatiques globaux (glacio-eustatiques ou autres). La succession suivante est proposée [cf. tableau 2, Le Quaternaire marin et l'évolution de la faune malacologique au Maroc, selon G. Lecointre (1965)].

Cycle messaoudien (= Calabrien inférieur ; 1.9 à 0.7 M.a. env.)

Messaoudien inférieur (=Calabrien inférieur) ; Messaoudien moyen (= Émilien = Calabrien moyen) ou Messaoudien stricto sensu à faune chaude ; Messaoudien supérieur (= Calabrien supérieur), avec une pulsation positive, le Maarifien à faune « froide ».

Cycle anfatien (= Sicilien ; 0.7 à 0,3 m.a. env)

Anfatien inférieur (=Sicilien inférieur) ; Anfatien moyen (= Milazzien = Sicilien moyen) ou Anfatien stricto sensu à faune chaude ; Anfatien supérieur (=Sicilien supérieur).

Cycle ouljien (Tyrrhénien ; 0.3 à 0,016 m.a. env)

Ouljien inférieur (= Tyrrhénien inférieur) avec au moins deux oscillations positives : Harounien du sud/Agadirien (0.260 Ma. env) (Ph. Brebion, C. T. Hoang, A. Weisrock, 1984) et Harounien du nord/Rabatien (0.145 Ma. env) (C.E. Stearns et D.L. Thuber, 1965) ; Ouljien moyen (=Tyrrhénien moyen ou Eutyrrhénien) ou Ouljien stricto sensu ; Ouljien supérieur (= Tyrrhénien supérieur) avec deux pulsations positives.

Tableau 1 : Chronologie marine et continentale (Maroc) dans le bassin méditerranéen, d'après Paskoff et Salanville, Texier, Raynal, Lefèvre et Riser

	Ages BP	018 016	Paléomag. + -	Chronologie marine			Chronologie continentale		
				Méditerranée	Tunisie	Maroc atlantique	Maroc		
Quaternaire récent * Pléistocène récent	0	1		Versilien	Flandrien	Mellahien	Rharbien		
	10000	2		Regression			SOLTANIEN		
	20	3		Tiét					
	30	4		Régression					
	40	5		Néotyrhénien ou Tyrhénien III					
	50	a		Chebba					
	60	b		Eutyrrhénien Tyrhénien II	Réjiche	OULJEN supérieur	Interstade Soltanien Tensiftien		
	70	c							
	80	d							
	90	e							
100	6								
110	7	Paléotyrhénien ou Tyrhénien I	Douira	OULJEN inférieur ou HAROUNIEN	TENSIFTIEN				
120	8								
130	9								
140	10								
150	11								
Quaternaire moyen * Pléistocène moyen	160	12		Néo-Sicilien			AMIRIEN		
	180	13		Sicilien moyen, Milazzien					
	200	14							
	220	15		Sicilien inférieur					
	240	16							
	260	17		Calabrien supérieur ou Néo-Calabrien (Émilien)			Deux phases de sédimentation continentale majeures en Meseta et vallée de la Moulouya		
	280	18							
	300	19		Calabrien moyen					
	320	20							
	340	21		Calabrien moyen					
360	22								
Quaternaire ancien * Pléistocène ancien	380	23		Calabrien supérieur ou Néo-Calabrien (Émilien)			Interstade Amirien Moulouyen		
	400	Jar.		Calabrien moyen					
	420	Gilsa Old.							
	440	24		Calabrien moyen					
	460	25							
	Pliocène	480		26		Calabrien supérieur ou Néo-Calabrien (Émilien)			Deux phases de sédimentation continentale majeures en vallée de la Moulouya
		500		27		Calabrien moyen			
		520		28					
		540		29		Calabrien moyen			
		560		30					
580		31	Calabrien moyen						
600		32							
620		33	Calabrien moyen						
640		34							
660		35	Calabrien moyen						
680	36								

* Remarque : 2 orthographes sont utilisées pour le pléistocène = pléhistocène