



Available online at [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)

SCIENCE @ DIRECT®

C. R. Geoscience 337 (2005) 1026–1034



<http://france.elsevier.com/direct/CRAS2A/>

Géomatériaux (Sédimentologie)

# L'Arenig–Llanvirn du Haut Atlas occidental et central (Maroc). Environnements sédimentaires, paléogéographie et contrôle de la sédimentation

Choukri Chacrone, Naima Hamoumi \*

*UFR « Océanologie, géodynamique et valorisation des bassins sédimentaires », département de géologie, faculté des sciences, université Mohammed-V-Agdal, 3, rue Michlifen-Agdal, BP 554, Rabat-Chellah, Maroc*

Reçu le 12 novembre 2003 ; accepté après révision le 10 mai 2005

Disponible sur Internet le 13 septembre 2005

Présenté par Michel Durand-Delga

## Résumé

Dans le Haut Atlas de Marrakech, la sédimentation s'est effectuée dans deux bassins différents durant l'Arénig–Llanvirn. Dans le bassin du Haut Atlas occidental s'est développé un delta influencé par vagues et tempêtes, alimenté par une source située à l'emplacement actuel du couloir d'Argana et soumis à des fluctuations eustatiques et à la subsidence. Dans le Haut Atlas central se sont développés des deltas influencés par la marée et les tempêtes épisodiques et des estuaires qui étaient alimentés par des sources situées à l'emplacement actuel des massifs du Siroua et de l'Ouzellagh et soumis à des fluctuations eustatiques et une tectonique verticale. *Pour citer cet article : C. Chacrone, N. Hamoumi, C. R. Geoscience 337 (2005).*

© 2005 Académie des sciences. Publié par Elsevier SAS. Tous droits réservés.

## Abstract

**The Arenig–Llanvirn of western and central High Atlas (Morocco): sedimentary environments. Palaeogeography and sedimentation control.** The sedimentological study of Arenig–Llanvirn successions of Ait Lahsen (western High Atlas), Tizi-n-Tichka and Imini (central High Atlas) allow us to recognise two independent epeiric seas. In the western High Atlas, the sedimentation occurred in a wave- and storm-influenced delta, alimented by a source situated at the present-day location of the Argana corridor, under the control of sea-level fluctuations and subsidence. In the central High Atlas, the sedimentation occurred in an influenced tide and episodic storm delta, alimented by sources situated at the present-day location of the Siroua and Ouzellagh Massifs under the control of sea-level fluctuations and tectonics. *To cite this article: C. Chacrone, N. Hamoumi, C. R. Geoscience 337 (2005).*

© 2005 Académie des sciences. Publié par Elsevier SAS. Tous droits réservés.

\* Auteur correspondant.

Adresses e-mail : [c.choukri@mailcity.com](mailto:c.choukri@mailcity.com) (C. Chacrone), [hamoumi@fsr.ac.ma](mailto:hamoumi@fsr.ac.ma) (N. Hamoumi).

*Mots-clés* : Ordovicien ; Maroc ; Haut Atlas ; Environnements sédimentaires ; Paléogéographie ; Eustatisme ; Tectonique

*Keywords*: Ordovician; Morocco; High Atlas; Sedimentary environments; Palaeogeography; Eustatism; Tectonics

## Abridged English version

### 1. Introduction

Sedimentological study of Arenig–Llanvirn of western High Atlas and central High Atlas, based on sedimentary facies and environments reconstruction, sequential stratigraphy and palaeocurrent analysis, allows to precise the palaeogeography and the factors that controlled sedimentation.

The studied Arenig–Llanvirn deposits belong to the successions of: Aït Lahsen in the western High Atlas [3], Tizi-n-Tichka and Imini in the central High Atlas [5,6,16] (Fig. 1).

### 2. Sedimentary facies and environments

The 15 sedimentary facies (A to N) identified suggest that sedimentation occurred in influenced waves and storms delta in Aït Lahsen succession, and in a tide-dominated delta in the Imini and Tizi-n-Tichka successions. The A facies is composed of a basal conglomeratic level and sandstone exhibiting through cross and sigmoidal stratifications; it is interpreted as a front delta channel deposit. The B facies, which exhibit current and wave ripples, flute casts, groove casts, soft sediment deformations and bioturbation, indicate sedimentation in a wave- and river-influenced front delta. The C to G facies, respectively hummocky cross stratification, polygonal ripples, planar to slightly wavy parallel laminations, storm graded layers and carbonate lenses and nodules, are typical storm facies. The H and I facies that exhibit typical structures as tidal bundle, mud drap, flaser, linsen and wavy bedding, indicate deposition from tidal currents. The J facies correspond to fine sandstone with climbing ripples that reflects a high sedimentation rate; it is related to tidal action because of its association with tidal facies. The K facies is a centimetric silty bed exhibiting current ripples. The L facies correspond to bioturbated mudstone. The facies associations E/L and K/L are interpreted as prodelta deposits on the basis of the lacking of waves structures, the grain size that ranges in

clay and silt, the importance of the bioturbation and their situation at the base of the front delta deposits. The M facies, which correspond to a ferruginous and silicified bed with ferruginous pisolithe and crust and mud pebbles, indicate a subaerial weathering and pedogenesis related to a major sea-level drop. The oolitic ironstone (N facies) is an estuary deposit related to a regressive/transgressive cycle [12]. The ferruginous lumachelic limestone with phosphatic pebbles (R facies) is a lag realised from the erosion of a condensed bed related to a regressive stage [7].

### 3. Sequential stratigraphy

The sedimentary facies are stacked in genetic sequences (Se1 to Se14) (Fig. 2) that may correspond to progradational units (Se1 to Se8), aggradational units (Se9 to Se13), or punctuated aggradational cycles: Se14 [9].

The genetic sequences are in turn stacked in a high-stand system tract ‘HST’ – deltaic sequence (prodelta/front delta) –, or low-stand system tracts ‘LST’ – offshore deposits, as in the Einsele model [7] for epeiric shallow sea without shelf break. The LST may be capped by a palaeosol in case of a major drop (M facies).

The third-order sequences [22] recognised (Fig. 3) are: SA1, SA2 and SA3 in the Arenig of Ait Lahsen, ST1, ST2 and ST3 in the Llanvirn of Tizi-n-Tichka, and SI1, SI2 (Arenig), SI3, SI4 and SI5 (Llanvirn) in the Imini. The ST1 and SI3 sequences correspond to the oolitic ironstone levels.

These sequences are related to transgressive/regressive cycles generally associated with a high sea level [20]. In the western High Atlas, the pattern of sea-level fluctuations is similar to the global eustatic curve [20] that shows a major drop at the end of the Arenig, while in the central High Atlas, the tectonic control is higher than average eustatic variations and then, the pattern of sea level fluctuations is different from the global eustatic curve. The Imini Arenig shows only two transgressive/regressive cycles instead of three,

and the Llanvirn of Imini and Tizi-n-Tichka, shows three transgressive/regressive cycles instead of two.

#### 4. Palaeocurrent analysis

The palaeocurrent measurements (Fig. 4) revealed that the main transport path was from the WSW in the Aït Lahsen area and from the SSW in the Imini and Tizi-n-Tichka areas, indicating that the emergent source areas correspond respectively to the present-day location of Argana corridor, the Siroua Massif and the Ouzellagh Massif (Fig. 5). These results and the sedimentary environments recognised suggest that during the Ordovician, the western and central High Atlas were two independent epeiric seas, separated by an emergent area.

#### 5. Conclusion

The sedimentological study of Arenig–Llanvirn deposits in the western and central High Atlas leads to several results concerning the sedimentary facies and environments, depositional sequences and the sedimentation control. They also suggest that the western and central High Atlas were two independent epeiric seas separated by an emergent area. In the western High Atlas, the sedimentation occurred in a wave- and storm-influenced delta, alimented by an external source situated at the present-day location of the Argana corridor under the control of sea level fluctuations and subsidence. In the central High Atlas, the sedimentation occurred in an influenced tide and episodic storm delta, alimented by external sources situated at the present-day location of the Siroua Massif and Ouzellagh Massif under the control of sea level fluctuations and tectonics. These results are in agreement with the palaeogeographical reconstruction proposed by Hamoumi [11] that shows the existence of two sedimentary basins separated by an emergent area in Morocco during the Ordovician: the ‘Mesetian basin’, of NE–SW direction, and the ‘Atlasic basin’, of ENE–WSW direction.

## 1. Introduction

Ce travail présente les résultats d’une étude sédimentologique de l’Arenig–Llanvirn des séries des Aït

Lahsen, Tizi-n-Tichka, et Imini, et de leurs équivalents latéraux dans le Haut Atlas de Marrakech (Fig. 1). Il a pour objectif de reconstituer les faciès sédimentaires et les milieux de dépôt et de préciser leur évolution verticale et latérale, afin de reconstituer la paléogéographie et de comprendre les facteurs qui ont contrôlé la sédimentation.

Les successions étudiées (Fig. 1) correspondent : (1) aux membres 10C et 10D dont l’âge est compris entre l’Arenig inférieur et l’Arenig supérieur à Aït Lahsen et dont l’épaisseur atteint 430 m [3,4], (2) aux dépôts de l’Arenig–Llanvirn atteignant 370 m d’épaisseur à Tizi-n-Tichka [6,16] et (3) aux dépôts de l’Arenig–Llanvirn datés par les fossiles de *Didymograptus gr. deflexus* et dont l’épaisseur atteint 200 m à Imini [5].

## 2. Faciès et milieux de dépôt

### 2.1. Description (Fig. 2)

Le faciès A est constitué par un conglomérat intraformationnel à granoclassement normal, qui passe à des bancs décimétriques amalgamés de quartzites à stratification oblique et/ou sigmoïdale.

Le faciès B correspond à des bancs de grès fin d’épaisseur décimétrique, à base érosive, avec des traces d’affouillement *flute-casts* et d’objets traînés *groove casts*, des figures de charge et des traces de bioturbation. Leur structure interne s’exprime par un litage oblique de rides de vague et de rides de courant unidirectionnel, qui peut être affecté par des déformations synsédimentaires et leur surface sommitale peut être modélée par des rides lingoïdes.

Le faciès C correspond à des bancs lenticulaires d’épaisseur décimétrique de grès fins à litage oblique en mamelon (HCS) [14,19].

Le faciès D est un banc de grès moyen d’épaisseur décimétrique à base érosive, avec des figures de charge et des traces de bioturbation et une surface sommitale modélée par des rides interférentes polygonales [1,8]. Sa structure interne montre : un litage plan, un litage oblique de rides de courant unidirectionnel et un litage de rides chevauchantes en phase de type S [19].

Le faciès E est un banc silteux d’épaisseur centimétrique, à base érosive, qui montre un litage de rides de courant unidirectionnel, surmonté par des faisceaux de

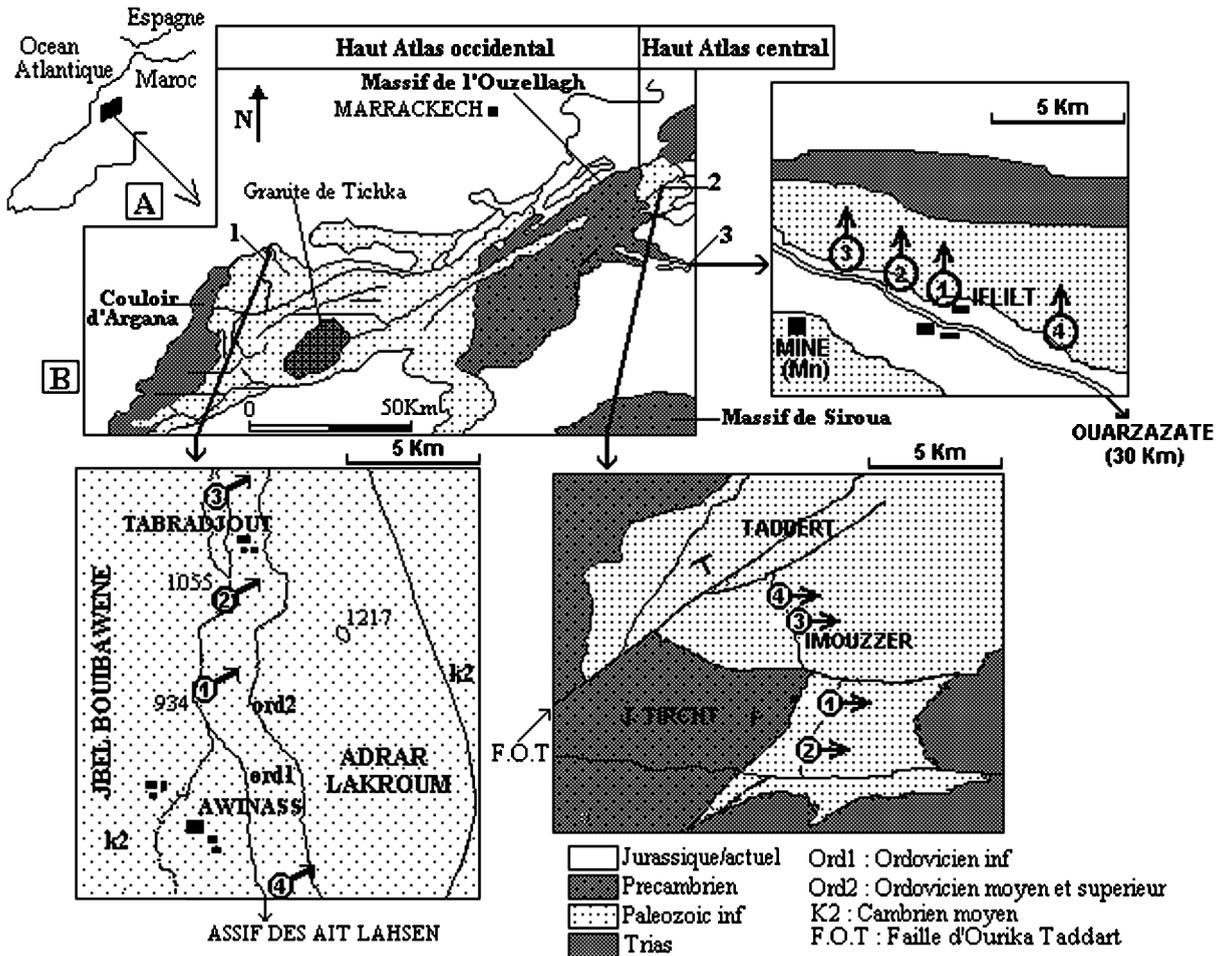


Fig. 1. (A) Localisation du Haut Atlas de Marrakech. (B) Situation des séries étudiées dans le Haut Atlas de Marrakech et détail des séries étudiées. Carte établie par Cornée [4]. 1, Aït Lahsen ; 2, Tizi-n-Tichka ; 3, Imini.

Fig. 1. (A) Location of High Atlas of Marrakech and structural domains of Morocco. (B) Location of the studied series outcrops in High Atlas of Marrakech. Map established by Cornée [4]. 1, Aït Lahsen ; 2, Tizi-n-Tichka ; 3, Imini.

lamines ondulées, de longueur d'onde décimétrique, dont l'épaisseur varie latéralement.

Le *faciès F* est constitué par une alternance argilo-silteuse à rythmites gradées [18].

Le *faciès G* se présente sous forme de bancs grésocarbonatés lenticulaires, d'épaisseur centimétrique, à litage parallèle faiblement ondulé. Ces bancs peuvent passer latéralement à des miches et/ou à des sphéroïdes grésocarbonatés [8,10].

Le *faciès H* est un banc de grès moyen d'épaisseur décimétrique dont le litage s'exprime par des faisceaux tidaux (*tidal bundles*) limités par des drapages d'argiles (*mud draps*) ou des surfaces de réactivation

[15,21], qui passent, vers le sommet, à un litage de rides de courant unidirectionnel.

Le *faciès I* est une alternance argilo-silteuse ou argilo-sableuse, qui peut montrer : un litage lenticulaire (I1), un litage ondulé (I2) ou litage madré (I3) [21].

Le *faciès J* est constitué par des bancs de grès fin d'épaisseur décimétrique, à litage de rides chevauchantes (*climbing ripple lamination*) de types A, B et S [19].

Le *faciès K* est constitué par des bancs silteux d'épaisseur centimétrique, à litage de rides de courant unidirectionnel.

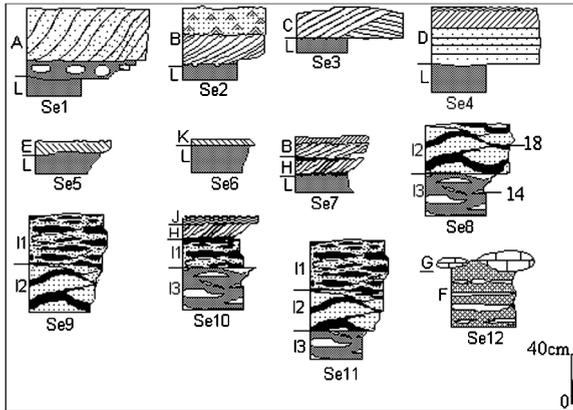


Fig. 2. Les séquences génétiques Se1 à Se12. Les lettres A à L sont les faciès qui constituent les séquences élémentaires.

Fig. 2. Genetic sequences Se1–Se12. A to L are the facies of the elementary sequences.

Le *faciès L* correspond à des interbanco péliciques parfois bioturbés dont l'épaisseur (centimétrique à métrique) varie selon les niveaux et les successions.

Le *faciès M* est constitué par des strates ferrugineuses et silicifiées, d'épaisseur centimétrique, à galets mous ferrugineux, pisolithes complexes et encroûtements ferrugineux.

Le *faciès N* correspond à un niveau de fer oolithique lenticulaire, d'épaisseur décimétrique ou métrique, qui montre, de la base au sommet : un terme microconglomératique à galets phosphatés et oolithes ferrugineuses, un terme à oolithes ferrugineuses et ciment ferrugineux et un terme de grès ferrugineux à rares oolithes.

Le *faciès O* est constitué par l'amalgame de strates centimétriques lenticulaires à base érosive de calcaire ferrugineux lumachéllique à galets phosphatés.

## 2.2. Interprétation

Le *faciès A* est interprété comme un chenal de front delta ; le terme conglomératique correspond à la concentration résiduelle de sédiments grossiers à la base d'un chenal et le terme sommital résulte de la migration de dunes à crêtes sinueuses ou de forme languide. Le *faciès B* résulte d'une sédimentation dans un front delta sous l'action conjuguée des vagues et du courant fluvial. Les associations de faciès E/L et K/L sont rapportées à des milieux de prodelta, sur la base de l'absence de litage de vagues, de la granulomé-

trie très fine du sédiment, de l'importance de la bioturbation et du fait de leur situation à la base des dépôts du front delta. Les faciès C à G traduisent une dynamique de tempêtes, tandis que les faciès H et I résultent d'une dynamique de marée. Le *faciès J*, qui résulte d'un taux de sédimentation rapide, est connu dans des environnements variés ; son association avec les faciès H et I permet de le considérer comme un *faciès tidal*. Dans le *faciès M*, l'existence de pisolithes d'origine pédologique, d'encroûtements ferrugineux, d'une silicification intense et de galets mous indique une phase d'émersion. Le *faciès N* est interprété comme un dépôt estuarien lié à un cycle régressif/transgressif [12]. Le *faciès O* correspond à un dépôt résiduel de produits de l'érosion d'un niveau condensé lors d'une phase régressive [7].

La série des Aït Lahsen est interprétée comme une série de delta édifié dans une plate-forme dominée par les courants de tempêtes, sur la base des associations de faciès : d'*offshore* distal dominé par les tempêtes (F et G), de prodelta (E et L) et de front delta influencé par les vagues et soumis à l'action des tempêtes (B, C, D, E et L), surmonté par un chenal de front delta (A), qui s'organisent en séquences grano- et stratocroissantes. La série de l'Imini était considérée comme une série de plate-forme dominée par les tempêtes [16]. Elle a ensuite été réinterprétée comme une série de delta dominée par les vagues et les courants de tempêtes [2] et comme un delta dominé par les marées et soumis à l'influence des vagues permanentes et à l'action épisodique des courants de tempêtes [13]. C'est ce dernier modèle qui est retenu ici sur la base des associations de faciès de : prodelta (Ket L), front delta dominé par les marées (B, H, I, J et L), soumis à l'action épisodique des tempêtes (C, D ou G), replats sableux ou mixtes argilo-sableux dominés par la marée (I), associés à des chenaux de marée, (A) qui s'organisent en séquences grano- et stratocroissantes. La succession de Tizi-n-Tichka a été considérée comme une série de plate-forme dominée par les tempêtes [16]. Elle est réinterprétée comme une série de delta dominé par les marées et soumis à l'influence des vagues permanentes et des vagues de tempêtes, du fait de l'existence des associations de faciès de : prodelta (Ket L), front delta dominé par les marées (B, H, I, J, et L) soumis à l'action épisodique des tempêtes (C, D ou G), replats sableux ou mixtes argilo-sableux dominés par les marées (I), associés à des dunes subtidales (H) et à des

chenaux de marée (A), qui s'organisent en séquences grano- et stratocroissantes.

### 3. Stratigraphie séquentielle

Les faciès A à L s'organisent en séquences élémentaires d'épaisseur centimétrique à décimétrique : Se1 à Se12 (Fig. 2), qui constituent les plus petits motifs répétitifs. Elles correspondent, soit à des unités de progradation (Se1 à Se6), soit à des unités d'aggradation (Se7 à Se11). La séquence Se12 constituée par l'enchaînement des faciès F et G est comparable au PACs : *Punctuated aggradational cycles*, qui sont liés à une variation eustatique contrôlée par la subsidence [9].

Les séquences élémentaires s'organisent en cortèges de bas niveau marin et des cortèges de haut niveau marin (Fig. 3). Le cortège de bas niveau marin est ici représenté par les dépôts d'*offshore* conformément au modèle d'Einsel [7] pour les plates-formes épeïriques sans rupture, de type rampe. Il peut se terminer par un paléosol (faciès M), lors d'une chute importante du niveau marin (Aït Lahsen). Le cortège de haut niveau marin correspond aux séquences deltaïques : prodelta/front delta ou front delta/plaine deltaïque.

Les cortèges sédimentaires s'organisent à leur tour en séquences de troisième ordre au sens de Vail et al. [22]. Dans la succession d'Aït Lahsen, l'Arénig est caractérisé par trois séquences de troisième ordre (SA1, SA2 et SA3). A Tizi-n-Tichka, l'Arénig n'a pas été étudié du fait des lacunes d'observation et le Llanvirn est constitué par trois séquences de 3<sup>ème</sup> ordre ST1, ST2 et ST3. Dans la succession de l'Imini, les limites Arénig/Llanvirn et Llanvirn/Llandeilo ne sont pas datées avec précision ; cependant, par comparaison avec les autres régions du Maroc, le niveau de fer oolithique peut être rapporté à la base du Llanvirn [2,10]. Ainsi, l'Arénig serait constitué par deux séquences, SI1, SI2, et le Llanvirn par au moins trois séquences, SI3, SI4 et SI5. Les séquences ST1 et SI3 correspondent à des niveaux de fer oolithique, les séquences ST2, SI1, SI2 et SI4 montrent le passage d'une séquence d'*offshore* (CBN) à une séquence deltaïque (CHN). Les séquences ST3 et SI5 montrent le passage d'une séquence de plaine tidale (CHN) à une séquence d'*offshore*, qui est coiffée par un niveau d'érosion sous-marine (faciès O) dans le cas de la séquence SI5 à Imini.

Les séquences de troisième ordre sont liées à des cycles transgressif/régressif qui se développent au cours d'une période de haut niveau marin [20] et un contrôle tectonique qui s'avère différent pour les deux domaines étudiés. Dans le Haut Atlas occidental, le bassin était soumis uniquement à la subsidence, les fluctuations du niveau marin se corrèlent parfaitement avec celles de la courbe eustatique de Ross et Ross [20], qui montre trois cycles eustatiques, avec une chute importante du niveau marin vers la fin de l'Arénig. Mais, dans le Haut Atlas central, le bassin était soumis à la subsidence et à une tectonique verticale. De ce fait, l'évolution du niveau marin est différente de celle de la courbe eustatique de Ross et Ross [20], aussi bien pour l'Arénig (Imini), qui ne montre que deux cycles transgressif/régressif au lieu de trois, que pour le Llanvirn (Imini et Tizi-n-Tichka), qui compte au moins trois cycles eustatiques au lieu de deux.

### 4. Étude des paléocourants

Dans les trois successions, l'étude des paléocourants effectuée sur les litages obliques unidirectionnels et les figures d'affouillement *flute cast* a permis de calculer la moyenne vectorielle  $X_r$  représentant la direction principale du courant et le coefficient de groupement des mesures  $r$ . La moyenne vectorielle mesurée (Fig. 4) a montré que, dans le cas de la série des Ait Lahsen (Haut Atlas occidental), le sens du transport était WSW–ENE, indiquant ainsi une terre émergée située à l'ouest. L'existence d'une telle source a été déjà proposée par Hamoumi [10] pour l'Ordovicien de la Meseta occidentale et l'Anti-Atlas occidental. Mais, dans le cas des séries de l'Imini et de Tizi-n-Tichka (Haut Atlas central), les transports se faisaient du SSW vers le NNE, indiquant ainsi l'existence de sources d'alimentation à l'emplacement actuel des massifs du Siroua et de l'Ouzellagh (Fig. 5). La mise en évidence de ces sources d'alimentation, de systèmes deltaïques et d'un régime hydrodynamique différent dans les deux domaines, plaide en faveur de l'existence, au cours de l'Arénig–Llanvirn, de deux bassins différents séparés par une terre émergée (Fig. 5). Le premier bassin est une plate-forme dominée par les tempêtes, dans laquelle s'est développé le delta de la succession d'Aït Lahsen (Haut Atlas occidental). Le deuxième est une plate-forme dominée par la marée et soumise à l'ac-

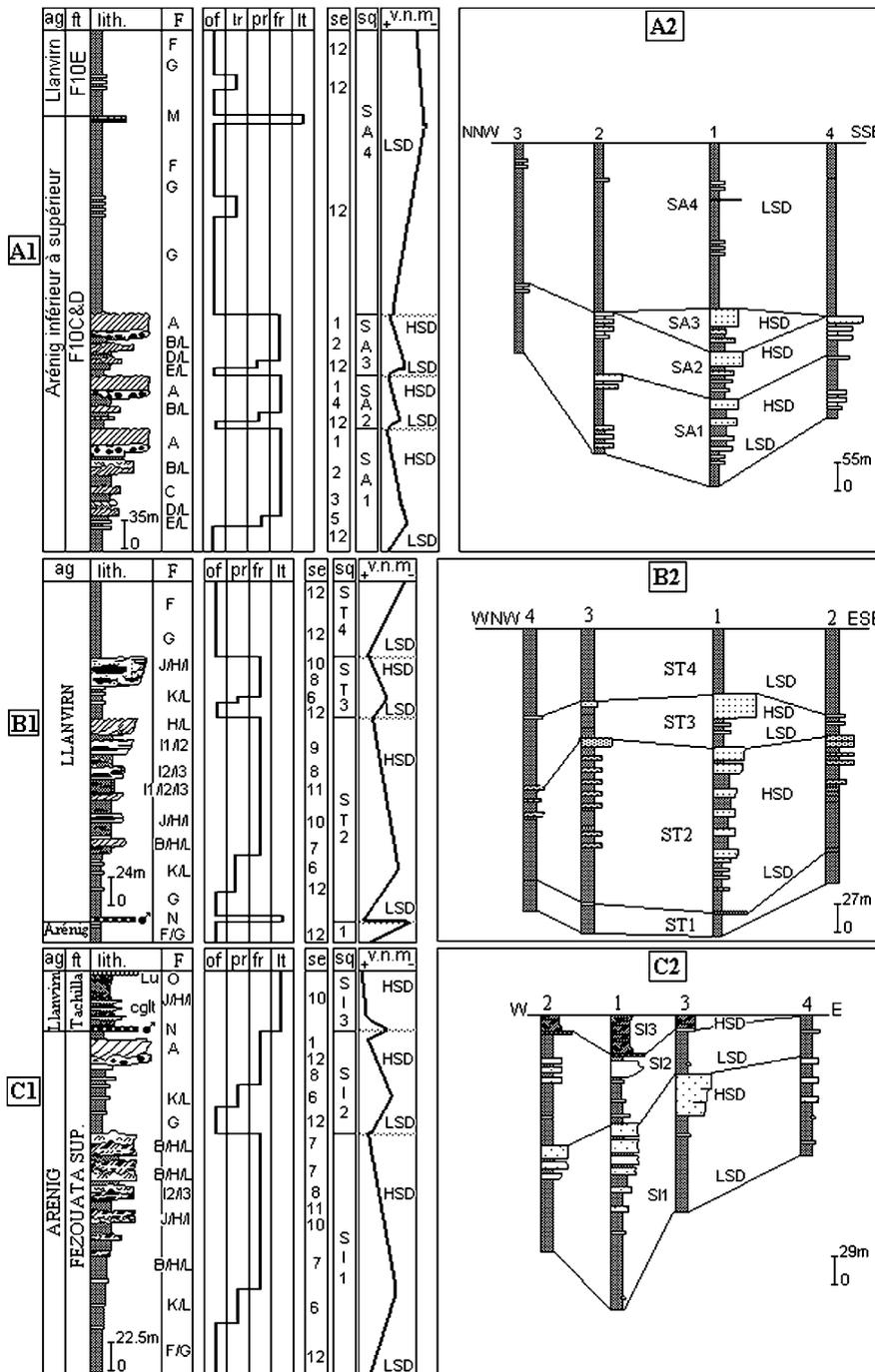


Fig. 3. Les séquences deltaïques et leurs équivalents latéraux. **A** : Aït Lahsen; **B** : Imini; **C** : Tizi-n-Tichka. **L.F.** : faciès; **fr** : front delta; **ch** : chenal de front delta; **of** : offshore; **sq** : séquences de depot; **ag** : âge; **ft** : formation; **vnm** : variations du niveau marin; **H.S.D.** : high-stand deposit; **L.S.D.** : low-stand deposit.

Fig. 3. Delta sequences and lateral outcrops. **A** : Aït Lahsen; **B** : Imini; **C** : Tizi-n-Tichka. **L.F.** : faciès; **fr** : delta front; **ch** : delta front channel; **of** : offshore; **sq** : sequential deposits; **ag** : age; **ft** : formation; **vnm** : sea-level variations; **H.S.D.** : high-stand deposit; **L.S.D.** : low-stand deposit.

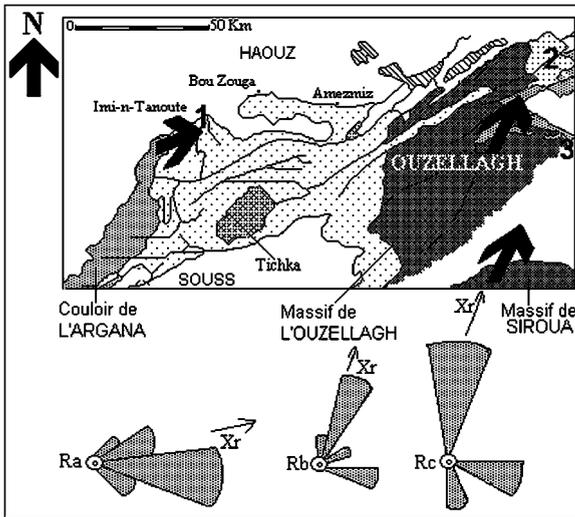


Fig. 4. Diagrammes circulaires. R : Rosace des mesures de paléocourants de (a) Aït Lahsen, (b) Tizi-n-Tichka et (c) Imini.  $X_r$  : Moyenne vectorielle représentant la direction principale du courant,  $85^\circ$  pour les Aït Lahsen et  $20^\circ$  pour Tizi-n-Tichka et Imini.

Fig. 4. Circular diagrams. R: Palaeocurrent measurements at (a) Aït Lahsen, (b) Tizi-n-Tichka and (c) Imini.  $X_r$ : Vector mean flow direction,  $85^\circ$  for Aït Lahsen and  $20^\circ$  for Tizi-n-Tichka and Imini.

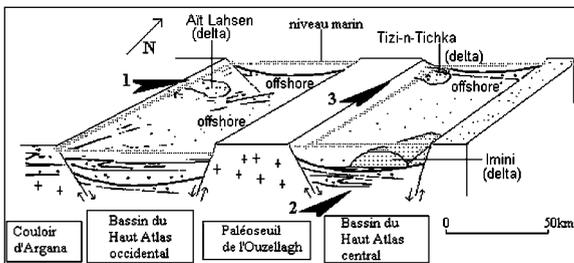


Fig. 5. Architecture des bassins du Haut Atlas occidental et central au cours de l'Arenig–Llanvirn ; les flèches montrent la direction des apports sédimentaires. (1) Source d'apport des Aït Lahsen, (2) source d'apport d'Imini, (3) source d'apport de Tizi-n-Tichka.

Fig. 5. Western and central High Atlas basins during Arenig–Llanvirn. Arrows show the directions of the main flows in (1) Aït Lahsen, (2) Imini, (3) Tizi-n-Tichka.

tion épisodique des tempêtes, dans laquelle se sont développés les deltas des successions de l'Imini et de Tizi-n-tichka (Haut Atlas central). Cette hypothèse est confortée par : (a) l'absence de minerais de fer oolithique au cours de l'Arenig–Llanvirn dans le Haut Atlas occidental, (b) l'existence de milieux littoraux depuis l'Arenig jusqu'à l'Ashgill dans les bordures ouest (Tizi-n-Tichka) et est (Skoura) du Haut Atlas central et

à l'ouest du Haut Atlas occidental (Aït Lahcen et Ida ou Zal) et d'un *offshore* au cours de l'Ordovicien inférieur et moyen dans la bordure orientale du Haut Atlas occidental (région d'Assif El Mal) [2], (c) l'absence de dépôts ordoviciens dans les massifs de l'Ouzellagh et du Siroua [4,16,17].

Ces résultats s'intègrent parfaitement au modèle proposé par Hamoumi [11], qui montre que la sédimentation ordovicienne dans la marge nord-gondwaniennne du Maroc, s'est développée dans au moins deux bassins, séparés par une terre émergée : le bassin « Mésétien » qui englobe les successions de la Meseta et de l'Anti-Atlas occidental et le bassin « Atlasique », qui englobe les successions de l'Anti-Atlas central et oriental. Les successions du Haut Atlas occidental appartiendraient au bassin « Mésétien » et celles du Haut Atlas central appartiendraient au bassin « Anti-atlasique ».

## 5. Conclusion

L'analyse sédimentologique détaillée des successions étudiées a permis : de (1) reconstituer les faciès et les environnements sédimentaires, (2) de définir les différents motifs stratigraphiques, suivre leur évolution verticale et latérale et comprendre les facteurs qui les contrôlent, et (3) de préciser le sens des apports sédimentaires et les reconstitutions paléogéographiques. L'ensemble des résultats obtenus montre qu'au cours de l'Arenig et du Llanvirn, la sédimentation s'est effectuée dans deux bassins différents, séparés par une terre émergée. Les dépôts du Haut Atlas occidental se sont développés dans un delta influencé par les vagues et les tempêtes dans un bassin de type plate-forme silicoclastique, dominé par les tempêtes et alimenté par une source située plus à l'ouest. Les successions du Haut Atlas central se sont développées dans des deltas dominés par les marées et soumis à l'influence épisodique des tempêtes dans un bassin de type plate-forme, alimentés par des sources qui correspondent aux massifs du Siroua et de l'Ouzellagh. Les différents ordres de séquences et leur mode d'agencement ont permis de montrer que la sédimentation était contrôlée dans le Haut Atlas occidental par les variations eustatiques et la subsidence et dans le Haut Atlas central par les variations eustatiques et la tectonique.

## Remerciements

Les auteurs tiennent à exprimer leurs vifs remerciements à M.M. Alain Piqué et Jean-Jacques Cornée pour les remarques et corrections pertinentes.

## Références

- [1] P.J. Brenchley, Storm Influenced Sandstone Beds, *Modern Geology* 9 (1985) 369–396.
- [2] C. Chacrone, Étude sédimentologique et stratigraphie séquentielle de l'Ordovicien du Haut Atlas occidental et central, thèse, université de Rabat, Maroc, 2000, 229 p.
- [3] J.-J. Cornée, J. Destombes, S. Willefert, Stratigraphie du Paléozoïque de l'extrémité nord-ouest du Haut Atlas occidental (Maroc) ; interprétation du cadre sédimentaire du Maroc occidental, *Bull. Soc. géol. France, Paris* 8 III (2) (1987) 327–335.
- [4] J.-J. Cornée, Le Haut Atlas occidental paléozoïque : un reflet de l'histoire hercynienne du Maroc occidental. Stratigraphie, sédimentation et tectonique, thèse d'État, université Aix-Marseille-3, Marseille, 2 tomes, 1989, 901 p.
- [5] J. Destombes, Le Cambrien et l'Ordovicien de la boutonnière de l'Imini (Zone subatlasique méridionale, Maroc), *C. R. somm. Soc. géol. France* 7 (1963) 231–232.
- [6] J. Destombes, H. Hollard, S. Willefert, Lower Paleozoic rocks of Morocco, in: C. Holand (Ed.), *Lower Paleozoic Rocks of the World*, London, vol. 4, 1985, pp. 91–336.
- [7] G. Einsele, *Sedimentary Basins. Evolutions, Facies and Sediments Budgets*, Springer-Verlag, 1992, 628 p.
- [8] P.W. Goodwin, E.J. Anderson, Punctuated aggradational cycles – A general hypothesis of stratigraphic accumulation, *J. Geol.* 93 (1985) 515–535.
- [9] F. Guillocheau, M. Hoffert, Zonation des dépôts de tempêtes en milieu de plate-forme : le modèle des plates-formes nord-gondwanienne et armoricaine à l'Ordovicien et au Dévonien, *C. R. Acad. Sci. Paris, Ser. II* 307 (1988) 1909–1916.
- [10] N. Hamoumi, La plate-forme ordovicienne du Maroc : dynamique des ensembles sédimentaires, thèse d'État, université Louis-Pasteur, Strasbourg, 1988, 192 p.
- [11] N. Hamoumi, Importance de la tectonique dans le contrôle des bassins intracratoniques, exemple des bassins d'âge Paléozoïque inférieur au Maroc, in : Réunion extraordinaire de la Société géologique de France, Accrétion continentale au Protéozoïque et au Paléozoïque du NW africain, Marrackech, 1995, p. 59 (abstract).
- [12] N. Hamoumi, Ordovician oolitic ironstones of Morocco. Facies and genetic model, *Memorias del XII Congreso Geologico de Bolivia, Tarija, Bolivia*, 1996, p. 712.
- [13] N. Hamoumi, The Gondwanan platform during Ordovician times: eustatic and geodynamic evolution, Official Business Meeting and Field Excursion, IUGS, Guide Book, Morocco, 2001, 120 p.
- [14] J.C. Harms, Primary sedimentary structures, *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.* 7 (1975) 227–248.
- [15] S.D. Nio, C.S. Yang, Diagnostic attributes of clastic tidal deposits. A review, in: D.G. Smith, G.E. Reinson, B.A. Zaitin, R.A. Rahmani (Eds.), *Clastic tidal sedimentology*, *Can. Soc. Pet. Geol. Mem.* 16 (1991) 3–28.
- [16] H. Ouanaïmi, Évolution sédimentaire et tectonique de la partie orientale du massif ancien du Haut Atlas (Maroc), thèse, université de Montpellier, 1989, 402 p.
- [17] F. Proust, Étude stratigraphique, pétrographique et structurale du bloc oriental du massif ancien du Haut Atlas, Maroc, *Notes Serv. Géol. Maroc* 34 (254) (1973) 15–54.
- [18] H.E. Reineck, I.B. Singh, Genesis of laminated sand and graded rhythmites in storm-sand layers of shelf mud, *Sedimentology* 18 (1972) 123–128.
- [19] H.E. Reineck, I.B. Singh, *Depositional Sedimentary Environments*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1980.
- [20] J.R.P. Ross, C.A. Ross, Ordovician sea-level fluctuations, in: B.D. Webby, J.R. Laurie (Eds.), *Global Perspective on Ordovician Geology*, A. Balkema, Rotterdam, Brookfield, 1992, pp. 327–336.
- [21] J.H.J. Terwindt, Origin and sequences of sedimentary structures in mesotidal deposits of the North Sea, *Spec. Publ. Int. Assoc. Sedimentol.* 5 (1981) 4–26.
- [22] P.-R. Vail, J.-P. Colin, R.-J. Du Chene, J. Kuchly, F. Media Villa, V. Trifilieff, La stratigraphie séquentielle et son application aux corrélations chronostratigraphiques du bassin de Paris, *Bull. Soc. géol. France* 8 II (7) (1987) 1301–1321.