



ELSEVIER

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



C. R. Geoscience 337 (2005) 525–532



COMPTES RENDUS  
GÉOSCIENCE

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

Géosciences de surface (Paléoenvironnement)

# Le Viséen supérieur d'Azarhare (Maroc central) : environnements de dépôt, datation et évolution diagénétique

Atika Karim <sup>a,d,\*</sup>, Mostafa Berkhli <sup>a</sup>, Daniel Vachard <sup>b</sup>, Nicolas Tribovillard <sup>c</sup>,  
Beate Orberger <sup>d</sup>

<sup>a</sup> UFR analyse et prospection des bassins sédimentaires, faculté des sciences, université Moulay-Ismaïl, BP 4010, 50000 Meknès, Maroc

<sup>b</sup> Laboratoire LP 3, UMR CNRS 8014, UFR Sciences de la Terre, université des sciences et technologies de Lille, bâtiment SN5, 59655 Villeneuve d'Ascq cedex, France

<sup>c</sup> Laboratoire PBDS, UMR 8110 PBDS, UFR Sciences de la Terre, université des sciences et technologies de Lille, bâtiment SN5, 59655 Villeneuve d'Ascq cedex, France

<sup>d</sup> Laboratoire de géochimie, université Paris-11, bâtiment 504, 91405 Orsay cedex, France

Reçu le 1<sup>er</sup> mars 2004 ; accepté après révision le 8 novembre 2004

Disponible sur Internet le 24 février 2005

Présenté par Jean Dercourt

## Résumé

L'étude d'une nouvelle région du Maroc central, celle d'Azarhare, porte sur trois coupes et cinq faciès infralittoraux. Elle permet (1) de mettre en évidence des biozones du Viséen supérieur, riches notamment en algues problématiques *Ungdarella*, (2) de généraliser l'emploi des séquences locales de dépôt SD5, SD6 et SD7 préalablement définies, (3) de préciser les modalités de la diagenèse, principalement l'apparition de la kaolinite. **Pour citer cet article : A. Karim et al., C. R. Geoscience 337 (2005).** © 2004 Académie des sciences. Publié par Elsevier SAS. Tous droits réservés.

## Abstract

**The Late Visean Azarhare series (central Morocco): deposition environments, dating and diagenetic evolution.** The unexplored area of Azarhare in central Morocco is studied thanks to three sections composed of five lithological facies. Main biostratigraphical and sedimentological results concern (1) the identification of Late Visean biozones, with important presence of problematic algae *Ungdarella*, (2) the regional extension of deposit sequences SD5, SD6 and SD7 previously defined, (3) and an analysis of the diagenetic kaolinite. **To cite this article : A. Karim et al., C. R. Geoscience 337 (2005).** © 2004 Académie des sciences. Publié par Elsevier SAS. Tous droits réservés.

**Mots-clés :** Paléoenvironnements ; Biostratigraphie ; Stratigraphie séquentielle ; Diagenèse ; Viséen ; Maroc

**Keywords :** Palaeoenvironments ; Biostratigraphy ; Sequence stratigraphy ; Diagenesis ; Visean ; Morocco

\* Auteur correspondant.

Adresse e-mail : [atikakarim@yahoo.fr](mailto:atikakarim@yahoo.fr) (A. Karim).

## Abridged English version

The NE–SW Central Morocco Basin is interpreted as an extensional basin during Early Carboniferous, evolving to a foreland basin during Late Carboniferous [1,2,5–7,13]. The sequence stratigraphy and the carbonate microfauna from Adarouch and Akerchi (northern part of the sector) were studied [3–7] in order to explain the mechanisms controlling the northern part of the basin. Three extensional phases have been defined [3–7]: the first one is of Early/Middle Viséan ('V2a' = Arundian = Moroccan biozone Cfm1 [19,20]) age, and corresponds to the opening of the basin; the second, during the Early Late Viséan ('V3b $\alpha$ /V3b $\beta$ ' = Asbian = Cfm4–5 [19,20]) and the third during the Latest Viséan ('V3c' = Brigantian = Cfm8 [19,20]). The tectonic becomes compressive after the Serpukhovian (Early Namurian). No previous study has been undertaken in the southeastern area. Consequently, we complete the investigation in the region of Azarhare, about 5 km southeastwards of Akerchi, the well-known hill exhibiting the Viséan–Serpukhovian boundary [3,4,7,10,13,18,20].

The study area crops out in the northeastern part of the Central Morocco Basin and is orientated NE–SW (Fig. 1). It is characterized by a mixed sedimentation of carbonate and detrital fractions (Fig. 2). The carbonate fraction comprises massive microbialites at its top. The detrital facies is composed of channelized polygenic conglomerates at the base, calcareous sandstones and shales. These sediments were deposited from shoreface to upper offshore settings on an internal platform [5–7]. The three sections use the foraminifera (e.g., *Endothyra* sp., *Loeblichia?* sp., *Lapparentidiscus* sp., *Archaediscus stilus*), and algae (e.g., *Paraepimastopora*, *Koninckopora tenuiramosa*, *Palaeoberesella* sp., *Ungdarella uralica*) to date the series late Viséan, i.e. Late Asbian–Brigantian ('V3b $\gamma$ /V3c' to 'V3c' = Cfm7–8 [19,20]). Sequence stratigraphy analyses led to the definition of three sequences deposited during the Late Viséan, corresponding to three third-order cycles of sea-level changes. The possible correlation of these sequences with those of the adjacent regions (Adarouch and Imouzzer) of the northeastern Meseta allows the regional-scale nomination: SD5, SD6 and SD7 (Fig. 4) [3,6].

During diagenesis, the calcareous sandstones composed initially of quartz, muscovite, kaolinite, chlorite and illite, evolved through the kaolinitisation (leverrierite) of muscovite (Fig. 5), the neoformation of albite and interstitially emplaced vermicular kaolinite. Calcite re-crystallized during early diagenesis. During burial, the cement composition changed from high Mg-calcite to low Mg-calcite and saddle dolomite (Fig. 5). During late diagenesis, silica-rich fluids led to the replacement of carbonates by quartz. The diagenesis mechanisms are mainly compaction and pressure-solution.

## 1. Introduction

La région d'Azarhare, au nord-est de la Meseta occidentale marocaine (Fig. 1), fait partie d'un bassin extensif associé à un bassin d'avant-pays [1,2,4–7,13]. Une particularité stratigraphique de la région est de présenter à Akerchi des séries du sommet du Viséen et de la base du Serpukhovien (= Namurien inférieur) [7,10,18,20]. La stratigraphie séquentielle et les microfaunes carbonatées du Nord du secteur (Agourai, Adarouch et les boutonnières du causse moyen-atlasique) ont été étudiées [3–7] afin d'expliquer le fonctionnement du bassin. Trois phases extensives ont été définies [3–7] : la première au Viséen inférieur/moyen (« V2a » = Arundien = biozone marocaine Cfm1 [19,20]) responsable de l'ouverture du bassin ; la seconde à la base du Viséen supérieur (« V3b $\alpha$ /V3b $\beta$  » = Asbien inférieur = Cfm4–5 [19,20]) et la troisième au Viséen terminal (« V3c » = Brigantien = Cfm8 [19,20]). Le régime devient compressif après le Serpukhovien [4,7]. Aucune recherche n'ayant été effectuée précédemment dans les régions du Sud-Est, nous avons choisi d'étudier trois coupes A, B, C de la série d'Azarhare (Fig. 1).

## 2. Faciès, microfossiles carbonatés et environnements de dépôt

Cinq faciès lithologiques se sont déposés dans des environnements plus ou moins proximaux, évoluant dans différents domaines de l'infralittoral (Figs. 2 et 3). (1) Des conglomérats polygéniques chenalisés, contenant des fragments de grès ordoviciens et de

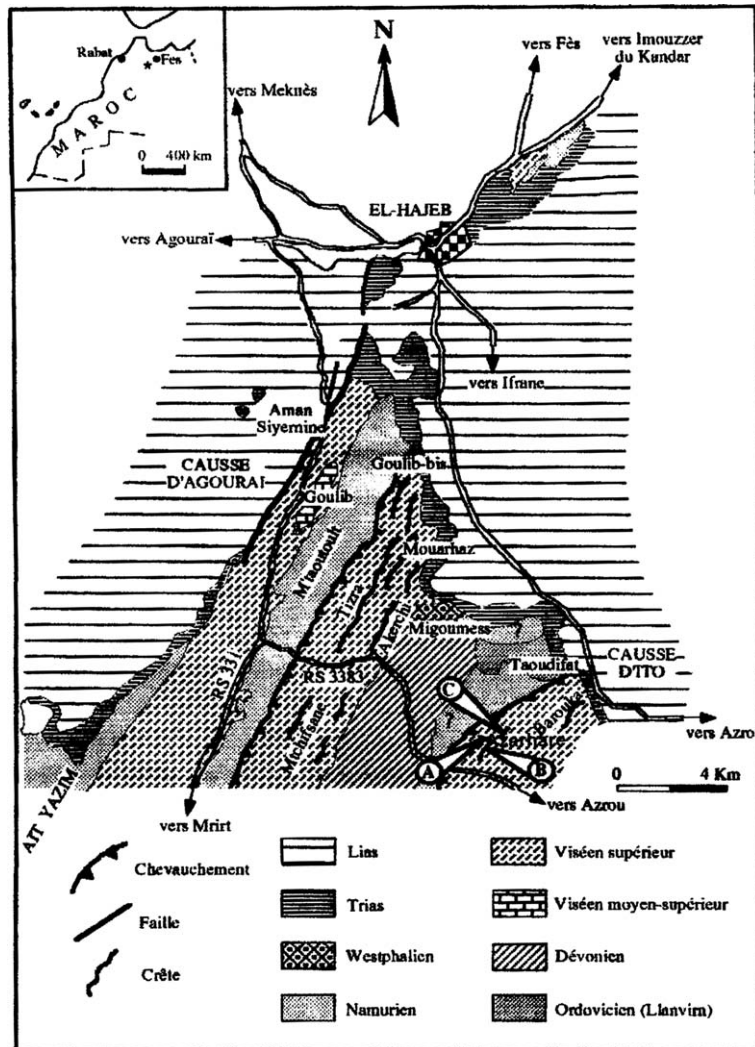


Fig. 1. Cartes de localisation des affleurements paléozoïques de la région d’Adarouch et localisation des coupes A, B et C, dans la région d’Azarhare.

Fig. 1. Location maps of the studied Palaeozoic outcrops of the western Meseta in the Adarouch area and location of sections A, B and C, in the Azarhare area.

phtanites siluriennes, et des galets calcaires dévoniens tectonisés (Fig. 3A) à styliolinidés (Fig. 3B) et foraminifères *Nanicella* sp. (2) Des calcaires bioclastiques et bioconstruits, dont des microbialithes (cyanobactéries coccoïdes; Fig. 3C), abritant quelques foraminifères remaniés ou fixés – *Endothyra* ex gr. *prisca* et *Eotubertina* ex gr. *reitlingeræ* (Fig. 3D et E) – et creusés de structures d’attribution discutée – *Prethocoprolithus* ou *Terebella* [11,14]. Ces constructions se développent dans des milieux proches de l’émersion [16]. Le

ciment, une calcite microsparitique à sparitique en mosaïque drusique (Fig. 3C et D), ne présente aucune silicification tardive. (3) Des calcaires sableux de texture *packstone*, *wackestone* ou *rudstone* (Fig. 3F–H et M) sont les plus riches en fossiles, et témoignent de l’installation de plates-formes carbonatées peu profondes. (4) Des grès calcaires, grossiers, moyens à fins, avec ou sans granoclasement (Fig. 3H–L), se forment en zone infralittorale supérieure régie par des courants littoraux et la houle [3,5–7]. L’extinction roulante des

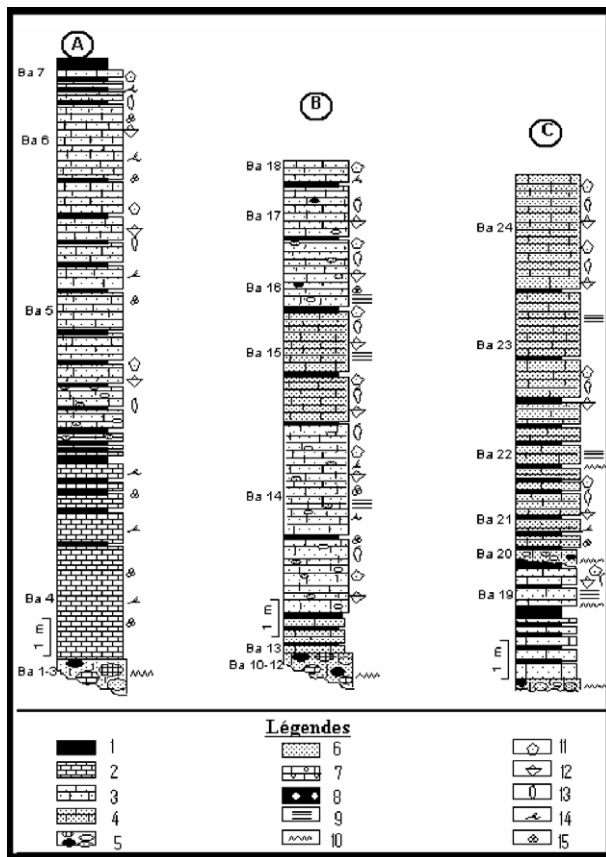


Fig. 2

Fig. 2. Coupes lithostratigraphiques de la région d'Azarhare. (A), (B) et (C). 1 : argilite, 2 : calcaire bioclastique, 3 : calcaire sableux, 4 : grès calcaire, 5 : conglomérat, 6 : grès à ciment siliceux, 7 : calcaire oolithique, 8 : argilite à nodules, 9 : laminations parallèles, 10 : surface ravinante, 11 : crinoïdes, 12 : brachiopodes, 13 : bivalves, 14 : algues, 15 : foraminifères.

Fig. 2. Visean lithostratigraphical columns of the Azarhare area. (A), (B) and (C). 1: shale, 2: bioclastic limestone, 3: sandy limestone, 4: carbonate sandstone, 5: conglomerate, 6: siliceous sandstone, 7: oolitic limestone, 8: shale with nodules, 9: parallel laminations, 10: erosional unconformity, 11: crinoids, 12: brachiopods, 13: bivalvia, 14: algae, 15: foraminifera.

Fig. 3. Microfaciès et principaux microfossiles du Viséen de la région d'Azarhare. **A.** *Wackestone* bioclastique à bryozoaires (Br), crinoïdes (Cr) et trilobites (Tr) des calcaires dévoniens contenus dans les conglomérats polygéniques. Échantillon Ba3,  $\times 4$ . **B.** *Styliolina* sp. Deux sections transverses emboîtées. Échantillon Ba1,  $\times 20$ . **C.** Microbialites avec des fractures, cimentées par de la calcite. Échantillon Ba4,  $\times 4$ . **D.** Biopelsparite grumeleuse de spongiostromides avec *Endothyra* ex gr. *prisca* Rauzer-Chernousova et Reitlinger in Rauzer-Chernousova et al., in section subtransverse. Échantillon Ba9,  $\times 10$ . **E.** *Eotuberina* ex. gr. *reitlingerae* Miklukho-Maklay fixé sur une croûte de spongiostromide dans une microbialithe. Échantillon Ba4,  $\times 20$ . **F.** *Wackestone* bioclastique et sableux à brachiopodes (Br) et à pelloïdes. Échantillon Ba19,  $\times 4$ . **G.** *Lapparentidiscus* sp. Section subaxiale. Échantillon Ba5,  $\times 20$ . **H.** *Paraepimastopora* sp. dans un lithoclaste sableux remanié dans un *packstone* bioclastique. Échantillon Ba5,  $\times 4$ . **I.** Grès à ciment carbonaté. Échantillon Ba13,  $\times 4$ . **J.** *Archaeodiscus stilus* (stade concavus passant au stade angulatus); section subaxiale. Échantillon Ba5,  $\times 20$ . **K.** *Koninckopora tenuiramosa* Wood. Section oblique dans un grès calcaire. Échantillon Ba13,  $\times 4$ . **L.** *Ungdarella uralica* Maslov; section longitudinale bien conservée, avec double système de fixation (à droite). Échantillon Ba23,  $\times 20$ . **M.** *Loeblichia*? sp. Section oblique. Échantillon Ba19,  $\times 20$ .

Fig. 3. Microfacies and principal Visean microfossils of the Azarhare area. **A.** Bioclastic wackestone with bryozoans (Br), crinoids (Cr) and trilobites (Tr) of the Devonian limestone pebbles contained in the polygenic conglomerates. Sample Ba3,  $\times 4$ . **B.** *Styliolina* sp. Two imbricated transverse sections. Sample Ba1,  $\times 20$ . **C.** Microbialites with fractures cemented by calcite. Sample Ba4,  $\times 4$ . **D.** Clotted biopelsparite of spongiostromids with *Endothyra* ex. gr. *prisca* Rauzer-Chernousova and Reitlinger in Rauzer-Chernousova et al., in subtransverse section. Sample Ba9,  $\times 10$ . **E.** *Eotuberina* ex. gr. *reitlingerae* Miklukho-Maklay attached on a crust of spongiostromid within a microbialite. Sample Ba4,  $\times 20$ . **F.** Sandy and bioclastic wackestone with brachiopods (Br) and peloids. Sample Ba19,  $\times 4$ . **G.** *Lapparentidiscus* sp. Subaxial section. Sample Ba5,  $\times 20$ . **H.** *Paraepimastopora* sp. included in a sandy lithoclast, reworked in a bioclastic packstone. Sample Ba5,  $\times 4$ . **I.** Sandstone with carbonate cement. Sample Ba13,  $\times 4$ . **J.** *Archaeodiscus stilus* (concavus stage passing to angulatus stage), subaxial section. Sample Ba5,  $\times 20$ . **K.** *Koninckopora tenuiramosa* Wood. Oblique section in a carbonate sandstone. Sample Ba13,  $\times 4$ . **L.** *Ungdarella uralica* Maslov; well-preserved longitudinal section with a double attachment process. Sample Ba23,  $\times 20$ . **M.** *Loeblichia*? sp. Oblique section. Sample Ba19,  $\times 20$ .

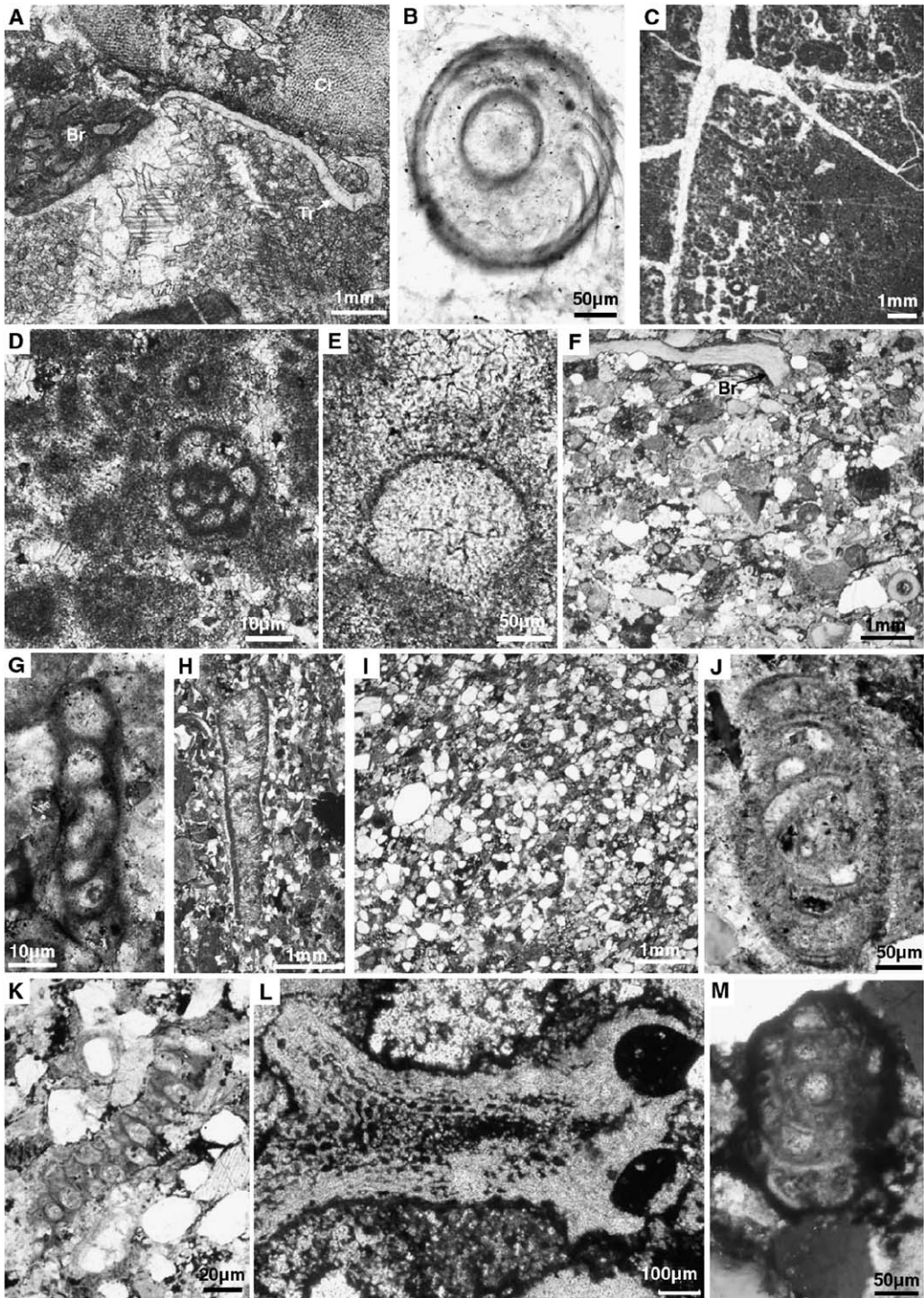


Fig. 3.

grains de quartz et la présence de muscovite suggèrent une source à partir de roches métamorphiques (ortho- ou paragneissiques). (5) Des argilites noires, intercalées dans les différents faciès, qui sont interprétées comme la réponse à des diminutions momentanées de l'énergie du milieu de dépôt.

### 3. Biostratigraphie et stratigraphie séquentielle

La série peut être datée du Viséen supérieur, précisément de l'Asbien supérieur–Brigantien (« V3by/ V3c » à « V3c » = Cfm 7–8 [18]). Cet âge est fourni [9,12,19] par des archaediscaïdés évolués (Fig. 3J), de rares *Loeblichia* primitives (Fig. 3M) et des *Ungdarella*, parfois très bien conservées (Fig. 3L), voisinant avec des *Koninckopora* (Fig. 3K). D'autres algues sont proches de *Paraepimastopora* (Fig. 3H), genre ne devenant commun qu'à partir du Serpoukhovien, mais signalé dans l'Asbien d'Espagne [17].

La stratigraphie séquentielle, par l'identification de discontinuités sédimentaires de type I ou II et de séquences de dépôt de 3<sup>e</sup> ordre, a conduit à une corrélation de ces séquences avec celles des régions d'Adarouch et d'Imouzzer du Kander [3–7]. On retrouve

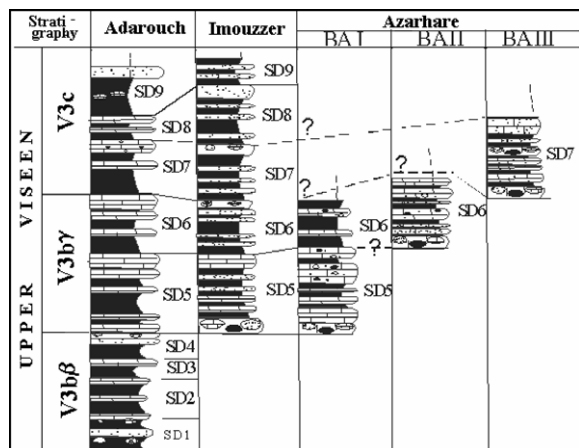


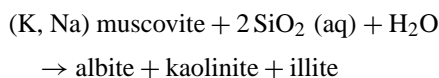
Fig. 4. Corrélation des séquences de dépôt du Viséen supérieur d'Azarhare, avec celles d'Imouzzer du Kandar et d'Adarouch (d'après [3], complété). BA I, II, III = autre désignation des coupes A, B, C.

Fig. 4. Correlation of the deposit sequences of the Late Viséan of Azarhare with those of Imouzzer du Kandar and Adarouch (according to [3], completed). BA I, II, III = other names of A, B, C sections.

donc à Azarhare les séquences et limites de séquences de la formation de Tizra (Fig. 4). Une terminologie unifiée des séquences viséennes identifiées est donc proposée, afin de simplifier la nomenclature régionale (Fig. 4).

### 4. Diagenèse

Tous les faciès (excepté les microbialithes) montrent des figures de compaction avec imbrication des grains et des contacts concavo-convexes et microstyloolithiques (Fig. 5A). La compaction mécanique a donc induit la dissolution des composants carbonatés. Le ciment initial micritique a recristallisé en microsparite et en sparite. La calcite magnésienne libère une partie du magnésium du fluide diagenétique pendant la recristallisation et devient faiblement magnésienne. Le Mg ainsi libéré peut participer à la précipitation de la dolomite baroque développée pendant la diagenèse, plus tardive (Fig. 5B). La présence de la dolomite dans tous les faciès, sauf dans les microbialites, pourrait indiquer que le Mg des eaux interstitielles a été piégé avant d'avoir traversé toute la série. Les oxydes de fer, soulignant les joints stylolithiques et associés à la dolomite (Fig. 5A et B), peuvent aussi provenir de la transformation diagenétique de la calcite fortement magnésienne et de la matière organique. Le ciment carbonaté précoce zoné (Fig. 5C) des conglomérats a évolué en dolomite baroque, montrant la présence d'oxydes de fer. Cette dolomite se singularise en cathodoluminescence par des couleurs orange à jaune-orangé. Au MEB, elle apparaît entourée par de la silice qui remplace la calcite (Fig. 5D). En nous fondant sur la texture de la kaolinite–leverriérite (Fig. 5E) et vermiculaire – et sur l'illite présente dans les niveaux les plus détritiques, nous proposons une origine diagenétique pour ces minéraux. La kaolinitisation est bien connue dans les faciès gréseux. On peut l'expliquer par la transformation de la muscovite à forte concentration de silice selon la réaction (modifiée d'après [8]) :



Cette réaction permet aussi d'expliquer la néoformation de l'albite contemporaine de la kaolinite et de l'illite présentes (Fig. 5F). Si cette réaction rend

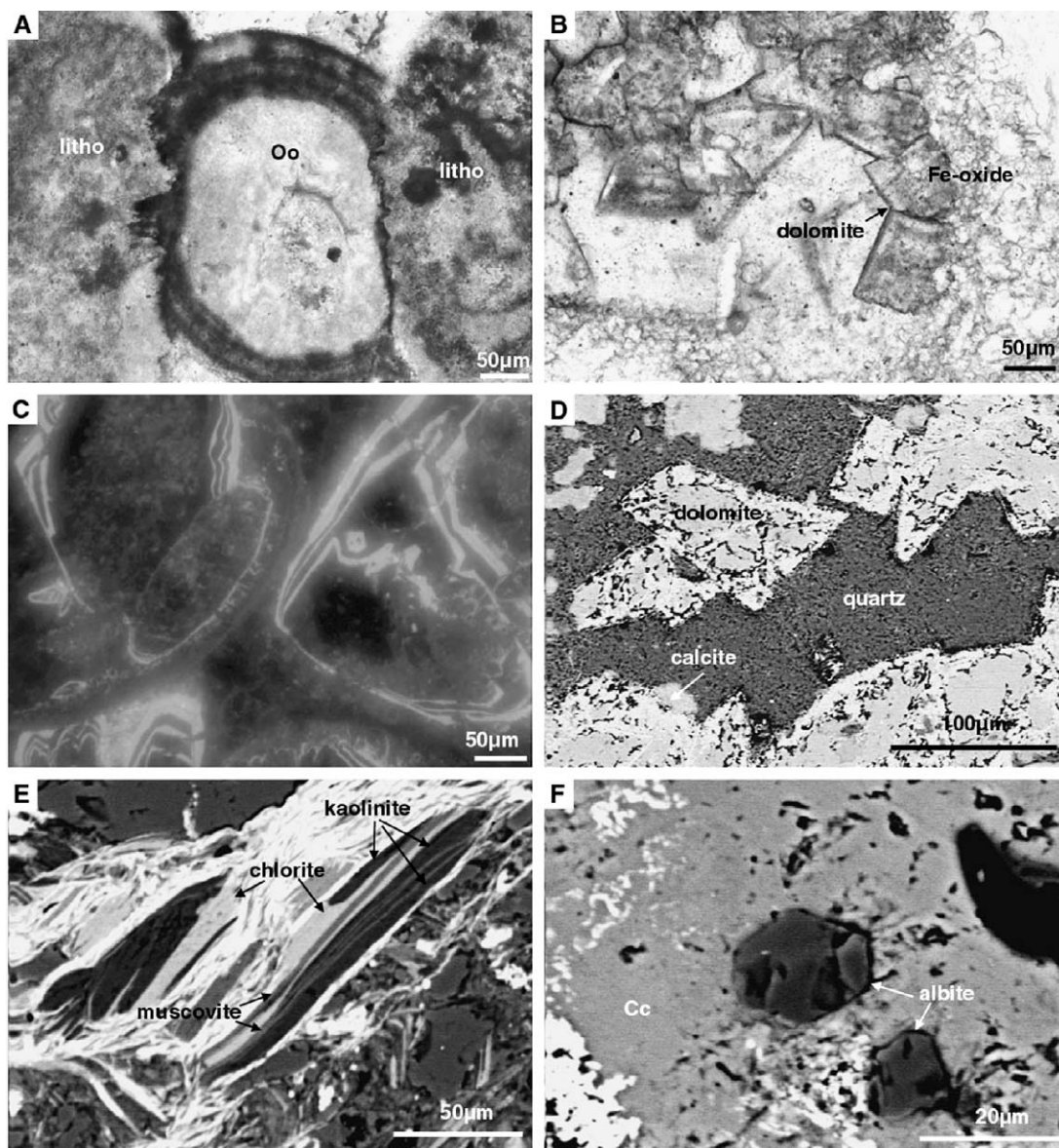


Fig. 5. Aspects de pression–dissolution, de dolomitisation et de kaolinisation du Viséen d’Azarhare. **A.** Contact suturé entre une oolite (Oo) et deux lithoclastes (litho), avec formation de microstylolites. Échantillon Ba5,  $\times 20$ . **B.** Dolomite en rhomboèdres colorés par des oxydes de fer. Échantillon Ba1,  $\times 20$ . **C.** Ciments précoces zonés, en cathodoluminescence, formés d’une alternance de bandes lumineuses (gris clair) et de bandes non lumineuses (gris foncé). Échantillon Ba12,  $\times 20$ . **D.** Dolomite en rhomboèdres, entourée par du quartz qui remplace une calcite. Échantillon Ba1,  $\times 339$ . **E.** Chlorite en baguettes courtes dispersées (gris clair), et alternance de feuillets de muscovite et de feuillets de kaolinite. Échantillon Ba13;  $\times 835$ . **F.** Albite automorphe néoformée. Échantillon Ba4,  $\times 1310$ .

Fig. 5. Aspects of pressure–dissolution, dolomitization and kaolinization of the Viséan of Azarhare. **A.** Sutured contact between an oolite (Oo) and two lithoclasts (litho) with formation of microstylolites. Sample Ba5,  $\times 20$ . **B.** Rhomboedric dolomite impregnated by Fe oxides. Sample Ba1,  $\times 20$ . **C.** Zoned early cements showing an alternation of luminescent bands (light grey) and non-luminescent bands (grey dark). Sample Ba12,  $\times 20$ . **D.** Rhomboedric dolomite surrounded by quartz replacing calcite. Sample Ba1,  $\times 339$ . **E.** Chlorite in scattered short sticks (pale grey); alternation of muscovite lamellae with those of kaolinite. Sample Ba13,  $\times 835$ . **F.** Newly formed automorphous albite. Sample Ba4,  $\times 1310$ .

compte de la formation des feuillettes de la kaolinite entre ceux de la muscovite, elle ne permet pas d'expliquer la kaolinite « en vermicules », qui se distingue au MEB dans les espaces intercrystallins, sans aucun feldspath altéré à proximité. Cette kaolinite est précipitée à partir de fluides interstitiels. Selon des analyses par diffraction des rayons X (DRX) des minéraux argileux, l'échantillon Ba19, contient 57 % de kaolinite et 43 % d'illite. L'indice de cristallinité de l'illite 0,354 correspond à l'anchizone sur le diagramme proposé par Kübler et Jaboyedoff [15] et indique un faible degré de métamorphisme.

## 5. Conclusions

La série d'Azarhare, dans le Nord-Est du Maroc Central, se compose d'une sédimentation mixte carbonatée et détritique, déposée sur le littoral d'une plate-forme. Les algues problématiques *Ungdarella* et *Koninckopora* permettent de dater la série du Viséen supérieur, du « V3bγ/V3c » au « V3c » (= Asbien supérieur à Brigantien = Cfm7–8), et de la corrélérer avec trois séquences de dépôt de troisième ordre : SD5, SD6 et SD7, d'importance régionale. La minéralogie initiale des grès calcaires (quartz, muscovite, et minéraux argileux) évolue durant la diagenèse d'enfouissement par une kaolinitisation de la muscovite (formation de leverrièreite) et une néoformation d'albite et de kaolinite vermiculaire interstitielle. Le ciment d'HMC, calcite micritique fortement magnésienne, se transforme en LMC, calcite faiblement magnésienne, et en dolomite baroque. Une circulation tardive de fluides riches en silice conduit au remplacement des carbonates par des quartz diagénétiques.

## Références

- [1] J. Beauchamp, A. Izart, Early Carboniferous basins of the Atlas-Meseta domain (Morocco): sedimentary model and geodynamic evolution, *Geology* 15 (9) (1987) 797–800.
- [2] J. Beauchamp, A. Izart, A. Piqué, Les bassins d'avant-pays de la chaîne hercynienne au Carbonifère inférieur, *Can. J. Earth Sci.* 28 (1991) 2024–2041.
- [3] M. Berkli, D. Vachard, New biostratigraphical data from the Early Carboniferous sequences of the Adarouch area (NE Central Morocco), *Newslett. Stratigr.* 39 (1) (2001) 33–54.
- [4] M. Berkli, D. Vachard, Le Carbonifère du Maroc central : les formations de Migoumess, de Tirhela et d'Idmarrach. Lithologie, biostratigraphie et conséquences géodynamiques, *C. R. Geoscience* 334 (2002) 67–72.
- [5] M. Berkli, D. Vachard, J.-C. Paicheler, Les terrains viséens des boutonnières du causse moyen-atlasique (Maroc) : biostratigraphie et environnements de dépôt, *Afr. Geosci. Rev.* 9 (2) (2001) 135–142.
- [6] M. Berkli, D. Vachard, J.-C. Paicheler, Le Viséen des boutonnières du causse moyen-atlasique (Maroc) : nouvelles données sédimentologiques, biostratigraphiques et paléogéographiques, *Ann. Soc. géol. Nord* (2) 9 (2002) 191–196.
- [7] M. Berkli, D. Vachard, J.-C. Paicheler, A. Tahiri, Modèle sédimentaire et évolution géodynamique du Nord-Est de la Méséta occidentale marocaine au cours du Carbonifère inférieur, *C. R. Acad. Sci. Paris, Ser. IIA* 331 (2000) 251–256.
- [8] P.A. Bjorkum, N. Gjelsvik, An isochemical model for formation of authigenic kaolinite, K-feldspath and illite in sediments, *J. Sediment. Petrol.* 58 (1988) 506–511.
- [9] R. Conil, E. Groessens, M. Laloux, E. Poty, F. Tourneur, Carboniferous guide foraminifera, corals and conodonts in the Franco-Belgian and Campine basins; their potential for widespread correlations, *Cour. Forschungsinst. Senckenb.* 130 (1991) 15–30.
- [10] T.A. Dedok, H. Hollard, Brachiopodes du Carbonifère inférieur du Maroc central, *Notes Mém. Serv. géol. Maroc* 285 (1980) 185–230.
- [11] J.-J. Delvolvé, M. Hansotte, D. Vachard, Biostratigraphy by foraminifera and algae of the Carboniferous deposits (Uppermost Viséan–Serpukhovian) of the Arize Massif (Ariège, France), *N. Jahrb. Geol. Paläontol. Abh.* 192 (2) (1994) 183–201.
- [12] S.J. Gallagher, The stratigraphy and cyclicity of the Late Dinantian platform carbonates in parts of southern and western Ireland, in : P. Strogon, I.D. Somerville, G.L. Jones (Eds.), *Recent Advances in Lower Carboniferous Geology*, *Geol. Soc. Lond. Spec. Publ.* 107 (1996) 239–251.
- [13] A. Izart, Les bassins dévono-carbonifères de la Méséta marocaine, stratigraphie, sédimentologie et paléogéographie, thèse d'habilitation, université de Bourgogne, 1990, 351 p. (inédit).
- [14] K. Krainer, E. Flügel, D. Vachard, M. Joachimski, A close look at Late Carboniferous algal mounds: Schulterkofel, Carnic Alps, Austria, *Facies* 49 (2003) 325–350.
- [15] B. Kübler, M. Jaboyedoff, Illite crystallinity, *C. R. Acad. Sci. Paris, Ser. IIA* 331 (2000) 7–89.
- [16] B. Mamet, A. Préat, Algues givésiennes du bord sud du bassin de Dinant et des régions limitrophes, *Ann. Soc. Géol. Belg.* 109 (1987) 431–454.
- [17] F. Sanchez-Chicos, B. Mamet, E. Moreno-Eiris, S. Rodríguez, Algas calcáreas del Viséense de Los Santos de Maimona (Badajoz), *Rev. Esp. Micropaleontol.* 27 (2) (1995) 67–96.
- [18] H. Termier, G. Termier, D. Vachard, Recherches micropaléontologiques dans le Paléozoïque supérieur du Maroc central, *Cah. Micropaléontol.* 4 (1975) 1–99.
- [19] D. Vachard, A. Tahiri, Foraminifères, algues et pseudo-algues du Viséen de la région d'Oulmès (Maroc), *Géol. Méditerran.* 18 (1–2) (1991) 21–41.
- [20] D. Vachard, M. Berkli, Importance des coupes du bassin de Jérada (Maroc) pour la connaissance du Viséen terminal, *Rev. Micropaléontol.* 35 (4) (1992) 307–328.