

NATURE, ORIGINE ET RÉPARTITION DE LA PHASE ARGILEUSE DE LA LAGUNE DE NADOR (MAROC NORD ORIENTAL)

Rachida MAHJOUBI ¹, Saïd KAMEL ¹, Bouchta EL MOUMNI ²,
Yves NOACK ³ & Claude PARRON ³

(11 figures et 1 tableau)

1. UFR 'Géologie de Surface et Environnement', Départ. géologie, Fac. des Sci., B.P. 4010, Meknès, Maroc.
2. Département de Géologie, Faculté des Sciences et Techniques, Tanger, Maroc.
3. CEREGE, Europôle Méditerranéenne de l'Arbois, Université Aix Marseille III, Aix-en-Provence, France.

ABSTRACT. Nature, origin and distribution of the clayey phase of the Nador lagoon (NE of Morocco). The Nador lagoon is located in the eastern Rif, and is surrounded by geological formations with various facies. The clay fraction of the lagoon is composed, in decreasing order, of illite, kaolinite, smectite and chlorite. Smectite prevails in the northeast of the lagoon and chlorite dominates in the southwest. In the watershed, illite and chlorite are found in all the sedimentary rocks, and they abound in the Kbdana Jurassic marls and in the Bni Bou Ifroug Jurassic schists. Weathering of different geological substrata develops kaolinite, whereas Miocene marls and saprolite from the Gourougou volcanic rocks liberate smectite. The clay fraction of the fluvial suspended matter is rich in illite and shows an enrichment of smectite from south to north. In addition to this continental contribution, there are also aerosols, encompassing the principal clay minerals and displaying seasonal variation in relative distribution. The distribution of clay minerals has not changed much within the past 3000 years. The evolution of the basin fill is linked to lagoon dynamics, controlled by the changing position of the exit channel.

KEYWORDS: Morocco, Nador, lagoon, watershed, sedimentation, clay minerals.

RÉSUMÉ. La lagune de Nador est située à l'extrémité Est du Rif Nord Oriental marocain. Elle est encadrée par des formations à faciès très variés. La phase argileuse des sédiments de la lagune comporte, par ordre d'importance décroissant, l'illite, la kaolinite, la smectite et la chlorite. La smectite caractérise la partie NE de la lagune et la chlorite caractérise la zone SE. Dans le bassin versant, l'illite, ubiquiste, et la chlorite se rencontrent dans toutes les formations sédimentaires; elles abondent dans les marnes jurassiques de Kbdana et dans les schistes jurassiques de Bni Bou Ifroug. La kaolinite se développe par altération des différents substrats géologiques. La smectite est libérée par les marnes miocènes et jurassiques et surtout par les formations superficielles, notamment les altérites et les sols des roches volcaniques de Gourougou. La phase argileuse des matières en suspension et des alluvions des tributaires montrent un enrichissement en smectite en allant du Sud vers le Nord du bassin versant avec un enrichissement en illite dans les matières en suspension. A ces apports continentaux s'ajoutent ceux des aérosols dont la composition minéralogique, comporte les quatre minéraux principaux avec des teneurs qui changent en fonction des saisons. Dans la lagune, la répartition des argiles dominées par les matériaux du substrat, est contrôlée par la nature des apports et par les courants intralagunaires. Les apports en argiles n'ont pas beaucoup changé au cours du temps (3000 ans) et l'évolution des argiles, dans le remplissage du bassin, est liée à la dynamique lagunaire qui est contrôlée par le changement de la position du chenal de communication.

MOTS-CLES : Maroc, Nador, lagune, bassin versant, sédimentation, minéraux argileux.

1. Introduction

La lagune de Nador, située à l'extrémité Est du Rif Nord Oriental (Fig. 1), est une dépression de 115 km² de surface. Elle correspond à un système côtier microtidal sous climat méditerranéen et forme une unité morphologique du bassin subsident de Bou Areg. La communication de la

lagune avec la mer Méditerranée est assurée par une passe dont la position a varié au cours du temps. La profondeur maximale de la lagune est de l'ordre de 8 m et les courants montrent une dérive périelittorale de sens dextre qui entraîne une lente rotation de la masse d'eau dans le même sens (Guelorget & Perthuisot, 1983). Les masses d'eaux marines qui pénètrent par la passe, circulent essentielle-

ment le long des rives dans le sens des aiguilles d'une montre (Guelorget *et al.*, 1984) et délimitent une masse d'eau centrale plus stable caractérisée par des mouvements beaucoup plus lents (Guelorget *et al.*, 1987). Elle est entourée par un ensemble de reliefs à lithofaciès volcaniques et sédimentaires. Le bassin versant, d'une superficie de 2200 km², est drainé par un réseau hydrographique dense (Fig. 2 & 3). À l'exception de la rivière de Selwane, les autres rivières alimentant la lagune ne coulent généralement que pendant les crues. Le bassin est formé de trois sous-bassins versants, entourant la plaine de Bou Areg, qui comportent des terrains à faciès variés soumis à une altération supérogène et une érosion localement intense.

Le massif de Kibdana, au SE de la lagune, culmine à une altitude de 932 m et il est constitué par des formations secondaires et tertiaires décrites par Lizaour *et al.* (1951a, 1951b) et Luca (1978). Des schistes gréseux, considérés comme primaires, affleurent très localement au fond d'une vallée. Le Secondaire comprend l'Infralias et le Lias inférieur et moyen représentés par des calcaires dolomitiques massifs et des calcaires à silex. Le Lias supérieur et le Jurassique moyen datés (jusqu'au Bajocien) sont essentiellement marneux et marno-calcaires. Un âge Jurassique supérieur est attribué à un ensemble grésopélitique à faciès flysch. Le Tertiaire se réduit au Miocène anté-nappes à faciès détritique. Sur l'ensemble des formations précitées se développent localement des sols très minces de couleur brune; ils sont parfois inexistantes en amont et s'épaississent au piedmont septentrional du massif de Kibdana.

Le massif de Gourougou se situe au NW de la lagune et culmine à 887 m. Il s'agit d'un strato-volcan complexe de 15 km de diamètre dans la direction N-S et 25 km dans la direction E-W, formé de nombreuses roches volcaniques: des latites, qui occupent la plus grande surface de ce massif, des basaltes, des absarokites, des andésites, des shoshonites, des cendres (tufs) et des pyroclastites (Hernandez, 1983). Ces roches volcaniques sont plus ou moins altérées et développent des sols minces sur les pentes et épais sur les zones plates.

Le massif de Bni Bou Ifroufrou situé à l'Ouest de la lagune est allongé dans une direction NE-SW. Il est formé de schistes jurassiques et de calcaires crétacés. Il est percé par des laccolithes et des filons de granodiorites. L'ensemble est entouré par des collines d'origine volcanique, dominées par des latites (Hernandez, 1983). Sur ces roches endogènes se forment des sols bruns à rouges qui comportent parfois des croûtes calcaires.

La plaine subsidente de Bou Areg reçoit les produits d'érosion des massifs qui l'encadrent. Le matériel de remplissage est de nature colluvial et alluvial, il augmente d'épaisseur de l'amont vers l'aval où il dépasse 60 m (Guillemin & Wernli, 1987). Sur ces matériaux se développe une couverture pédologique à sols diversifiés peu épais à l'amont et plus profonds à l'aval. Dans le piedmont de Kibdana, le matériel de remplissage s'organise en profils pédologiques superposés avec parfois des encroûtements calcaires qui peuvent dépasser 1m d'épaisseur.

Le cordon dunaire est formé, dans sa partie N-W, de sables coquilliers recouverts localement par des dunes actuelles et, dans sa partie S-E, de calcarénites dunaires portant des sols bruns plus ou moins profonds.

Le milieu lagunaire a fait l'objet de plusieurs travaux notamment sur les sédiments superficiels. Tesson et Gensous (1981) ont publié les premières données géochimiques sur les dépôts lagunaires. Irzi (1987) a effectué une étude micropaléontologique des sédiments superficiels et de quelques carottes situées sur le pourtour de la lagune. Inani (1995) a étudié l'état de pollution de la lagune. Nous avons étudié l'évolution de la lagune au cours de l'Holocène (Mahjoubi, 1991), ainsi que la distribution et la nature de la matière organique (El Alami *et al.*, 1998). Les apports très diversifiés contribuant au comblement de la lagune restent jusqu'à présent méconnus. L'objectif de cette étude est de caractériser la phase argileuse des sédiments superficiels de la lagune et de celle qui a été importée, via le bassin versant et les apports éoliens, pour déterminer, d'une part, les principales zones d'alimentation de la lagune et, d'autre part, comprendre la dynamique sédimentaire intralagunaire.

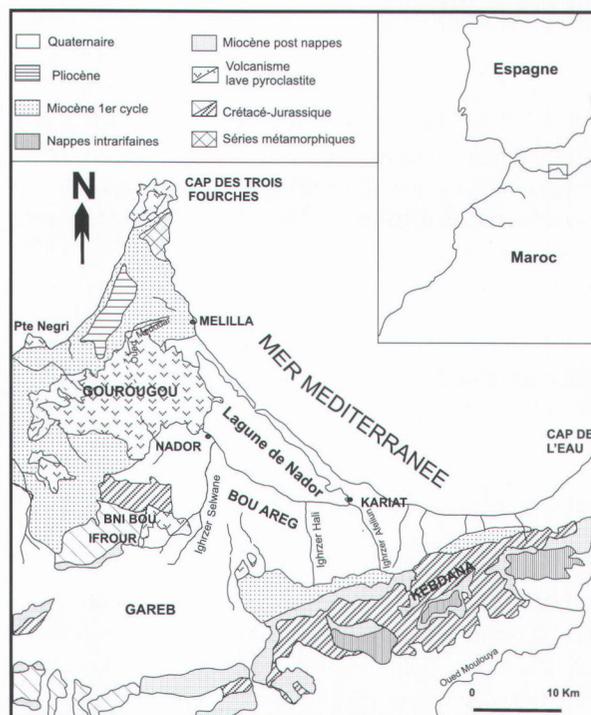


Figure 1. Situation et cadre géologique de la lagune de Nador. Situation and geologic framework of the Nador lagoon.

2. Matériel et méthodes

Cette étude intéresse à la fois les sédiments lagunaires actuels et anciens, les apports actuels et les roches et sols du bassin versant. Des échantillons de trois carottes et des sédiments superficiels prélevés sur 4 cm environ dans différentes zones de la lagune, ont été étudiés. Afin de rechercher l'origine de la phase argileuse des sédiments de la lagune, nous avons échantillonné les sédiments et les matières en suspension (MES) des principales rivières qui débouchent dans la lagune pendant des périodes crues (Figs 2 & 4), ainsi que les apports éoliens récoltés, à l'approche de la lagune à la station météorologique de Nador, à une altitude de 10 m environ, à différentes périodes de l'année

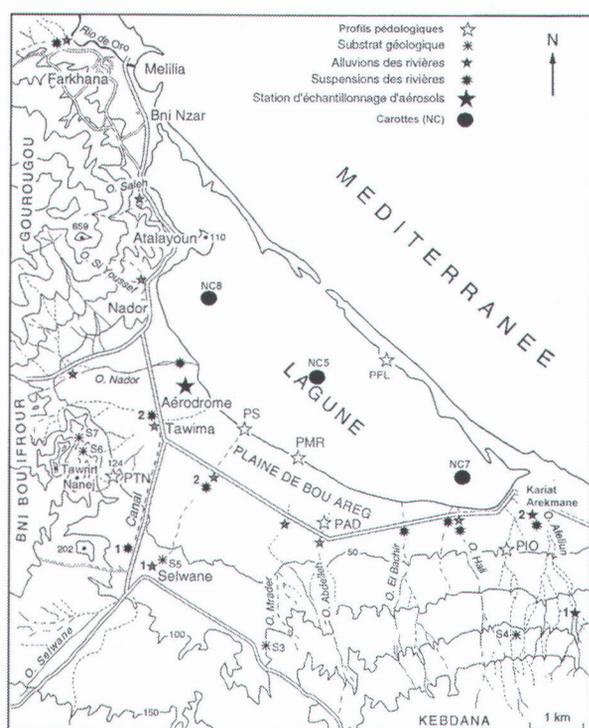


Figure 2. Réseau hydrographique du bassin versant (Kebdana, Bni Bou Ifrou et Bou Areg) avec situation des échantillons des substrats et des sols:

- PTN : Profils pédologiques sur latite de Tawirt Nanej, PS et PMR : sol halomorphe; PIO, PFL et PAD : Sol brun; S7 : sol sur calcaires crétacés de Bni Bou Ifrou.
- Substrat géologique (S1 : Schiste gréseux primaire probable, S2 : Marne gréseuse jurassique, S3 : Marnes miocènes; S4 : Croûte calcaire, S5 : Travertin de Selwane, S6 : Schiste jurassique de Bni Bou Ifrou).
- River system of the watershed (Kebdana, Bni Bou Ifrou and Bou Areg) with situation of the samples of the substrata and the soils:
- PTN: pedological Profiles on latite of Tawirt Nanej, PS and PMR: halomorphic soil; PIO, PFL and PAD: brown soil; S7: soil on Bni Bou Ifrou's Cretaceous limestones.
- geologic Substrata (S1: primary sandstone schist likely, S2: the sandstone marl Jurassic, S3: the Miocene Marl; S4: limestone crust, S5: Selwane travertine, S6: Bni Bou Ifrou's Jurassic Schist).

(Tableau 1). Plusieurs profils ont été échantillonnés sur les différents substrats géologiques du bassin versant, parmi lesquels, seuls quelques substrats et sols ont été analysés (Figs 2 & 3). L'extraction des argiles (fraction <math> < 2 \mu\text{m}</math>) a été faite après broyage des échantillons ; l'attaque à l'eau oxygénée et à l'acide chlorhydrique dilué a été réalisé sous agitation et contrôle à l'aide du papier pH universel. Les pâtes orientées ont subi quatre traitements différents: argiles naturelles, traitées à l'éthylène glycol, traitées à l'hydrazine et enfin chauffées à 490°C pendant 4 h. Des saturations au lithium, pour distinguer la beidellite de la montmorillonite, ont été faites sur les échantillons riches en smectite. Le test au lithium (Byström Bruswitz, 1975) réalisé sur les smectites est caractérisé par la propriété de gonflement des beidellites par solvation au glycol après chauffage à 300° C, contrairement à la montmorillonite qui perd cette propriété (Clavet and Prost, 1971). Les analyses minéralogiques ont été réalisées avec un diffractomètre Philips PW 1729 à anti-cathode de cobalt (CEREGE, Université d'Aix Marseille III). L'estimation semi-quantitative du cortège argileux est obtenue en mesurant la surface du pic principal (001) des minéraux sur le spectre normal. La chlorite, généralement en très faibles proportions, présente un pic (002) très réduit ; aussi

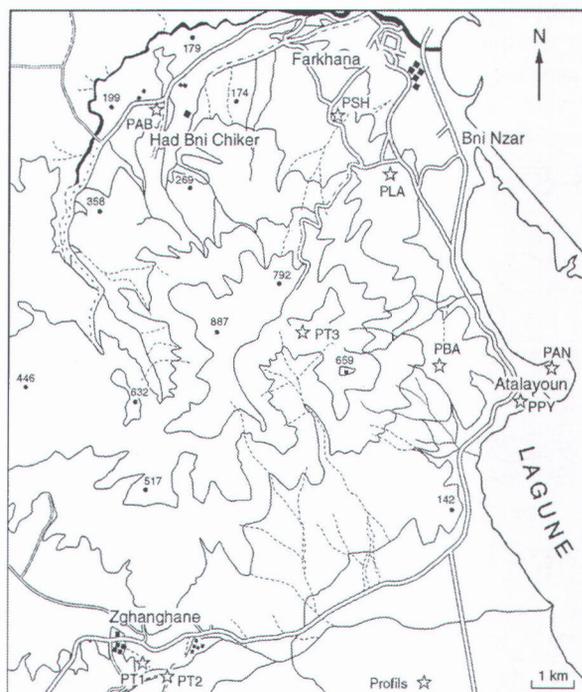


Figure 3. Réseau hydrographique du Massif de Gourougou avec localisation des profils étudiés (étoile): profils - PLA: profil sur latite, PAB: profil sur absarokite, PSH: profil sur shoshonite, PBA: profil sur basalte, PAN: profil sur andésite, PT1, PT2 et PT3 : profils sur tufs, PPY: profil sur pyroclastite).
River system of the Gourougou Massif with localization of the profiles studied (Star: profiles - PLA: profile on latite, PAB: profile on absarokite, PSH: profile on shoshonite, PBA: profile on basalt, PIECE: profile on andésite, PT1, PT2 and PT3: profiles on tuffs, PPY: profile on pyroclastite).

la kaolinite, en présence de chlorite en faibles proportions (< 20%), a été quantifiée sur le pic principal (001) sans tenir compte du pic harmonique de la chlorite. Le degré de cristallinité des minéraux argileux est évalué à partir de la largeur du pic de diffraction.

3. Résultats

3.1. Sédiments superficiels de la lagune

La phase argileuse des sédiments superficiels de la lagune de Nador est formée, par ordre décroissant, d'illite, de kaolinite, de smectite et de chlorite. Les proportions de ces minéraux varient d'un endroit à l'autre (Fig. 4). L'illite est le minéral le plus abondant avec des proportions voisines de 50%. Elle montre les taux les plus faibles dans la zone littorale située entre l'Atalayoun et l'embouchure de la rivière de Selwane (Fig. 5). Ces illites sont mal cristallisées au SE et bien cristallisées dans le reste de la lagune. La kaolinite se rencontre également dans l'ensemble de la lagune et présente des proportions notables dans le triangle Bni Nzar-Atalayoun-passe et en face de l'embouchure de la rivière de Nador (Fig. 5); les proportions les plus faibles (< 20%) se rencontrent surtout dans la zone SE. La cristallinité de la kaolinite est presque parfaite dans l'ensemble de la lagune. La smectite fait défaut en face de l'ancienne passe, qui se

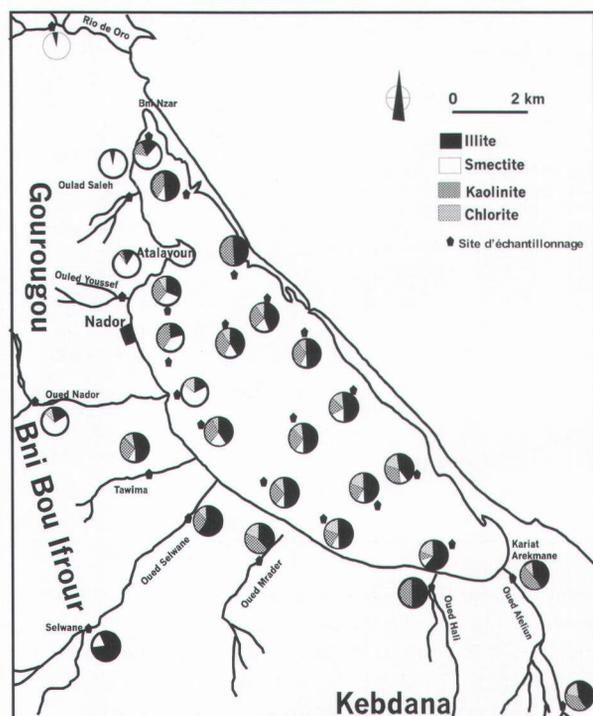


Figure 4. Distribution des minéraux argileux dans les sédiments superficiels de la lagune de Nador et dans les alluvions. Distribution of clay minerals in superficial sediments of the Nador lagoon and in alluviums.

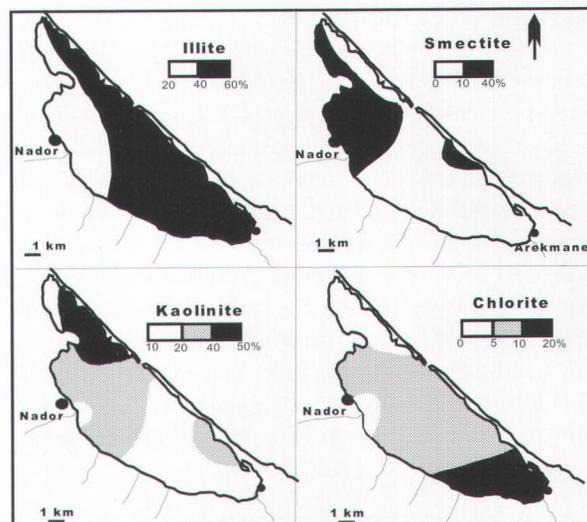


Figure 5. Cartes de répartition des minéraux argileux dans les sédiments superficiels de la lagune de Nador. Distribution mapping of clay minerals in superficial sediments of the lagoon of Nador.

situe à l'Est de l'Atalayoun, et montre de fortes proportions (>10%) dans le triangle rivière Selwane-Atalayoun-passe (Fig. 5). Le test au lithium réalisé sur les smectites prélevées en face de l'embouchure de la rivière de Nador et près de Bni Nzar montre que ce sont des beidellites.

La smectite n'est bien cristallisée que dans la baie de l'Atalayoun. La chlorite est le minéral argileux le moins représenté dans la lagune. Elle se localise dans trois zones distinctes (Fig. 5): une zone dans la partie NW où elle se rencontre à l'état de traces, une zone SE où ses teneurs sont de l'ordre de 20%; dans le reste de la lagune les teneurs ne dépassent pas 10%.

3.2. Minéralogie des sédiments carottés

L'étude sédimentologique de la carotte NC5 (91.5 cm d'épaisseur) prélevée dans la zone centrale de la lagune qui reçoit les apports des différentes zones du bassin versant, montre que le sédiment est formé d'un faciès argilo-silteux de couleur variant du gris sombre au noir (Fig. 6). La datation effectuée sur un niveau bioclastique basal (Fig. 6, niveau 1) a fourni un âge de - 1650 +/- 130 BP (Ly. 5309) et un taux de compaction de 20 à 30% (X = 25%). Ainsi l'épaisseur réelle de la carotte NC5 est de 114 cm.

La phase argileuse est formée par ordre décroissant d'illite, de kaolinite, de smectite et de chlorite. L'évolution dans le temps des proportions de ces minéraux montre une légère augmentation des teneurs en illite et en chlorite aux dépens de la kaolinite dans les 2/3 inférieurs de la carotte; suivie, dans le tiers supérieur de la carotte,

d'une augmentation des teneurs en smectite et en kaolinite aux dépens des deux autres minéraux (Mahjoubi, 1991). Cette évolution permet donc de distinguer deux phases dans le remplissage central de la lagune. La première est marquée par un apport de plus en plus dominé par l'illite et la chlorite, alors que la deuxième est marquée par l'augmentation des teneurs en kaolinite et en smectite.

La composition minéralogique de la carotte NC7 (Fig. 6), située dans la zone SE de la lagune (Fig. 2), recevant les apports du massif de Kebdana, est formée par ordre décroissant d'illite, de kaolinite, de chlorite et de smectite

avec la dominance de la smectite à la base de la carotte. L'évolution minéralogique est marquée par l'augmentation de la teneur en illite et en chlorite au dépens de la smectite et de la kaolinite.

La composition minéralogique de la carotte NC8 (Fig. 6), prélevée dans la baie de l'Atalayoun, recevant en grande partie les apports du massif de Gourougou, est formée par ordre d'importance d'illite, de smectite, de kaolinite et de chlorite. La smectite est également dominante à la base de la carotte et diminue, vers le sommet, au profit de la kaolinite et de l'illite.

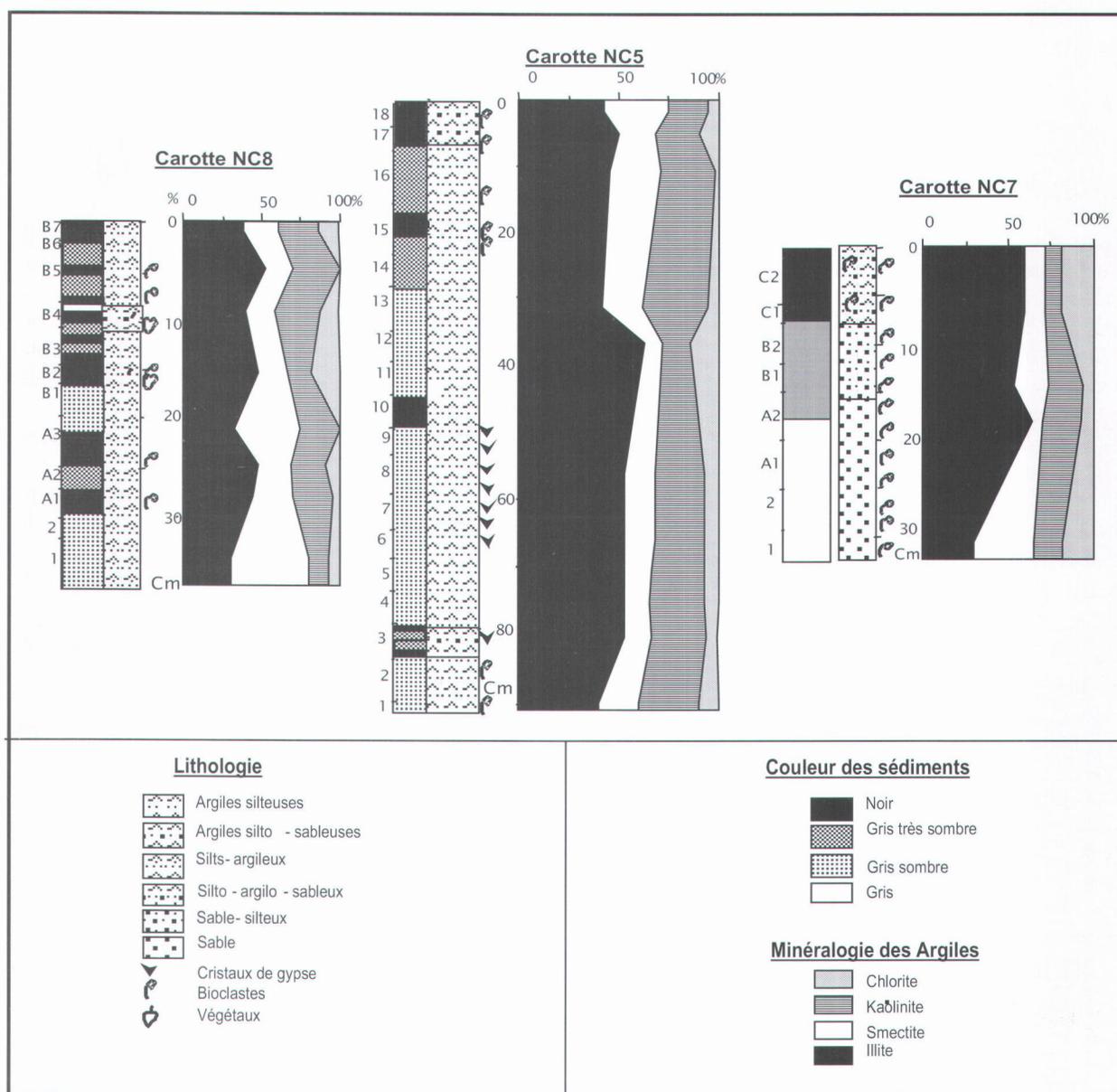


Figure 6. Evolution des faciès et de la composition minéralogique de la phase argileuse du remplissage sédimentaire de la lagune de Nador.

Evolution of facies and mineralogical composition of the clay phase in the sedimentary fill of the Nador lagoon.

3.3. Caractérisation minéralogique des apports fluviaux et éoliens

3.3.1. Les apports fluviaux

On distingue trois types d'associations de minéraux argileux dans les apports fluviaux :

- l'association smectite-kaolinite-illite caractérise le massif volcanique de Gourougou ; la phase argileuse des sédiments des rivières qui l'entaille (Fig.7) est riche en smectites et dépourvue de chlorite;
- l'association illite-chlorite-kaolinite, avec des traces de vermiculite, de palygorskite et d'interstratifiés illite-smectites, caractérise le massif de Kebdana ; les sédiments des rivières qui l'entaille sont les plus riches en chlorite par rapport à ceux des autres massifs, et dépourvus de smectites
- l'association illite-kaolinite-chlorite-smectite caractérise le massif de Bni Bou Ifrouf. Les sédiments des rivières qui l'entaille sont plutôt riches en illite. Le test au lithium réalisé sur les smectites de la rivière de Nador montre qu'elles sont formées essentiellement de beidellites.

Les matières en suspension des rivières (MES), qui drainent les massifs de Kebdana et de Bni Bou Ifrouf, ont été échantillonnées pendant une crue exceptionnelle en période estivale (août 1996). L'analyse minéralogique des argiles montre que la charge totale en suspension des rivières provenant de Kebdana contient de la palygorskite en trace et est riche en illite et en chlorite par rapport à celle de Bni Bou Ifrouf (Fig. 7). La charge des rivières qui drainent Bni Bou Ifrouf et Gourougou est de plus en plus riche en smectite en allant du Sud vers le Nord. Les phyllosilicates des matières en suspension issus du massif de Kebdana proviennent surtout de l'érosion du sub-

strat géologique, ceux issus du versant Nord de Gourougou proviennent de l'érosion des couvertures pédologiques, riches en smectites, et enfin ceux issues de Bni Bou Ifrouf proviennent de l'érosion à la fois du substrat et des couvertures pédologiques.

La comparaison de la composition minéralogique des MES et des sédiments des rivières issue des différents massifs (Fig. 7) montre que les sédiments des rivières de Gourougou sont plus riches en smectites, ce qui peut s'expliquer par sa néoformation et/ou la transformation des autres minéraux en smectites après le dépôt des sédiments. Ceux des rivières descendant du chaînon de Kebdana sont plus riches en chlorite et en kaolinite que les matières en suspension lesquelles sont plus riches en illite. Ceci peut s'expliquer aussi par l'altération des illites après leur dépôt.

3.3.2. Les apports éoliens

La phase argileuse des apports éoliens contient les quatre minéraux principaux: illite, smectite, kaolinite et chlorite en plus des interstratifiés et de la palygorskite (Tab. 1) dont les proportions varient avec les saisons (Fig. 8) et par conséquent avec la direction des vents dominants. Ainsi, en automne et en hiver, où les vents dominants sont du secteur NW, les apports sont généralement riches en illite, alors qu'en été, où les vents dominants sont de direction NE, la kaolinite domine avec les interstratifiés. La phase argileuse d'un sol, prélevé près du site d'échantillonnage, est dépourvu de chlorite et d'interstratifiés, ce qui indique que ces apports éoliens ne sont pas locaux. La charge solide de trois prélèvements de pluie comporte l'illite, la kaolinite, la chlorite, auxquels s'ajoute, en hiver, les smectites et, en été, des interstratifiés et la palygorskite. Cette dernière est caracté-

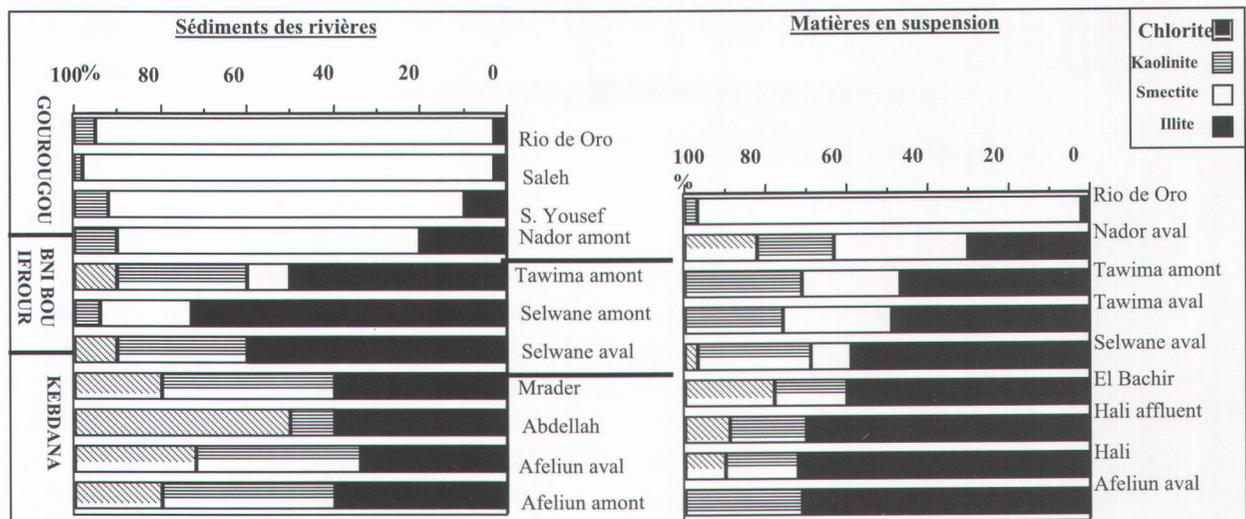


Figure 7. Comparaison minéralogique des argiles des matières en suspension et des alluvions issues des différents domaines du bassin versant de la lagune de Nador

Mineralogical comparison of clays in suspension material and alluvium derived from various domains of the watershed of the Nador lagoon.

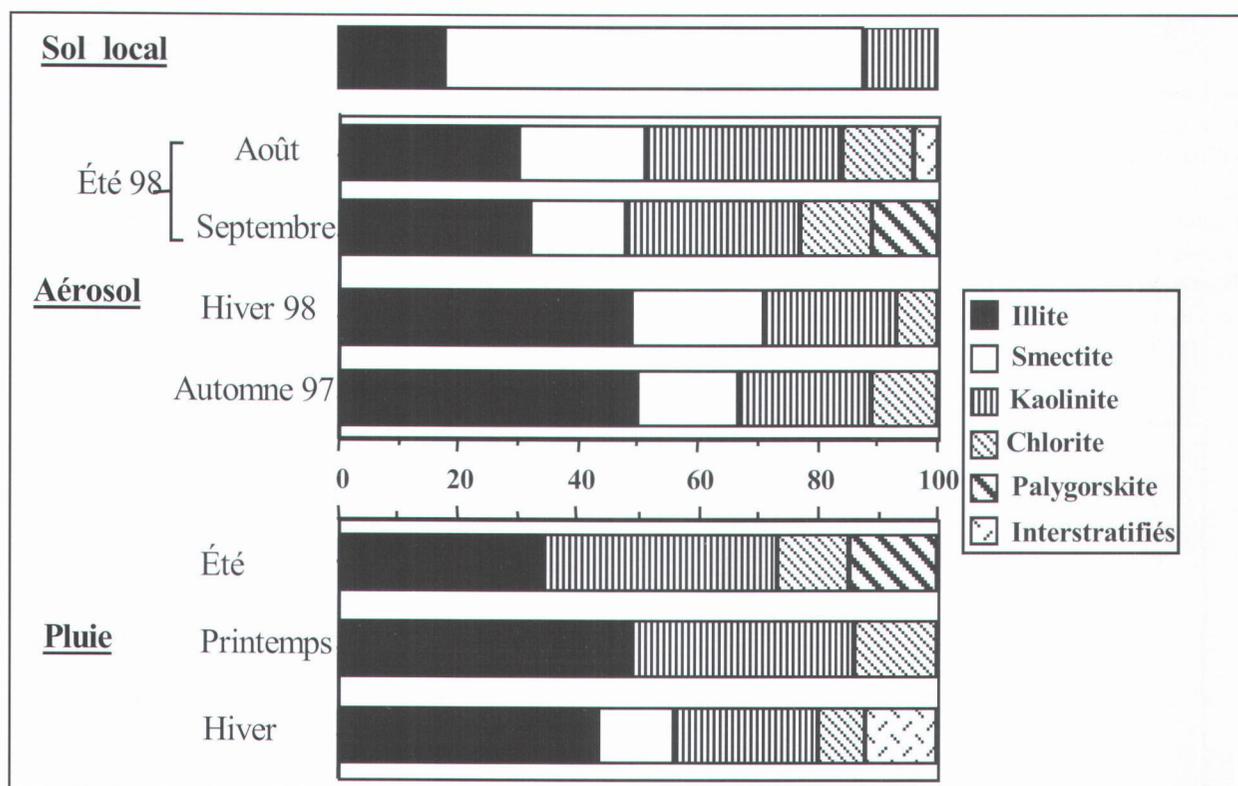


Figure 8. Comparaison des argiles entre les échantillons d'aérosols et d'un sol prélevé près de la station météorologique. Comparison of clays between the samples of aerosols and a soil taken near the meteorological station.

	Saisons	Mois	période	Directions dominantes des vents	% en	% en	% en	% en	% en	% en
					Illite	Smectite	Kaolinite	Chlorite	Palygorski	Interstratifiés
Aérosol	Automne 97	Octobre	15-30	NE: 57%, NW:36%	50	17	22	11	-	-
	Hiver 98	Janvier	14-28	NW: 56%	49	22	22	07	-	-
	Été 98	Août	05-17	NE: 69%	30	21	33	12	-	04 (Sm-Ch)
	Automne 98	Septembre	31/08-07/09	NE: 69%	32	16	29	12	11	-
Pluie	Hiver	Janvier	14/01/98	NW: 56%	43	13	24	08	-	12 (gonflants indéterminés)
	Printemps	Mars	25/03/98	NE: 57%, NW: 36%	49	t	37	14	-	-
	Été	Août	08/08/98	NE: 69%	34	00	39	12	15	-
Sol de la Station météorologique					18	70	12	-	-	-

Tableau 1. Proportions estimées des minéraux argileux (%) des différents apports aériens et d'un sol situé près de la station météorologique comparées avec les périodes d'échantillonnage et les directions dominantes du vent (NE : 20 à 90°, NW : 250 à 0°). (-: non détecté). Estimated clay mineral variation (%) of eolian origin and the soil situated near the meteorological station, compared for the periods of sampling and the dominant directions of the wind (NE : 20 - 90°, NW : 250 in 0°). (-: not detected).

térisée par des teneurs en illite inférieures à celles de tous les prélèvements. La diversité de la phase argileuse du bassin versant ne permet pas de discriminer les apports éoliens locaux, régionaux et sahariens.

3.4. Minéralogie des formations du bassin versant

La caractérisation minéralogique des différentes zones du bassin versant intéresse à la fois le substrat géologique et la couverture pédologique (Fig. 9).

3.4.1. Massif de Kbdana

La paragenèse argileuse du substratum schisto-gréseux paléozoïque est composée d'illite et de chlorite, alors que celle des marnes jurassiques est formée d'illite, de vermiculite et d'un peu de smectite. Celles des marnes miocènes est constituée d'illite, de smectite et de chlorite.

3.4.2. Massif de Bni Bou Ifrouf

La phase argileuse extraite des travertins de Selwane (S5) est formée par un mélange de quatre minéraux principaux et d'interstratifiés. Celle de la saprolite des schistes jurassiques (S7) est dominée par l'illite suivie par la smectite et la chlorite. Les sols sur calcaire crétacé (S6) fournissent, par ordre d'importance décroissante, kaolinite, interstratifiés illite-chlorite et interstratifiés gonflants, chlorite et illite. L'étude d'un profil sur latite, dans la localité de Tawirt Nanej (PTN), montre une roche mère de couleur verdâtre

contenant de l'illite et de la chlorite. La saprolite cohérente renferme de la smectite, des interstratifiés illite-smectites, de la palygorskite et de la chlorite. Elle est surmontée par un ensemble altéré (3,70 m) qui s'enrichit en carbonate de la base vers le sommet comportant l'illite, la palygorskite, la kaolinite et la chlorite. Cet ensemble coiffé par une croûte zonale calcaire, de 70 cm d'épaisseur, formée par des plaquettes superposées, a livré de l'illite, de la kaolinite et de la chlorite. La croûte est couverte par un niveau colluvial de 15 cm d'épaisseur de couleur rouge qui renferme de l'illite, de la kaolinite et de la chlorite.

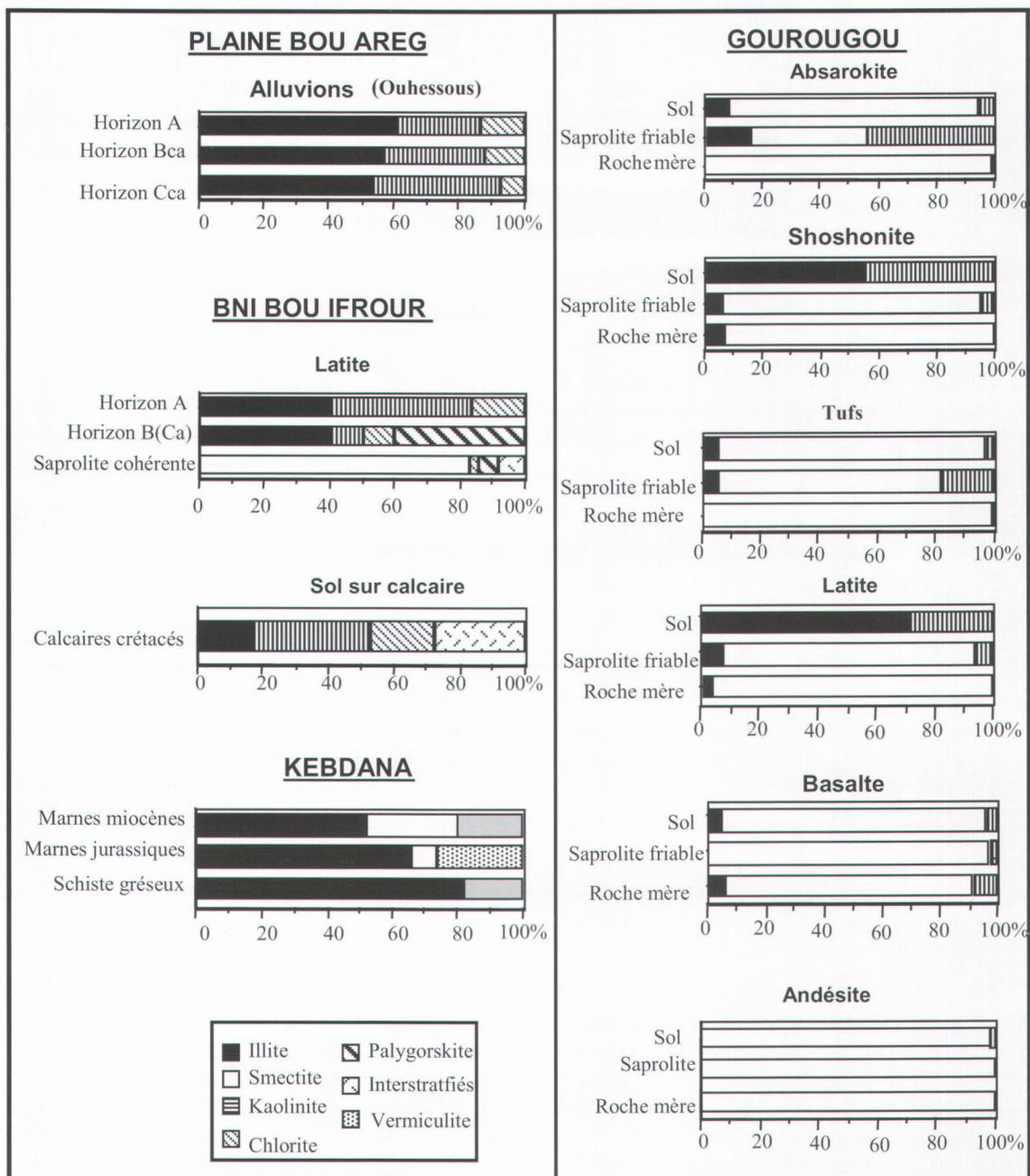


Figure 9. Composition minéralogique de la fraction argileuse des profils d'altération développés sur les roches volcaniques du massif de Gourougou.

Mineralogical composition of the clay fraction of the profiles developed on the volcanic rocks of the Gourougou massif.

3.4.3. Massif de Gourougou

Les roches volcaniques du massif de Gourougou sont diversifiées. Ne seront présentés ici que les faciès les plus répandus (Fig. 3). L'étude concerne à la fois les roches volcaniques et les couvertures pédologiques qui s'y développent.

La roche mère du profil sur latite, étudié dans une carrière près de Bni Nzar (PLA), de couleur grise, est constituée de phénocristaux de plagioclases, de pyroxène, d'amphibole et de biotite avec une mésostase formée de plagioclases, de pyroxènes, d'oxydes et de verre. Elle présente des joints plus ou moins remplis de carbonates contenant des argiles formées de smectites et d'un peu d'illite. La saprolite à matériel argilo-carbonaté, de couleur blanchâtre tachetée de brun, contient des blocs de latite sains qui diminuent de taille de la base vers le sommet; les argiles sont formées, en grande partie, de smectites, suivie d'illite et de kaolinite. Le sol, de 75 cm environ, comporte de l'illite et de la kaolinite.

Les basaltes, qui affleurent au pied du massif, présentent un aspect vacuolaire et une texture microlitique. Les phénocristaux constituent 10% environ de la roche; Ils sont constitués d'olivine totalement ou partiellement iddingsitisée et portant une auréole rouge brique. Le pyroxène, de taille moyenne 0,5 mm, est généralement incolore à aspect sale tacheté de jaune et de noir. La mésostase est composée de microlites de feldspaths et de granules de pyroxène et d'olivine baignant dans le verre. La paragenèse argileuse extraite de la roche mère et de la saprolite d'un profil (PBA) étudié près du palais royal, est formée de smectite et de quelques traces d'illite. Les teneurs en smectite augmentent vers le haut de la saprolite. Dans les niveaux du sol apparaît la kaolinite et l'illite. Dans les pyroclastites associées à ces basaltes, s'intercalent des paléosols. Un niveau rubéfié, situé en bordure de route entre l'Atalayoun et Nador (PPY), s'est révélé très riche en smectite avec de la kaolinite en trace.

La roche cohérente d'un profil sur shoshonites de couleur gris-verdâtre (PSH), prélevé dans la localité d'Izmamiyen, présente une texture microlitique fluidale. Les phénocristaux sont peu nombreux et formés essentiellement de feldspaths finement zonés. Elle renferme une phase argileuse constituée de smectite et d'illite, alors que dans la saprolite et le sol, elle comporte la smectite suivie de l'illite et de la kaolinite.

Les tufs volcaniques, les mieux représentés après les latites, sont relativement tendres et se trouvent profondément incisés par les vallées. Ces tufs sont constitués surtout de verre renfermant des plagioclases, de biotites et de quelques rares ferromagnésiens altérés. L'altération de ces roches a été étudiée sur trois profils allant du sommet vers la périphérie du strato-volcan. Ainsi au som-

met le mieux arrosé, l'altérite (PT3) fournit une grande quantité de kaolinite bien cristallisée et peu d'illite (Jou, 1988), par contre, à la périphérie, la moins drainée, l'altérite (PT1 et PT2) fournit une grande quantité de smectites, d'illite et peu de kaolinite.

Les andésites se rencontrent dans le dôme d'Atalayoun qui culmine à 110 m. Elles sont composées surtout de feldspaths plagioclases, de pyroxènes groupés en agrégats, de biotite brune souvent transformée en oxydes noirs et de smectites en trace. Le profil d'altération (PAN) sur andésite présente un niveau de transition, entre la roche mère et le sol, très riche en gypse. La phase argileuse de l'altérite friable est formée uniquement de smectite alors que celle du sol, contient, en plus des traces de kaolinite et d'illite.

Dans le massif de Gourougou, les couvertures pédologiques des différents profils étudiés, présentent la même composition minéralogique argileuse avec des variations quantitatives d'un profil à l'autre et d'un horizon à l'autre (Fig. 9).

3.4.4. Plaine de Bou Areg

Les argiles d'une dalle d'encroûtement carbonatée (S4) sont très riches en palygorskite qui présente, aux rayons X, un pic normal à 10,55 Å et un pic, après chauffage, à 10 Å. Une coupe prélevée dans le matériel colluvionnaire (PIO), montre à la base un paléoprofil rouge tacheté par des concentrations blanches de carbonates surmonté par un profil actuel brun. La paragenèse argileuse est constituée surtout d'illite, de kaolinite et de rare chlorite, avec un enrichissement en kaolinite et en smectite vers le haut du profil actuel. Les sols bruns, développés sur les colluvions du pourtour de la lagune (PAD), sont riches en illite suivie de kaolinite, de chlorite et de smectite en trace. En bordure de la lagune, les sols halomorphes (PMR & PS), très hydromorphes en profondeur, sont très riches en illite suivie de kaolinite. La chlorite, la smectite et les interstratifiés se rencontrent en traces. Les calcarénites dunaires comportant des sols bruns plus ou moins profonds. La phase argileuse d'un sol, à structure prismatique (PFL) est composée d'illite, de kaolinite et de rares smectites.

Les argiles rencontrées à l'échelle du bassin versant sont donc composées d'illite, de kaolinite, de smectites, de chlorite et dans une moindre proportion par des interstratifiés illite-smectite, illite-chlorite, et de la palygorskite et de la vermiculite.

4. Discussion

La variation de la composition minéralogique dans les profils d'altération est liée aux influences de la composi-

tion et de la texture des roches mères et aussi de la topographie. L'augmentation des teneurs en illite dans les horizons superficiels, sachant que ce minéral est absent dans certaines roches mères, indique qu'il est importé essentiellement par apports éoliens comme le montre l'étude des aérosols.

La phase argileuse du massif de Kebdana est dominée par l'illite et la chlorite. Les minéraux ont une double origine : détritique dans les marnes et métamorphique dans les schistes.

Le massif de Bni Bou Ifrouf comporte une phase argileuse plus riche en illite et en chlorite que celle de Gourougou. La présence des chlorites est liée aux schistes et aux latites qui ont subi des transformations hypogènes, comme le montre la chlorite des latites de Bni Bou Ifrouf, associée à la biotite et à l'amphibole.

Dans la plaine de Bou Areg, les produits d'érosion ont subi des phases d'accumulation et de pédogenèse, ce qui a donné la superposition de paléosols et une diversité de sols. La composition minéralogique totale reflète celle du bassin versant (massif de Kebdana). La phase argileuse est caractérisée par l'association kaolinite-illite-chlorite, plus riche en kaolinite que celle des massifs qui l'encadrent, parce que le matériel transporté a subi une double altération, dans le bassin versant et dans la plaine.

L'illite se présente comme minéral primaire dans les roches volcaniques et dans les roches métamorphiques. Elle se rencontre également dans les marnes de Kebdana, ce qui explique l'abondance de l'illite dans la phase argileuse des apports et des sédiments lagunaires.

Les apports fluviaux provenant des massifs de Bni Bou Ifrouf et de Kebdana sont dominés par les minéraux du substrat (illite) et ceux du massif de Gourougou par les minéraux des couvertures pédologiques (smectite et kaolinite).

La paragenèse argileuse des sédiments actuels de la lagune a été étudiée par Tesson et Gensous (1981) qui ont donné l'ordre d'abondance décroissant suivant: montmorillonite, illite, kaolinite et chlorite. Irzi (1987) signale, en plus des quatre minéraux principaux, la présence d'interstratifiés (indéterminés) et de la palygorskite en faibles quantités. La présente étude ainsi que celle présentée par El Alami *et al.* (1998) montrent que la phase argileuse des sédiments superficiels lagunaires est composée, par ordre décroissant, d'illite, de kaolinite, de smectite et de chlorite. Cet ordre est différent de celui proposé par Tesson et Gensous (1981). Il peut s'expliquer par le fait que les sédiments étudiés par ces derniers auteurs ont été prélevés avant le changement en 1979 de position du chenal de communication, vers le S-E (Fig. 10), qui a eu lieu, ceci a instauré une nouvelle dynami-

que lagunaire induisant une nouvelle répartition des particules dans la lagune et entre celle-ci et la mer.

La répartition actuelle des minéraux argileux dans la lagune montre une zonation. Elle est marquée par la concentration de la chlorite et l'illite dans la partie SE de la lagune alors que la smectite et la kaolinite sont concentrées dans la partie NW. La smectite des sédiments superficiels lagunaires est beidellitique, et d'origine continentale comme en témoignent les apports fluviaux. En faisant abstraction de l'illite, qui est ubiquiste et prédominante quasiment partout, pour ne considérer que les variations relatives des trois autres minéraux, l'examen de l'évolution des rapports : kaolinite / chlorite + kaolinite + smectite, chlorite / chlorite + kaolinite + smectite et smectite / chlorite + kaolinite + smectite dans la lagune, fait apparaître une zonation qui se dessine en trois parties (Fig. 5) : la chlorite domine au SE, puis en allant vers le centre de la lagune, la kaolinite enfin du centre vers le NW, c'est la smectite qui devient bien représentée. Cependant en tenant compte de la place importante que prennent illite et kaolinite vers le NW, le long du cordon dunaire et dans l'ombilic de l'Atalayoun, et la présence de smectite vers le SE de l'oued Nador, et en sachant que les oueds situés dans cette zone ne transportent que peu ou pas de smectite, la répartition des argiles apparaît comme l'expression d'une dérive périlittorale de sens dextre. Ce résultat corrobore les données sur la courantologie intralagunaire (Fig. 10) établies par Guelorget *et al.* (1984).

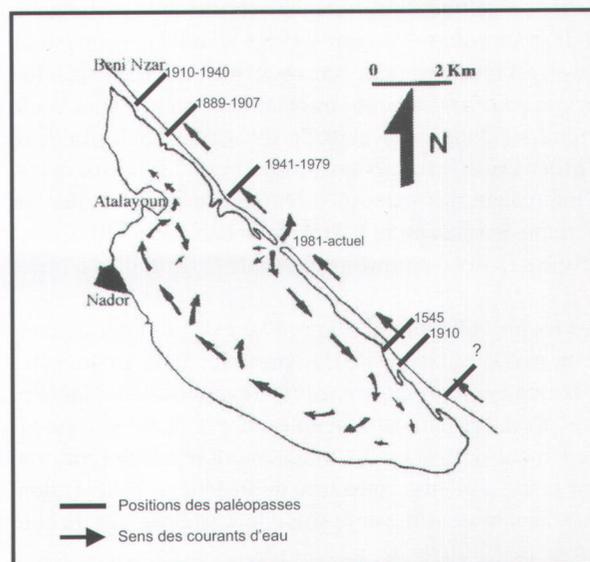


Figure 10. Schéma de la circulation des eaux dans la lagune (GUELORGET et PERTUISOT, 1983) avec les diverses positions de la passe au cours de l'histoire récente de la lagune de Nador (ERIMISCO, 1961, modifié).

Water circulation scheme in the lagoon (GUELORGET and PERTUISOT, 1983) with the different position of the pass during the recent history of the Nador lagoon (ERIMISCO, 1961, modified).

La nature des apports explique aussi la répartition des minéraux dans la baie de Nador en mer Méditerranée, qui montre une nette concentration de la smectite et de la kaolinite du côté NW et celle de la chlorite du côté SE (El Moumni, 1994).

L'évolution des teneurs en minéraux argileux dans les carottes montrent que la smectite diminue, de la base vers le sommet, dans les carottes NC8 et NC7 et augmente dans la carotte NC5. La kaolinite augmente au dépens de la chlorite dans les carottes NC8 et NC5 et diminue au profit de la chlorite dans la carotte NC7. Ceci révèle que l'évolution des teneurs en minéraux argileux dans les carottes n'est pas identique. Cette observation laisse supposer que ces variations sont liées en grande partie à la redistribution des minéraux argileux dans la lagune et non au changement de la nature des apports. Elle témoigne ainsi de la variation de la dynamique lagunaire au cours du temps. Ce changement est lié, d'une part, à la destruction du cordon dunaire, qui favorise les incursions marines lors des tempêtes et, d'autre part, au changement de la position du chenal de communication, qui a connu plusieurs emplacements au cours du temps, comme le montre la présence de plusieurs paléopasses (Fig. 10). Chaque changement de position du chenal de communication induit une nouvelle dynamique lagunaire qui engendre une nouvelle répartition des minéraux argileux.

5. Conclusion

La phase argileuse du bassin versant de la lagune de Nador, très diversifiée, est formée d'illite, kaolinite, smectite, chlorite, interstratifiés, palygorskite et vermiculite. Ces minéraux ont des origines différentes et sont libérés en quantités variables d'un sous-bassin à l'autre et d'une formation à l'autre (Fig. 11). Ainsi :

- le massif de Kibdana est caractérisé par un substrat à formations marneuses tendres, vulnérables à l'érosion, alimentant directement, les dépôts de la lagune. Ce massif est caractérisé par l'association illite-chlorite-kaolinite avec des traces de vermiculite ;
- le massif de Gourougou est formé de roches dures volcaniques qui donnent naissance, par altération météorique, naissance aux couvertures pédologiques. Celles-ci sont formées de produits d'altération, plus ou moins évolués et tendres, vulnérables à l'érosion, et libérant une phase argileuse caractérisée par l'association smectite-kaolinite-illite ;
- le massif de Bni Bou Ifrou est constitué de roches dures sédimentaires et volcaniques qui développent, par altération, des couvertures pédologiques qui alimentent la sédimentation. La phase argileuse est caractérisée par l'association illite-kaolinite-chlorite-smectite ;

- la plaine de Bou Areg comporte des matériaux colluvionnaires remaniés, plus ou moins friables, sur lesquels se développent des sols. Ils contribuent ensemble à l'alimentation de la lagune par l'association argileuse illite-kaolinite-chlorite-smectite. De plus, le cordon littoral contribue par les minéraux suivants : illite, kaolinite, chlorite, smectites et interstratifiés (Mahjoubi *et al.*, 2002).

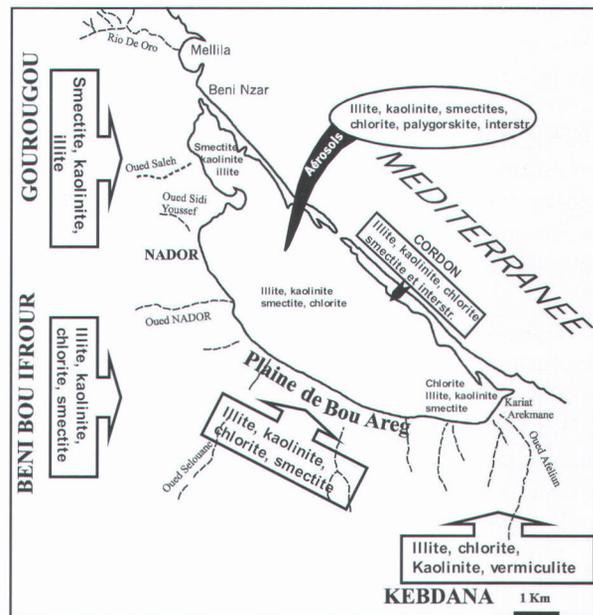


Figure 11. Principales zones d'alimentation en minéraux argileux des sédiments superficiels de la lagune de Nador (les minéraux sont donnés par ordre d'importance).

Main supply zones of minerals from superficial sediments of the Nador lagoon (minerals listed in ascending order).

La minéralogie de la couverture sédimentaire, aussi bien de la lagune que celle de la baie de Nador, est dictée par celle des apports du bassin versant (Fig. 11). Ainsi, les côtés SE dominés par les apports du substrat de Kibdana où la couverture pédologique est mince voire absente, alors que les côtés NW sont dominés par les apports des couvertures superficielles du massif volcanique de Gourougou. A ces apports continentaux s'ajoutent ceux des poussières éoliennes riches en illite et en kaolinite (Fig. 11). Le transfert des minéraux argileux entre les différentes zones, est assurée par la dynamique lagunaire caractérisée par des courants denses. Le remplissage lagunaire qui a connu dans les différentes zones des variations quantitatives, plus ou moins importantes, des teneurs en minéraux argileux est à mettre en relation avec le changement de position du chenal de communication avec la mer. Chaque changement a induit une nouvelle dynamique lagunaire et une nouvelle répartition des minéraux argileux.

6. Références

- BYSTRÖM BRUSEWITZ, A., 1975. Studies on the Li test to distinguish between beidellite and montmorillonite. *Proceeding International of Clay Conference*, Wilmette, Illinois, 41: 79-4422.
- EL ALAMI, M., MAHJOUBI, R., DAMNATI, B., KAMEL, S., ICOLE, M. & TAIEB M., 1998. Sédimentologie et géochimie organique des sédiments superficiels de la lagune de Nador (Maroc Nord Oriental). *Journal of African Earth Sciences*, 26, 2 : 249-259.
- EL MOUMNI, B., 1994. Contribution à l'étude des environnements sédimentaires au Quaternaire terminal en Mer d'Alboran: cas de la marge méridionale (marge marocaine). *Thèse d'Etat*, Université Moulay Ismail, Meknès, Maroc, 259 p.
- ERIMISCO, P., 1961. La Marchica de Mellila. *Bulletin de l'Institut de Pêche Maritime du Maroc*, 7 : 3-11.
- GUELORGET, O. & PERTHUISOT, J.P., 1983. Le domaine paralique : Expressions géologiques, biologiques et économiques du confinement. *Presse de l'Ecole Normale Supérieure*, série 156, 16, 128 p.
- GUELORGET, O., FRISONI, G. F., IBRAHIM, A., JAUSEIN, A., MEDHIOUB, K., CLASTÈRE, J., MAURIN, A., ROUCHY, J. M. & PERTHUISOT, J. P., 1984. Ombilics hydrauliques et chenaux, zones singulières des bassins paraliques. Leurs caractéristiques biologiques et sédimentaires, *Ve Congrès Européen de Sédimentologie*, Marseille, p. 202-203.
- GUELORGET, O., PERTHUISOT, J. P., FRISONI, G. F. & MONTI, D., 1987. Le rôle du confinement dans l'organisation biogéologique de la lagune de Nador (Maroc). *Oceanologica Acta*, 10, 4 : 435-444.
- GUILLEMIN, M. & WERNLI, R., 1987. Le sondage de Kariet Arekmane et le Néogène du bassin de Nador (Maroc Nord Oriental). *Notes du service géologique du Maroc*, 43, 321 : 255-262.
- HERNANDEZ, J., 1983. Le volcanisme miocène du Rif Oriental (Maroc). Géologie, pétrologie et minéralogie d'une province shoshonitique. *Thèse d'Etat*. Université Pierre Marie Curie, Paris. 415 p.
- INANI, I., 1995. Dynamique sédimentaire et état de pollution dans la lagune de Nador. *Thèse de 3ème cycle*. Université Mohamed V de Rabat, Maroc, 204 p.
- IRZI, Z., 1987. Etude sédimentologique et micropaléontologique de la lagune de Nador (Maroc oriental). *Thèse de 3ème cycle*. Université Pierre et Marie curie, Paris, 160p.
- JOU, L., 1988. Évolution géologique superficielle (altération, sédimentation) du bassin versant de la lagune de Nador (Maroc): Étude préliminaire. *Rapport de recherches, CEUS Es-Sciences*. Université Sidi Mohammed Ben Abdellah, Fès, 87 p.
- MAHJOUBI, R., 1991. Evolution de la dynamique sédimentaire d'un système lagunaire microtidal pendant l'Holocène : Lagune de Nador (Maroc Nord Oriental). *Thèse de Spécialité*. Université Sidi Mohammed Ben Abdella, Fès, Maroc, 289 p.
- MAHJOUBI, R., KAMEL, S., NOACK, Y. & COLIN, F., 2002. Dynamique littorale de la baie de Nador (Maroc) et son impact sur l'environnement lagunaire. *Minbar Al Jamiaa*, Université Moulay Ismail, Meknès, Maroc, 4 : 15-32.
- LIZAU, J. DE, MARCAIS, J., COLO, G. & SUTER, G., 1951A. Traits généraux de la chaîne des Kebdana. *Compte Rendus de l'Académie des Sciences, Paris*, 232, 14 : 1363-1365.
- LIZAU, J. DE, MARCAIS, J., COLO, G. & SUTER, G., 1951B. Structure et encadrement de la structure de Kebdana. *Compte Rendus de l'Académie des Sciences, Paris*, 232, 11 : 1124-1126.
- LUCA, P. DE., 1978. L'unité chaotique des Kebdana (région de Zaïo, Maroc). Relation structurale avec l'avant-pays du Rif oriental. *Bulletin de la Société géologique de France*, (7), XX, 3 : 339-343.
- TESSON, M. & GENSOUS, B., 1981. Quelques caractères de la géochimie d'une lagune microtidale: la sebkha Bou-Areg (Maroc). *106ème Congrès National des Sociétés Savantes. Perpignan Sciences*, III : 181-194.

Manuscrit reçu le 03.12.2001 et accepté pour publication le 06.11.2002.