



**Universitat Rovira i Virgili**

Departament d'Història i Història de l'Art

Màster en Arqueologia del Quaternari i Evolució Humana (Erasmus Mundus)



**International Master in  
QUATERNARY AND PREHISTORY**

**Tesis de Master :**

**Étude sédimentologique des dépôts du Pléistocène inférieur du site d'Ain Hanech (Algérie).**

**AUTHOR**

**Nacim Mazouni**

**Director/s:**

**Salah Abdessadok (Encadrant)**

**Mohamed Sahnouni (Co-encadrant)**

**Josep Vallverdu i Poch (Co-encadrant)**

*Curso académico 2021/2022*



## **Remerciements :**

Je ne pourrai assez remercier mon encadrant Pr. Salah Abdessadok qui m'a encadré et dirigé dans cette recherche. Pour son enthousiasme, ses encouragements, sa patience, sa compréhension, ses conseils et ses réflexions pertinentes sur les aspects méthodologiques et les perspectives de cette étude.

Je suis particulièrement reconnaissant au Pr. Mohamed Sahnouni de m'avoir permis d'étudier les sédiments du site de Plio-pléistocène d'Ain Hanech (Algérie), ses conseils, ses encouragements et sa confiance.

Je remercie également le Pr. Vallverdú Poch Josep mon Co-encadrant pour ses conseils pendant ce mémoire de Master.

Mes sincères remerciements au Pr. Carlos Lorenzo qui m'a accueilli au sein de l'Université de Rovira i Virgili de Tarragona.

Mes sincères remerciements à Mme Chafika Falguères de m'avoir accueilli au muséum National d'histoire Naturelle de Paris (MNHN) durant ma mobilité et qui a facilité toutes mes démarches administratives.

Je tiens à remercier Mr. Zoheir Harichane, Hachi Slimane, Kherbouche Farid, Nadia Saidani, Razika Chelli, Kamel Boulaghrayaif, yasmina mouboubi, Redha Benchernine, Souhila Merzoug, Latifa sari, pour leurs conseils et tous mes amis qui m'ont aidé de près ou de loin : kiki, Abderrazak, Yassmine, Wassila, Fadila, mustapha, massipsa...

Un amour profond pour ma famille pour leur soutien.

## TABLES DES MATIERES :

<b>Remerciments.....</b>	<b>I</b>
<b>Résumé .....</b>	<b>III</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>VI</b>
- <b>Introduction.....</b>	<b>1</b>
<b>I-1<sup>er</sup> chapitre : les différents contextes du site d'Ain Hanech : .....</b>	
1- Situation géographique.....	4
2- Cadre géologique.....	4
3- Historique des recherches.....	6
4- Description de la coupe stratigraphique.....	6
5- Cadre géochronologique.....	10
6- La faune .....	10
7- L'industrie lithique.....	13
<b>II- 2ème chapitre : méthodologie de travail .....</b>	
1- Echantillonnage .....	16
<b>2- travail de laboratoire :.....</b>	<b>16</b>
-Préparation des échantillons : .....	16
2-1- La granulométrie :.....	16
2-1-1- Le tamisage à l'eau .....	16
2-1-2- Granulométrie des sables .....	17
2-2- Minéraux lourds :.....	18
2-3- Morphoscopie des grains de quartz.....	20
2-4- La pH-métrie .....	21
2-5- Taux des carbonates dans le sédiment .....	22
<b>III- 3ème chapitre : résultats .....</b>	
1- Granulométriques.....	24
2- Taux des carbonates.....	33
3- La pH-métrie.....	34
4- Minéraux lourds .....	35
5- Morphoscopie des grains de quartz .....	37
<b>IV- 4 -ème chapitre : .....</b>	<b>41</b>
1- <b>Discussion :..</b> .....	<b>42</b>
2- <b>Conclusion :</b> .....	<b>43</b>
Perspectives.....	45
Références bibliographiques.....	46
Liste des figures.....	49
Liste des tableaux .....	51

## **Résumé :**

Le site plio-pléistocène d'Ain Hanech est situé en Algérie orientale, à 7 km au nord de la ville d'El-Eulma, dans la commune de Guelta Zergua (Wilaya de Sétif). Il fait partie de la séquence plio-pléistocène d'Ain Boucherit-Ain Hanech qui renferme aussi les dépôts oldowayens d'Ain Boucherit inférieur (AB-Lw), Ain Boucherit supérieur (AB-Up) et El-Kherba. Dans le cadre des travaux de révision de la stratigraphie du locus d'Ain Hanech, une coupe stratigraphique de 2,5 m de large a été levée sur une profondeur de 5,50 m. Il s'agit de la coupe Est-Ouest relevée lors de la campagne de la fouille de 2019. Nous avons différencié 7 couches stratigraphiques sur la base de la structure, la couleur et la consistance des sédiments. Dans ce travail, nous présentons les résultats d'analyse sédimentologique suivants : granulométrie, morphoscopie des grains de quartz, minéraux lourds, taux des carbonates et du pH. Ces analyses montrent l'existence dans les deux complexes sédimentaires définis sur le terrain, un remplissage sablo-limoneux avec une extrême rareté du matériel grossier. L'étude des minéraux lourds n'a pas donné un nombre suffisant de minéraux pour des statistiques fiables mais elle nous a permis d'avoir un aperçu du cortège minéralogique composé principalement de minéraux d'origine métamorphique. La morphoscopie des grains de quartz montre que les grains non émoussés luisants sont les plus représentatifs. Le pH donne des valeurs comprises entre 7,31 et 8,66 ce qui indique un milieu basique idéale à la bonne conservation des restes archéologiques. Le taux des carbonates est stable dans le complexe inférieur et aléatoire dans le complexe supérieur. Ces résultats nous permettent de dire que les dépôts sédimentaires du site d'Aïn Hanech se sont formés durant un climat tempéré évoluant vers une aridification ponctuée par des précipitations pendant les saisons des pluies.

**Mots clés :** étude sédimentologique, Ain Hanech, Oldowayen, Pléistocène inférieur, Algérie, Paléolithique inférieur.

**Abstract:**

The Plio-Pleistocene site of Ain Hanech is located in northeastern Algeria, 7 km of the city of El-Eulma, near the village of Guelta Zergua, wilaya (~province) of Sétif. It is part of the Ain Boucherit-Ain Hanech Plio-Pleistocene sequence that includes other Oldowan localities namely Ain Boucherit Lower (AB-Lw), Ain Boucherit Upper (AB-Up), and El Kherba. As part of the recent revision of the stratigraphy of the site, a 2.5 m wide by 5.50 m deep stratigraphic section was studied during the 2019 fieldwork. We have distinguished 7 stratigraphic based on structure, color, and consistency of the sediments. In this work, we present the results of the sedimentological analysis, including: granulometry, morphoscopy of quartz grains, heavy minerals, carbonate levels and pH level. The results show a sandy silt matrix in the two sedimentary complexes of the infilling with an extreme paucity of coarse materials. The analysis of the heavy minerals did not give enough minerals for reliable statistics result, but it allows us to an overall picture of the mineralogical composition that includes mainly minerals of metamorphic origin. The morphoscopy of the quartz grains shows that the shiny unblunted grains are the most representative. The pH comprises values between 7.31 and 8.66, indicating an ideal basic environment for the good conservation of archaeological remains. The proportion of carbonates is stable in the lower complex and random in the upper complex. Overall, the results of the sedimentological study suggest that Ain Hanech sediments were deposited under temperate climate evolving towards an aridification punctuated by precipitations during the rainy seasons.

**Keywords:** sedimentological study, Ain Hanech, Oldowayan, Lower Pleistocene, Algeria, lower paleolithic.

## Introduction :

La zone de l'Oued Boucherit et Ain Hanech dans le Nord-Est d'Algérie) est connue pour abriter de loci ayant livré des restes fossiles de grandes mammifères associés à des outils lithiques du Paléolithique ancien (Arambourg, 1970 ; Sahnouni et de Heinzelin, 1998; Sahnouni et al.,2018), les loci comprennent Ain Boucherit inférieur (AB-Lw), Ain Boucherit supérieur (AB-Up), Ain Hanech et d'El Kherba. La localité d'Ain Hanech fut découverte en 1947 par le paléontologue français Camille Arambourg (1949). Elle est située sur la rive droite de l'Oued Ain Boucherit, Ain Hanech est daté de 1.78 million d'années (Ma) par les méthodes de la magnétostratigraphie et de la biostratigraphie (Sahnouni et *al.*, 2002; 2004; 2018; ; Pares et *al.*, 2014 ; Sahnouni et *al.*, 2004a, b). Les dépôts d'Ain Hanech ont livré des restes fossiles de grands mammifères du pléistocène inférieur associés à une industrie oldowayenne. Avec AB-Lw, AB-Up et El Kherba, ils constituent les plus anciennes preuves de la présence humaine en Afrique du Nord.

Ce travail focalise sur l'étude sédimentologique des sédiments du gisement pléistocène inférieur d'Ain Hanech. Il a pour but de fournir des informations non seulement sur la dynamique des dépôts par lesquels les restes fossiles et artefacts lithiques ont été incorporés dans la matrice sédimentaire mais aussi sur les conditions paléoenvironnementales prévalant durant les activités comportementales des premiers hominidés;(c'est- à-dire comprendre les processus de formation du site d'Ain Hanech, l'origine des sédiments - leur mode de transport et de dépôt). L'étude sédimentologique comprend deux étapes principales : la première étape concerne le travail de terrain; comprenant l'étude de la coupe stratigraphique et le prélèvement des échantillons sédimentaires, la deuxième étape est l'étude en laboratoire des sédiments à l'aide de techniques modernes comprenant : la granulométrie au granulomètre laser pour connaître la nature des dépôts sédimentaires, l'études des minéraux lourds présents dans la séquence stratigraphique, l'étude morphoscopique des grains de quartz, l'étude de la pH-métrie, et le taux de carbonates.

---

Notre étude est organisée en trois chapitres. Le premier chapitre traite les différents contextes du site d'Ain Hanech en exposant les cadres géographique et géologique, l'historique des recherches, la description de la stratigraphie, le et cadre géochronologique et les restes archéologiques recueillis lors des fouilles anciennes et modernes.

Le deuxième chapitre concernera les échantillons sédimentaires que nous avons prélevés lors de la campagne de fouille de 2019, entreprise par les chercheurs du Centre National de Recherches Préhistoriques, Anthropologiques et Historiques (CNRPAH). Nous discuterons également dans ce chapitre de la méthode d'étude de ces échantillons avec ses volets de travail de terrain et de laboratoire.

Quant au troisième chapitre, il comprend la présentation des résultats et le quatrième chapitre la discussion des résultats, la conclusion et la présentation des perspectives d'avenir de la recherche sédimentaire dans le site.

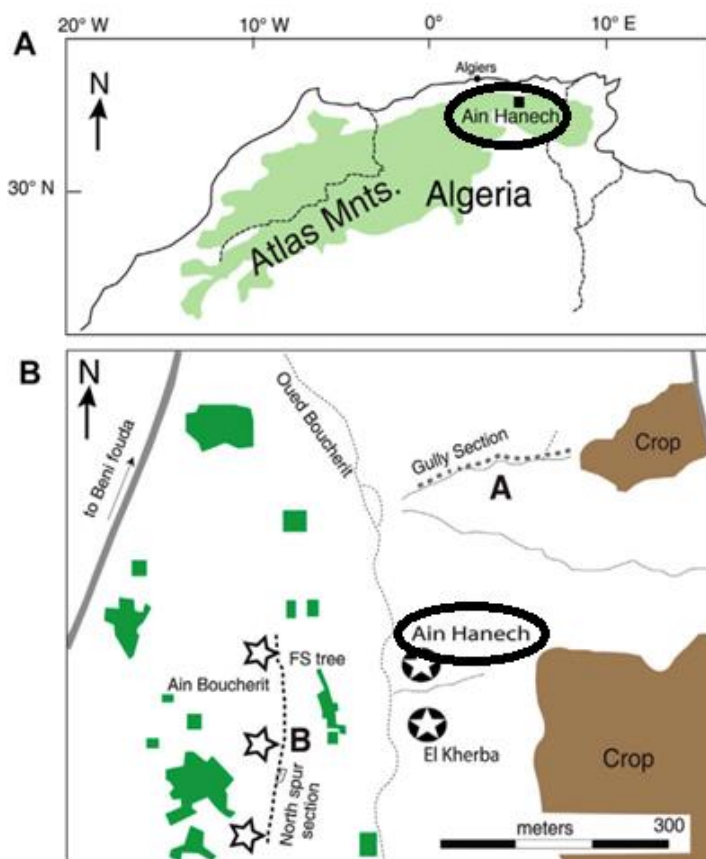
# **1 er chapitre**

## **Les différents contextes du site d'Ain Hanech**

### 1- Situation géographique :

Le site d'Ain Hanech est situé en Algérie orientale, à 7 km au nord de la ville d'El-Eulma, dans la commune de Guelta Zergua (Fig.1) (Wilaya de Sétif). (Sahnouni. M. et de Henzelin., 1998).

Ain Hanech est considéré comme un haut lieu de la préhistoire d'Afrique du Nord. Le site s'étale sur une superficie d'environ 1 km, et se situe à 967m du niveau de la mer. ( Sahnouni, 1998).



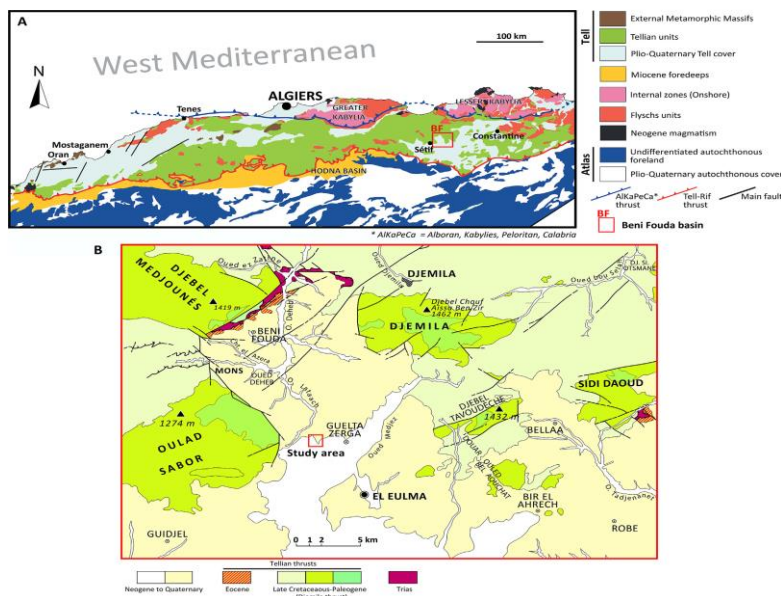
**Fig.1** : Position géographique du site Oldowayan d'Ain Hanech

(Après modification de Sahnouni et al.,2018 ; Abdessadok et al. 2022).

### 2- Cadre Géologique :

Le plateau algérien oriental est caractérisé par d'importants sédiments lacustres contenus dans des bassins formés à la suite d'une activité tectonique intense dans la région de Sétif.

La région de Sétif fait partie de la chaîne maghrébine formée au cours de l'orogénèse alpine. Elle est composée principalement de terres marneuses du Crétacé moyen au Néogène. (Djenba. 2015). La zone d'Eulma, située à 25 km à l'est de Sétif, est une vaste dépression composée de six sous-bassins (Demdoum. 2010) dont le sous-bassin Beni Fouada qui contient les dépôts Plio-Pléistocène de l'Ain Boucherit–Ain Hanech (Fig. 2) (Duval et al., 2021). Les dépôts de ce bassin sont de faciès variables constitués de sédiments argileux fluvio-lacustres recouverts de lits hétérogènes de plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur de marnes gris-jaune contenant des concrétions calcaires, des galets interstratifiés, des graviers et des sables (Demdoum. 2010). Cette séquence est souvent recouverte d'un dépôt massif de croute calcaire pouvant atteindre 3 m d'épaisseur dans certains lieux (Djenba. 2015). Dans les niveaux supérieurs de la vallée d'Ain-Boucherit, le gisement est constitué de trois couches stratigraphiques majeures. Les couches d'oued-el-Attach, d'oued-Boucherit et d'Ain-Hanech, triées de la plus ancienne à la plus récente. (Sahnouni.M. 2006).



**Fig.2** : contexte géologique. A : Carte structurale du nord de l'Algérie. L'emplacement du bassin de Beni Fouada (près de Sétif) (Duval et al., 2021), B : Géologie du bassin de Beni Fouada. La localisation de la zone d'étude (Ain Hanech) dans le bassin est indiquée par un carré (redessinée d'après la carte géologique d'El-Eulma, 1/50 000, 1977).

### **3- Historique des recherches :**

La région d'El-Eulma a fait l'objet de nombreuses études géologiques et paléontologiques, et en particulier celle de C. Arambourg qui fut couronnée par la découverte du site d'Ain Hanech en 1947. Le site a livré des restes osseux fossiles d'animaux de savane associés à une industrie lithique archaïque de type oldowayen. Grâce à ces découvertes, Ain Hanech est considéré comme l'un des plus anciens sites préhistoriques d'Afrique du Nord en termes d'importance archéologiques et paléontologiques en particulier.

En 1992, le chercheur M. Sahnouni a effectué ses premières recherches de terrain sur le site, afin d'enquêter sur les comportements des hominidés Oldowayens dans la région, et de placer le site d'Ain Hanech dans son cadre chronologique, par ailleurs, les recherches de terrain ont aussi abouti à la découverte d'autres sites d'une grande importance archéologiques dans les parages d'Ain Hanech dont Ain Boucherit, El-kherba et El-Beidha.

Des études pluridisciplinaires et des fouilles systématiques sont conduites depuis 1992. Un des objectifs de la campagne de fouille de 2019, était la révision de la stratigraphie du site d'Ain Hanech. A cet effet un sondage a été effectué pour étudier la stratigraphie et de procéder à des prélèvements sédimentologiques (mon cas d'étude) et micromorphologiques. La campagne de terrain de 2022 a permis de compléter la révision stratigraphique.

### **4- Description de la séquence stratigraphique :**

La réouverture en 2019 du sondage réalisé durant les années 2011- 2014 à l'ouest du cimetière dans le secteur du block I, dans les carrés Q, R et S a permis de dégager une séquence stratigraphique de 5,50 m de profondeur sur une surface de 2,50 m. Bien que la totalité du remplissage soit sablo-limoneuse avec une extrême rareté du matériel grossier (moins de 1 % par rapport à la fraction fine sauf dans les niveaux

archéologiques), deux complexes sédimentaires regroupant respectivement 3 et 4 couches ont été mis en évidence et différenciés sur la base de la structure et de la consistance du sédiment. Le premier a une structure prismatique et une consistance tendre ; le second, une structure inorganisée et une consistance indurée. L'individualisation des couches au sein de chaque complexe est faite sur la base de la couleur. Les limites inférieures et supérieures entre d'une part les couches et d'autre part les complexes sont nettes et les dépôts ne présentent pas de lacunes sédimentaires. Alors que la porosité, qui se manifeste par une forte activité racinaire, est importante dans les premiers niveaux des dépôts, elle s'estompe progressivement en allant vers le bas jusqu'à disparaître dans le second complexe.

Des artefacts, des galets et des ossements de grands mammifères ont été observés dans les couches 4 et 5, au sommet et à base de la couche 7. Ils correspondent respectivement aux sols archéologiques A, B et C définis lors des précédentes fouilles.

La description des dépôts sédimentaires est faite de haut en bas :

### **Complexe I (il regroupe les couches T1 à TIII)**

**La couche T1** de 140 cm d'épaisseur, est de couleur brun très pale homogène (10 YR 7/3). Le sédiment se débite en gros agrégats prismatiques. Les 30 premiers cm sont riches en nodules carbonatés. Vers la base, à la limite du niveau sous-jacent, des lits d'oxyhydroxydes métalliques de tailles millimétriques s'étendent sur toute la largeur du profil. La fraction grossière est représentée par cinq galets calcaires et un outil sphéroïdal.

**La couche TII** de 75 cm d'épaisseur, est de couleur brun clair homogène, (7,5 YR 6/4). Les agrégats prismatiques sont de tailles plus petites que ceux observés dans l'unité sus-jacente. La bioturbation est moins importante que dans le niveau sus-jacent. Quelques petits galets calcaires et de petits granules en silex sont présents. Des carbonates à diffusion superficielle et discontinue sont identifiées sur le côté Nord de la coupe.

**La couche TIII** a une hauteur de 50 cm et une couleur panachée brun clair (7,5 YR 6/4) et gris (7,5 R 7/0). La porosité diminue fortement entraînant une réduction dans la taille des agrégats prismatiques. Des voiles d'oxyhydroxydes métalliques et des carbonates sous forme de taches diffuses sont identifiés. Absence d'éléments grossiers et de matériel archéologiques.

**Complexe II (il rassemble les couches TIV à TV) :**

**La couche TIV** a une épaisseur qui varie entre 25 à 30 cm et une couleur gris clair (7,5 R 8/0) homogène hormis du côté sud où la présence de taches de carbonates et d'oxyhydroxydes ferromagnétiques donnent des couleurs variées. Nous notons la présence importante de sables grossiers et de granules. Ces derniers sont majoritairement en silex, le reste est en calcaire.

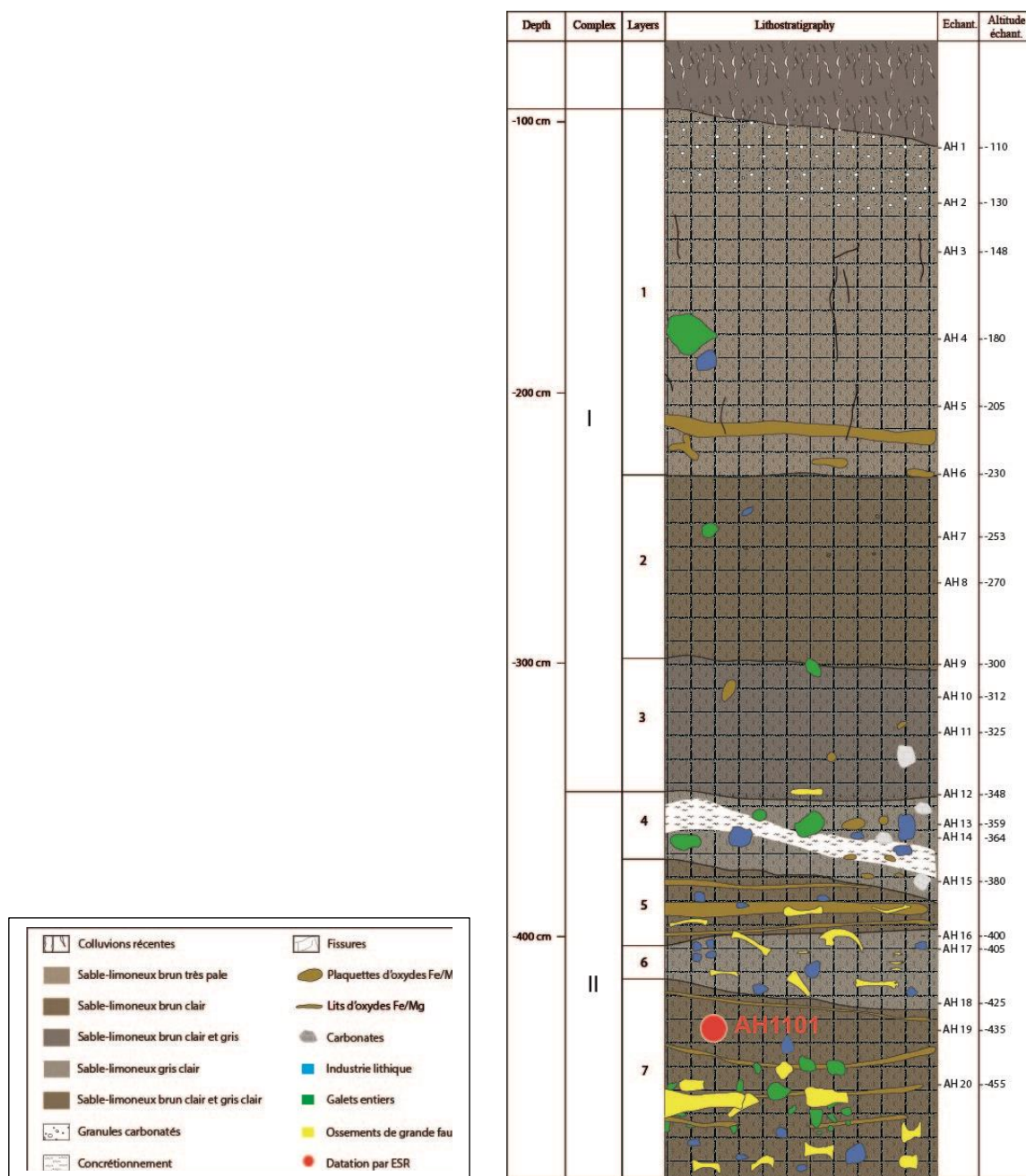
**La couche TV** est de couleur panachée brun clair (7,5 YR 6/4) et gris clair (7,5 R 8/0). Son épaisseur est en moyenne de 30 cm avec un amincissement vers le sud (15 cm). Le niveau renferme des oxyhydroxydes métalliques sous forme de croûtes continues. Un os est visible sur la coupe. Absence d'éléments grossiers.

Les couches TIV et TV, moyennement riches en matériel archéologiques, correspondent au sol archéologiques A.

**La couche TVI** est de couleur gris clair homogène (7,5 R 7/0). Son épaisseur varie entre 12 et 20 cm avec cependant une nette élévation côté sud (40 cm). Le niveau est très riche en granules en silex de tailles comprises entre 5 mm à 1 cm et en nodules carbonatés. Quelques imprégnations d'oxyhydroxydes métalliques sont visibles. Les éléments grossiers sont anecdotiques.

**La couche TVII** est de couleur panachée brun clair (7,5 YR 6/4) et gris clair (7,5 R 7/0). Son épaisseur passe de 25 cm côté Sud à 50 cm côté Nord. De nombreux lits millimétriques d'oxyhydroxydes ferromagnétiques se sont développés sur toute la largeur de la couche. Les éléments grossiers sont représentés par de nombreux galets calcaires de grandes tailles (> 10 cm) et des granules en silex. Des nodules carbonatés parsèment le niveau.

Le sommet de ce niveau correspond au sol archéologique B qui présente une grande richesse en artefacts et en ossements de grands mammifères. Il contient également de nombreux galets. Vers la base de ce niveau, apparaît une concentration de matériel osseux et d'industrie lithique que nous avons nommé sol archéologique C (Fig.3).



**Fig. 3 :** Log stratigraphique relevé sur le site d'Ain Hanech dans le secteur du block I, dans les carrés Q, R et S.

## 5- Cadre géochronologique :

Le complexe des sites d'Ain Hanech est considéré comme le site le plus ancien par la présence humaine préhistorique en Afrique du Nord, avec les plus anciennes industries lithiques représentant la culture Oldowayenne, et des restes osseux faunique de la période Plio-pléistocène.

Afin d'estimer l'âge des dépôts plio-pléistocène d'Ain Hanech, une étude magnétostratigraphique minutieuse a été menée sur la formation d'Ain Boucherit ainsi les dépôts des sites d'Ain Hanech et d'El Kherba. En ce qui concerne ces derniers sites, l'étude paléomagnétique indique qu'ils se sont formés vers la fin du subchron d'Olduvai datées de 1,78 Ma. (Pares et al., 2014 ; Sahnouni et al., 2018). Cette estimation chronologique est étayée par la présence de certain taxons fauniques à caractères biostratigraphique dont :

*Kolpocherus Heseloni*, une espèce de suidée datée à Kobi-Fora (Kenya) de 1.88 million d'années. On trouve aussi une espèce *d'Equidé* le plus vieux d'Afrique du Nord, qui se nomme "*Equus\_Numidicus*, qui date de 1,88 à 2,32 millions d'années. En plus d'une espèce de mastodonte (**Anancus**) qui a disparu complètement en Afrique de l'Est avec le début du Pléistocène aux environs de 1,8 million d'années.

## 6- La faune :

Les espèces fauniques présentes dans le site sont les suivantes (Tabl.1) :

### Proboscidiens :

- *Elephas recki ileretensis*
- *Mammuthus meridionalis*
- *Elephas moghrebiensis*

### Artiodactyles :

- **Suidés** : *Kolpochoerus heseloni* (Fig.4)( Sahnouni et Van der Made.,2009)
- **Hippopotame** : *Hippopotamus gorgops* (Weston & boisserie, 2010).

**Périssodactyles :**

- *Ceratotherium mauritanicum*

**Équidés :**

- *Hipparion libycum*
- *Equus tabeti*
- *Equus* aff. *Oldowayensis* (Tabl.1)

**Carnivores :**

- *Canis* cf. *falconeri*
- *Crocuta crocuta*



**Fig. 4** : canine male de *Kolpochoerus heseloni* supérieure droite d'Ain Hanech (MNHN-1948-1-159) : a) lingual ou ventral, b) antérieur, c) buccale ou dorsale et d) vues postérieures et e) section. (Van der Made.J et Sahnouni, M.2013).

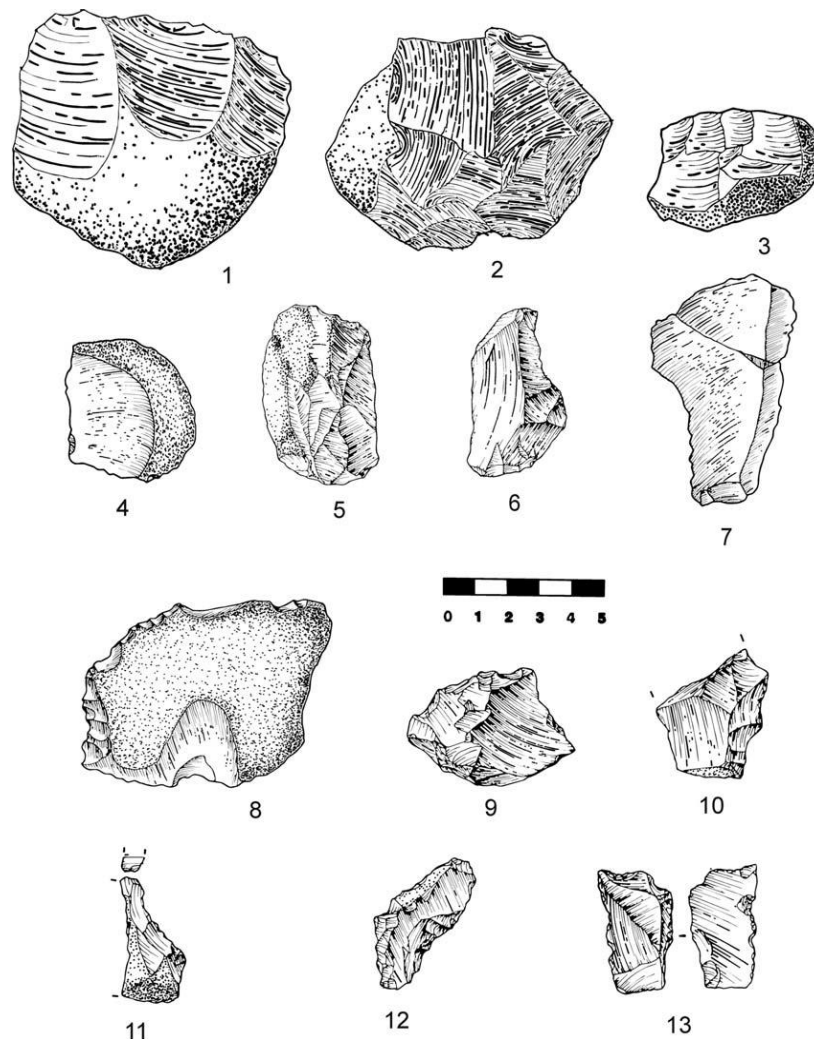
Une dernière liste faite en 2018 (Sahnouni et *al.*, 2018) montre les espèces fauniques fossiles présentes dans le site de Ain Hanech. (Tabl.1)

<b>Taxa</b>	<b>Ain Hanech</b>
<i>Canis cf. falconeri</i>	X
<i>Crocuta crocuta</i>	X
<i>Anancus osiris</i>	Sp
<i>Elephas recki ileretensis</i> /	X
<i>Mammuthus meridionalis</i> /	X
“ <i>Elephas moghrebiensis</i> ”	X
<i>Ceratotherium mauritanicum</i>	X
“ <i>Dicerorhinus</i> ” <i>africanus</i>	?
<i>Hipparion libycum</i>	X
<i>Equus tabeti</i>	X
<i>Equus</i> aff. <i>oldowayensis</i>	X
<i>Hippopotamus gorgops</i>	X
<i>Kolpochoerus heseloni</i>	X
” <i>Giraffa</i> ” <i>pomeli</i>	X
<i>Sivatherium maurusium</i>	X
“ <i>Bos bubaloides</i> ”	X
<i>Gazella pomeli</i>	X
<i>Oryx eleulmensis</i>	X
<i>Numidocapra crassicornis</i>	X
Alcelaphini ?	X

**Tabl. 1:** La faune de site d'Ain Hanech (Sahnouni et *al.*, 2018, après modification)

## 7- L'industrie lithique :

L'industrie lithique d'Ain Hanech a été découverte pour la première fois par le chercheur Arambourg en 1947, mais il a recueilli seulement les galets taillés à cause de sa méthode de fouille obsolète et son intérêt particulier pour les restes fossiles. Les fouilles modernes conduites par Sahnouni et ses collègues ont permis de recueillir des assemblages lithiques cohérents comprenant non seulement des galets taillés mais aussi un riche débitage constitué d'éclats et de fragments variés (Sahnouni, 1998 ; Sahnouni et de Heinzelin, 1998). L'industrie est manufacturée en calcaire et en silex vraisemblablement recueillis en forme de galets des lits de rivières du voisinage des lieux d'activités des premiers hominidés. L'étude détaillée de l'industrie lithique par Sahnouni (1998 ; 2006) a permis de l'assigner au complexe industriel oldowayen car elle partage de nombreux caractères technologiques et typologiques avec les industries similaires découvertes dans les sites oldowayens d'Afrique de l'Est, en l'occurrence des couches I et II inférieures d'Olduvai de Tanzanie et des niveaux pléistocène inférieurs de Kobi Fora au Kenya. (Fig. 5)



**Fig.5** : Industrie oldowayenne d'Ain Hanech : (1) galet taillé unifacial calcaire (KH-93-L21-15) ; (2) galet taillé polyédrique calcaire (AH-92-H5-10) ; (3) nucleus de silex (AH-98-I2-43) ; (4) éclat calcaire (AH-92-H6-2) ; (5) éclat de silex (AH-93-L1-1) ; (6) éclat de silex (KH-93-M21-10) ; (7) éclat calcaire (AH-92-J4-1) ; (8) racloir calcaire (AH-92-J2-25) ; (9) denticulé en silex (AH-93-L1-20) ; (10) denticulé en silex (AH-93-E2-1) ; (11) racloir en silex (AH-93-M2-14) ; (12) racloir en silex (AH-93-L4-4) ; (13) pièce retouchée en silex ressemblant à un perceur (AH-93-J4-JD2-30) (Sahnouni et de Heinzelin, 1998)

## **2-ème chapitre**

# **Méthodologie de travail**

## II- Méthode d'étude :

### 1-L'échantillonnage :

L'observation et le relevé des coupes stratigraphiques sont indispensables pour comprendre le mode de dépôt des couches et leurs agencements. Elle comporte l'étude de la succession des niveaux sédimentaires, de leurs couleurs et de leurs contenus, avant d'opérer aux prélèvements d'échantillons sédimentologiques et de blocs micromorphologiques.

Vingt échantillons ont été prélevés en 2019 et reportés sur la coupe stratigraphique.

Ces échantillons se répartissent dans les couches définies de la façon suivante

(Fig. 3)

- Couche 1: AH 1/ AH 2/ AH 3/ AH 4/ AH 5/ AH 6.
- Couche 2 : AH 7/ AH 8/ AH 9/.
- Couche 3 : AH 10/ AH 11/ AH 12.
- Couche 4 : AH 13/ AH 14/ AH 15.
- Couche 6 : AH 16/ AH 17/ AH 18.
- Couche 7 : AH 19/ AH 20.

### 2-Les analyses en laboratoire

Préparation des échantillons : Faire sécher les échantillons dans une étuve à 40°C pour les études de laboratoire.

#### 2-1-La granulométrie (définition) :

La granulométrie a pour objet de mesurer la taille des grains et de connaître la fréquence statistique des différentes tailles qui constituent une formation géologique. Elle renseigne sur l'origine et le mode de formation du matériau.

##### 2-1-1-Tamisage à l'Eau :

Cette première étape consiste à séparer, à l'eau, à travers des tamis, les fractions fines (argiles, limons, sables) des fractions grossières (graviers, cailloux).

Par la suite, nous avons séparé les éléments inférieurs à 2 mm en sables (de 2 mm à 0,040 mm) et en limons et argiles (< à 0,040 mm). La fraction sableuse a été séparée selon les tailles suivantes :

- sable grossiers : de 2 mm à 0,500 mm
- sables moyens : de 0,500 mm à 0,200 mm
- sables fins : de 0,200 mm à 0,040 mm

Des attaques chimiques opérées sur le sédiment sont effectuées pour éliminer les carbonates par l'acide chlorhydrique à 10 % et la matière organique par l'hydrogène peroxyde.

**2-1-2- Granulométrie des sables** : elle se fait au granulomètre laser Mastersizer 2000 (Fig. 6) selon le protocole suivant :

- Programmation du granulomètre
- Nettoyage de la cellule et préparation de l'échantillon
- Choisir le nombre d'essais pour chaque échantillon,
- Saisir le nom et les coordonnées de l'échantillon
- Mettre une demi-cuillère maximum de sédiment dans le bécher (avec une obscurité entre 10 et 20).
- Start pour l'analyse
- Les échantillons reçoivent à travers le miroir de la cellule des flux de laser qui calculent les diamètres des particules et leurs proportions.
- Nettoyage de la cellule entre deux échantillons pour éviter les contaminations.

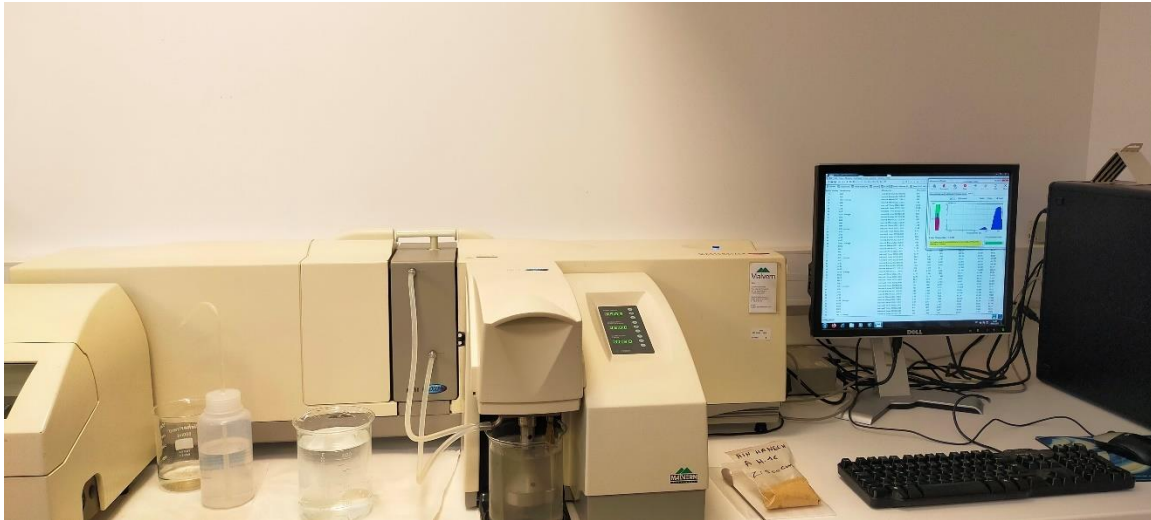


Fig.6 : le granulomètre laser Mastersizer 2000.

### 2-2-Minéraux lourds :

Pour l'étude des minéraux lourds et de la morphoscopie des grains de quartz, nous fractionnons le sédiment en quatre fractions, dont l'une servira aux analyses, selon le protocole suivant :

50 g de sédiment brut inférieur à 2 mm sont tamisés dans une série de 3 tamis superposés dont les mailles sont : 0.630 mm, 0.315 mm, 0.160 mm. Nous aurons ainsi les quatre fractions suivantes : FS (de 2 mm à 0,630 mm), FI (de 0,500 mm à 0,315 mm), FII (de 0,250 mm à 0,160 mm) et FIII (de 0,125 mm à 0,040 mm).

Le système pour la séparation des minéraux se compose des éléments suivants :

- Une ampoule à décanter
- Un entonnoir où l'on récupère les fractions minérales dans un papier filtre.
- Un erlenmeyer où l'on recueille le produit chimique servant à la séparation.

#### Le mode opératoire est le suivant :

- Remplir l'ampoule à décanter avec du polytungstate de sodium à une densité de 2,87 (valeur qui sépare les minéraux lourds des minéraux légers).
- Verser la fraction sableuse puis disperser l'échantillon au moyen d'une baguette.
- Laisser s'opérer la séparation durant plusieurs minutes.

Lorsque la sédimentation des minéraux lourds est achevée, on évacue cette fraction par entrainement de la liqueur libérée par l'ouverture du robinet en faisant attention

à ce que les minéraux légers, qui flottaient à la surface du liquide, puisque inférieurs à 2,87, ne se mélangent pas aux minéraux lourds. Ces minéraux légers seront, à leur tour, récupérés dans un nouveau filtre.

On aura ainsi pour chaque fraction sableuse deux filtres : un pour les minéraux lourds et l'autre pour les minéraux légers. (Fig. 7). Les minéraux de chaque filtre sont rincés avec de l'eau distillée puis mis à sécher dans l'étuve à 40° C.



**Fig. 7 :** système de la séparation des minéraux

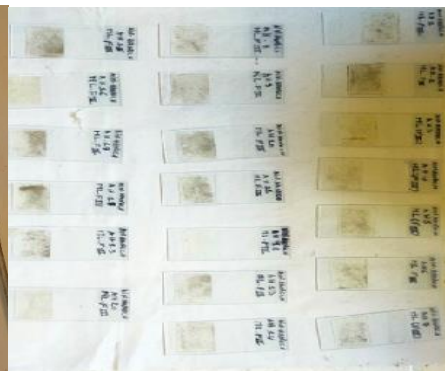
Les minéraux légers de chaque échantillon sont recueillis dans des sachets. L'étude des minéraux lourds est faite sur les fractions I, II et III alors que pour l'étude de la morphoscopie des grains de quartz, seule la fraction I sera observée à la loupe binoculaire.

Les minéraux lourds seront observés au microscope polarisant. Pour cela, on prépare des lames selon la méthode suivante :

Le montage se fait avec le baume de canada (colle) pour conserver les frottis. Sur chaque lame, disposée sur une plaque chauffante, on dépose le baume de canada et on laisse chauffer. Lorsque le baume est près (ou cuit), on y dépose avec précaution les sédiments qu'on recouvre d'une lamelle (Fig. 8) et on laisse sécher (Fig. 9).



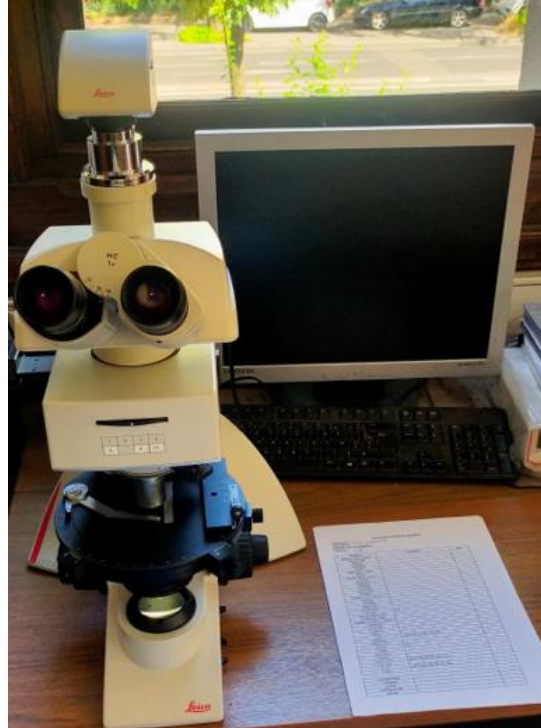
**Fig. 8 :** préparation des lames.



**Fig. 9 :** séchage des lames.

Les minéraux ainsi montés sont prêts à être examinés au microscope polarisant.

(Fig. 10)



**Fig. 10** : le microscope polarisant utilisé dans l'étude.

### **2-3-Morphoscopie des grains de quartz :**

Notre étude porte sur la forme, l'aspect des grains, de leur fraîcheur ou leur usure dans le but de retrouver le mode de transport. Ainsi, on peut retracer l'histoire et les conditions de transport de ces grains (Vatan. 1967)

Méthode de travail pour l'observation des grains de quartz à la loupe binoculaire :

- Faire un quartage de la fraction légère FI.
- Soupoudrer un quart des minéraux isolés (soit entre 200 et 300 grains) sur une lame en verre transparent.
- Utiliser la lumière de la binoculaire pour bien éclairer les minéraux.
- Séparer les grains de quartz selon la forme et l'aspect du grain.
- Reporter sur une fiche technique le nombre de chaque type.
- Faire le pourcentage de chaque type de forme.

On en distingue plusieurs types de forme :

- Les non usés (luisants ou opaques), caractéristiques d'une désagrégation ou d'un transport sur une faible distance,
- Les émoussés (luisants ou opaques), transportés par l'eau
- Les mats, transport éolien

#### 2-4-La pH-métrie :

Pour identifier le potentiel hydrogène du milieu, on utilise un pH-mètre. Cette méthode d'analyse permet de savoir si le milieu est acide, basique ou modéré.

(Tabl. 2)

Pour un milieu acide	Le pH < 7
Pour un milieu basique	Le pH > 7
Pour un milieu neutre	Le pH = 7

**Tabl 2** : Le pH pour chaque milieu.

Méthode du travail :

- Mélanger dans un bécher 10 g de sédiment inférieur à 2 mm avec 200 ml d'eau.
- Placer le bécher sur un agitateur magnétique pour une durée de 20 min
- Lire la mesure directement sur le pH-mètre (Fig. 11).



**Fig. 11** : le matériel utilisé pour la pH-métrie.

**2-5-Le taux des carbonates dans le sédiment :****Méthode de travail :**

Prendre 50 g de sédiment brut, séparer le sédiment en quatre fractions comme indiqué dans le chapitre 2-2, peser chaque fraction.

Des attaques chimiques opérées sur le sédiment brut de chaque fraction sont effectuées pour éliminer les carbonates par l'acide chlorhydrique à 10 % et la matière organique par l'hydrogène peroxyde. Après lavage et séchage repeser les fractions pour la deuxième fois. Calculer la différence entre les premières valeurs et celles après l'attaque chimique.

# **3ème chapitre**

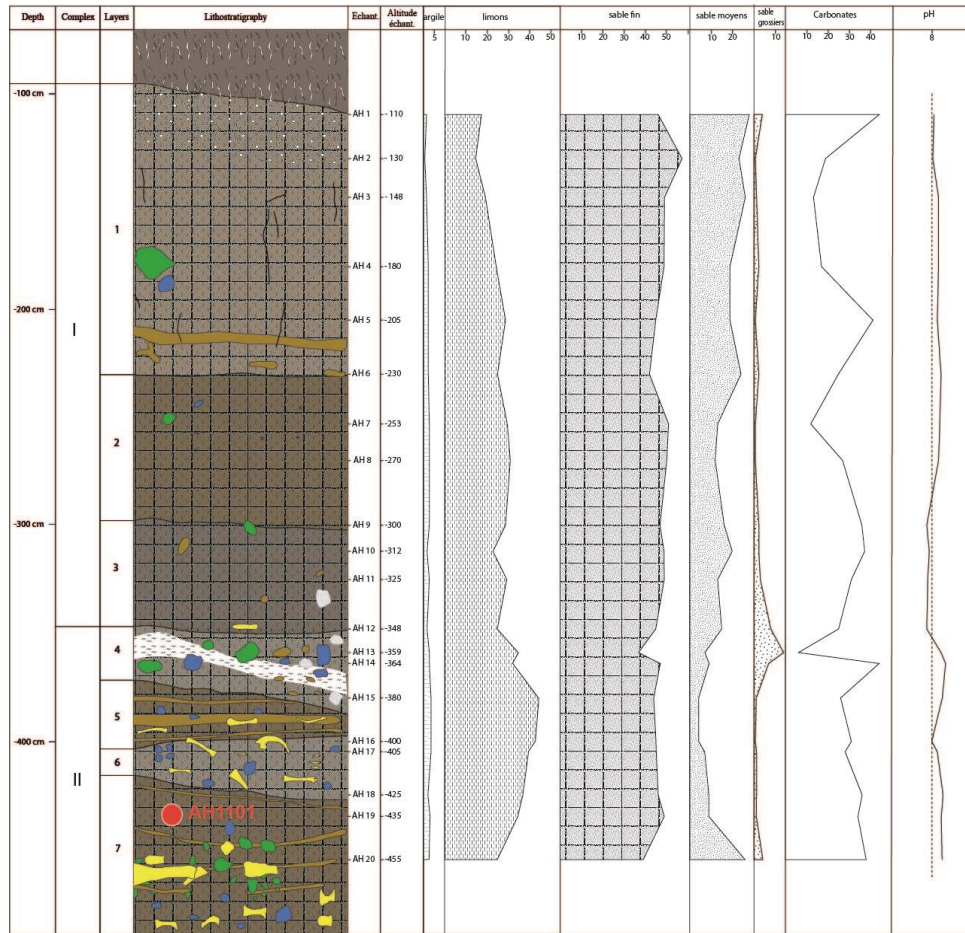
## **Résultats**

**III- Résultats :****1- Granulométrie :**

L'analyse granulométrique des sédiments bruts inférieurs à 2 mm révèle une nette domination des sables (69 % en moyenne) qui se répartissent, par ordre d'importance, en sables fins (50 %), sables moyens (15 %) et sables grossiers (3 %). Les limons viennent en seconde position avec un pourcentage moyen de 29 % alors que les argiles sont anecdotiques avec des taux qui ne dépassent pas 3 %.

Les argiles et les sables fins n'enregistrent pas de grandes variations tout au long de la stratigraphie alors que les sables moyens et les limons connaissent des évolutions inverses. Les premiers montrent de très faibles taux dans le complexe II en oscillant entre 4 et 9 % puis augmentent progressivement et sensiblement de la base du complexe I (15 %) à son sommet (27 %). A l'inverse, la présence des limons est plus importante dans le complexe II (entre 35 et 44 %) puis subissent une diminution graduelle dans le complexe I pour atteindre 15 à 17 % vers les niveaux supérieurs. Les sables grossiers sont infiniment représentés, leurs pourcentages varient entre 1 et 4 % sauf à l'interface des deux complexes où ils enregistrent des hausses à 14 %.

(Fig.12)



**Fig. 12** : Diagramme des résultats granulométrique des sédiments bruts, des carbonates et du pH.

La principale caractéristique qui résulte de l'étude granulométrique des sédiments décarbonatés est son enrichissement en sables grossiers. Alors que ces derniers étaient insignifiants dans les sédiments bruts, ils voient leurs pourcentages relativement augmenter entre 3 et 16 % après l'élimination des carbonates.

Dans les autres fractions, de très faibles variations sont enregistrées. Ainsi, les sables moyens et les limons connaissent de petites augmentations de la base au sommet (de 17 à 27 % pour les premiers et de 19 à 28 % pour les seconds) alors que les sables fins perdent la moitié de leur proportion en allant de la base (60 %) vers le sommet (34 %) (Fig. 13).

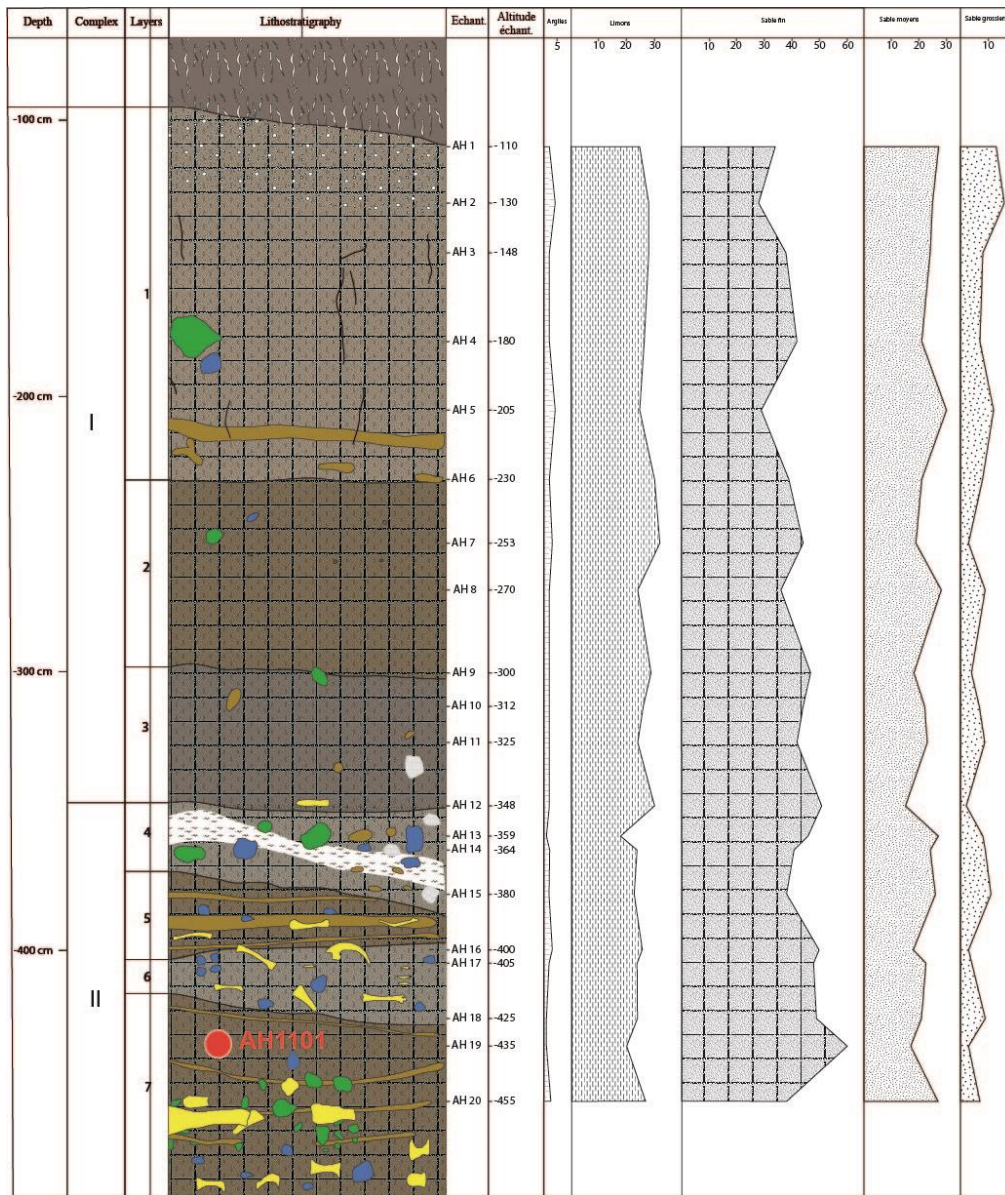


Fig. 13 : Diagramme des résultats granulométrique des sédiments décarbonatés.

Les courbes granulométriques sont, selon les critères de gradistat (Blott et Pye, 2006), unimodales ou bimodales. Si dans le complexe supérieur (de AH 1 à AH 11), toutes les courbes se transforment d'unimodales dans le sédiment brut à bimodales dans le décarbonaté, il en est tout autrement dans le complexe inférieur (de AH 12 à AH 20) où l'évolution des formes des courbes granulométriques est très aléatoire.

Ainsi, dans les échantillons AH 13, AH 14, AH 17, AH 18 et AH 20, les courbes sont bimodales aussi bien dans les sédiments bruts que décarbonatés. Les échantillons AH 16 et AH 19 restent unimodales dans les deux cas. La courbe de AH 12 passe de bimodale dans le brut à unimodale dans le décarbonaté alors que celle de AH 15 passe d'unimodale à bimodale (fig. 14 à 17).

Dans les sédiments bruts, le pic principal est situé dans les sables fins dans les deux complexes, alors que le pic secondaire, qui n'est présent que dans le complexe II et de faible amplitude, est localisé dans les sables moyens (fig. 14 à 17 droites). Lorsqu'on décarbonate les sédiments, les histogrammes de tous les échantillons montrent deux pics d'égales importances avec un léger décalage vers les sédiments les plus fins. (Fig. 14 à 17 gauches).

Dans le calcul des coefficients d'angulosité de Folk et Ward, les indices de **Kurtosis** de la majorité des échantillons bruts est compris entre 1,12 et 1,48  $\phi$ . Ces valeurs sont illustrées par des courbes dites leptokurtiques (Miskovsky et Debard, 2002), ce qui se traduit par une forte dominance d'une fraction sur le reste des populations. Par contre, les échantillons AH 6 et AH 20, les indices sont respectivement de 1,10  $\phi$  et 1,06  $\phi$  et les courbes ont des formes dites mésokurtiques (Miskovsky et Debard, 2002). La dominance d'une fraction sur les autres est de moindre importance. A signaler que ces indices sont légèrement inférieurs dans le complexe supérieur que dans l'inférieur.

Dans les décarbonatés, la plupart des échantillons ont des indices compris entre 0,90 et 1,10  $\phi$  et des courbes granulométriques mésokurtiques, quatre autres (AH 9, AH 12, AH 16 et AH 20) sont leptokurtiques (indices entre 1,17 et 1,32  $\phi$ ) alors qu'AH 2 est platykurtique (0,88  $\phi$ ) indiquant un mélange des fractions.

L'asymétrie (ou **Skewness**), calculé selon la méthode de Petitjohn et Pomerol (Miskovsky et Debard, 2002) révèle que la plupart des échantillons ont des coefficients positifs, traduisant ainsi un meilleur classement des particules grossières. Trois autres échantillons (AH 12, AH 14 et AH 18) montrent une symétrie parfaite entre les fractions alors que seul AH 13 a un coefficient négatif désignant des particules fines mieux classées (Miskovsky et Debard, 2002).

L'indice de classement de Trask (ou **Sorting** index), calculé sur les échantillons bruts, révèle que sept échantillons (AH1, AH 2, AH 3, AH 6, AH 10, AH 12 et AH 20) ont des valeurs comprises entre 2,51 et 3,48  $\mu\text{m}$ , ce qui désigne, selon Miskovsky et Debard, 2002, un sédiment normalement classé. Les autres échantillons, aux indices compris entre 3,59 et 4,96  $\mu\text{m}$ , montrent un sédiment assez bien classé.

Dans les sédiments carbonatés, les indices de AH 2 et AH 5 sont de 5,86 et 5,66, ce sont donc des sédiments mal classés (Miskovsky et Debard, 2002). Les indices de AH 12, AH 13, AH 17, AH 18 et AH 19 varient entre 2,70 et 3,34 ; ils indiquent un sédiment normalement classé alors que le reste des échantillons dont les indices oscillent entre 3,57 et 4,45 sont des sédiments assez bien classés.

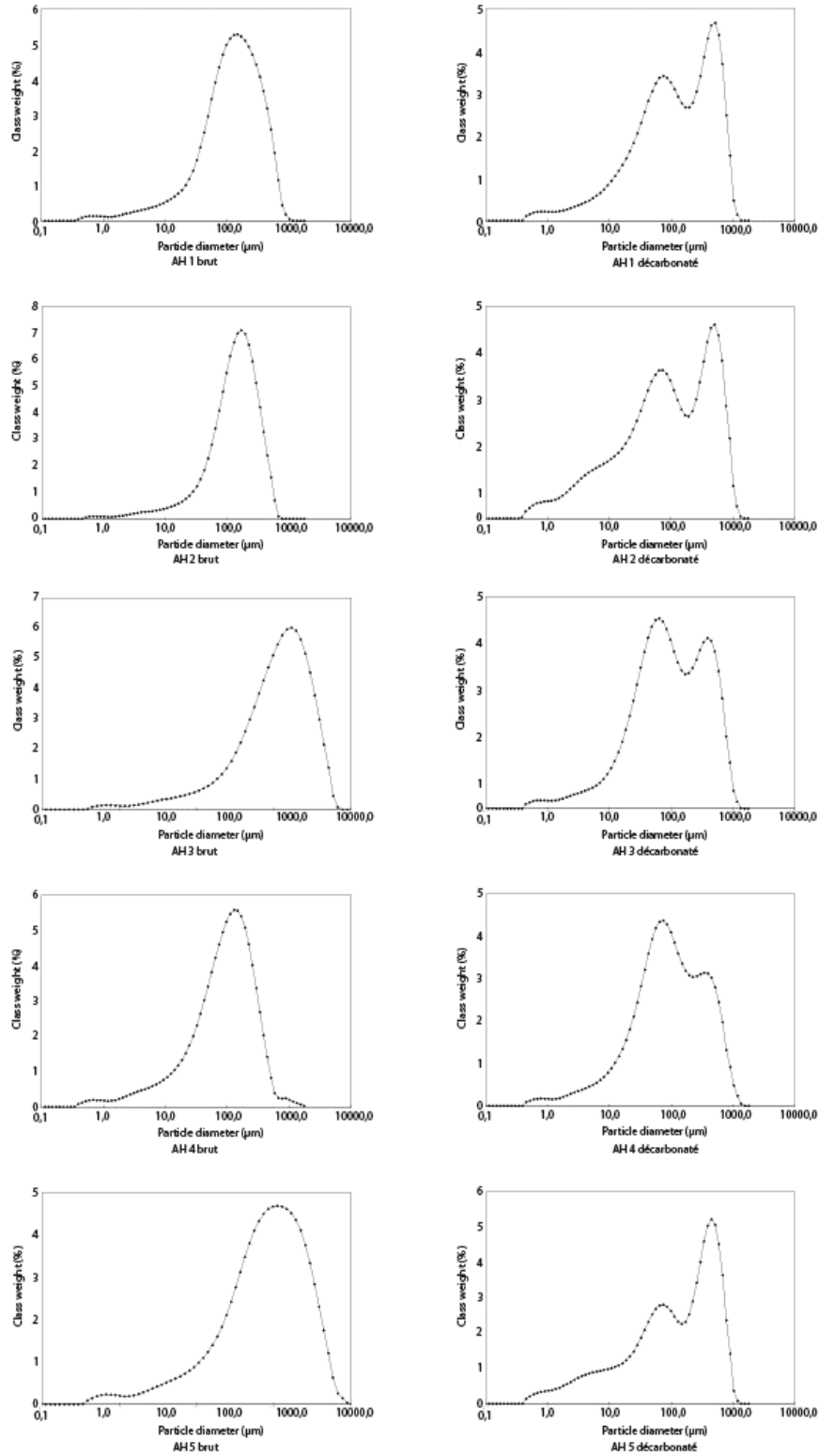


Fig. 14 : histogrammes des échantillons 1 à 5 bruts et décarbonatés.

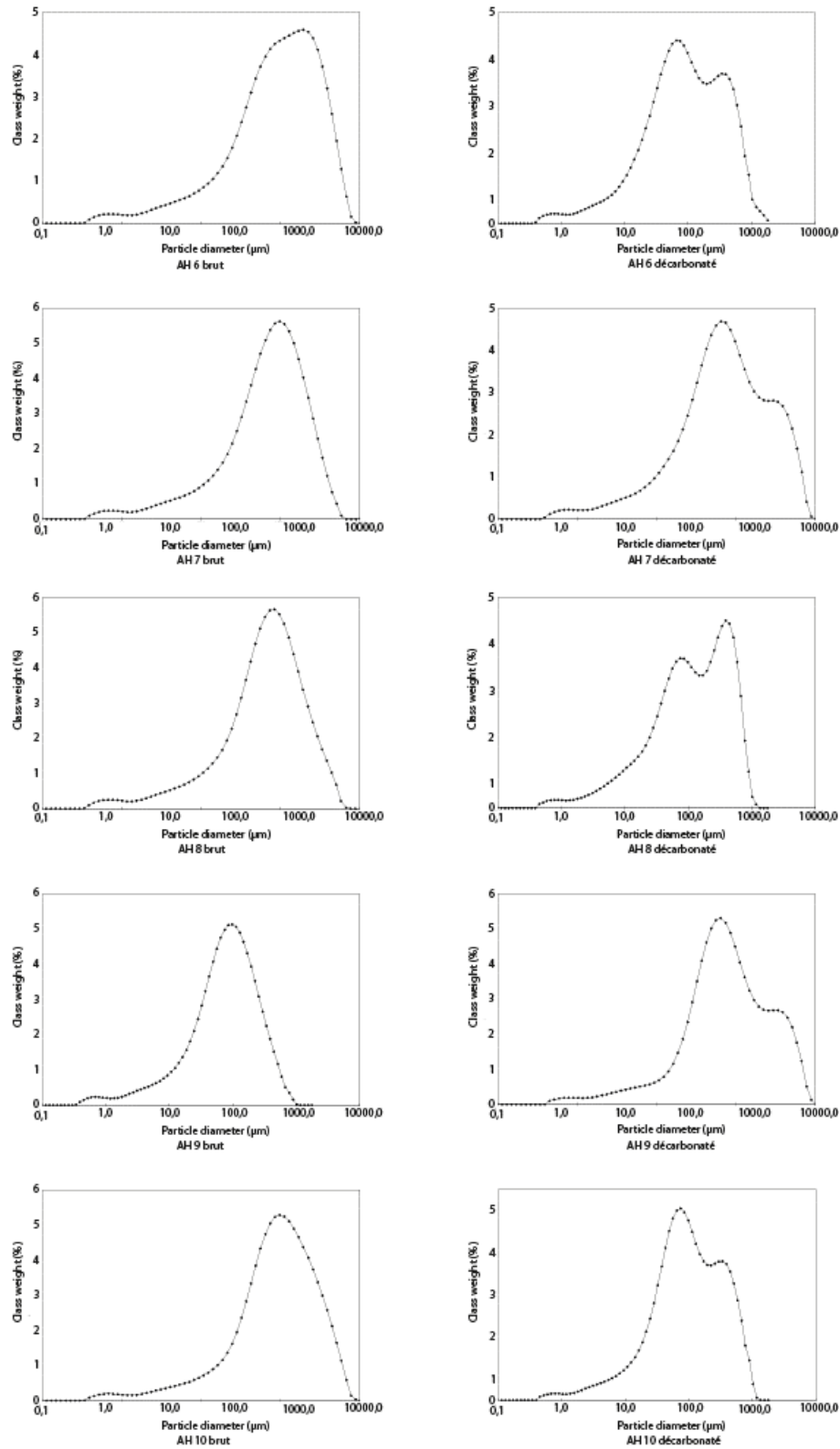


Fig.15 : histogrammes des échantillons 6 à 10 bruts et décarbonatés.

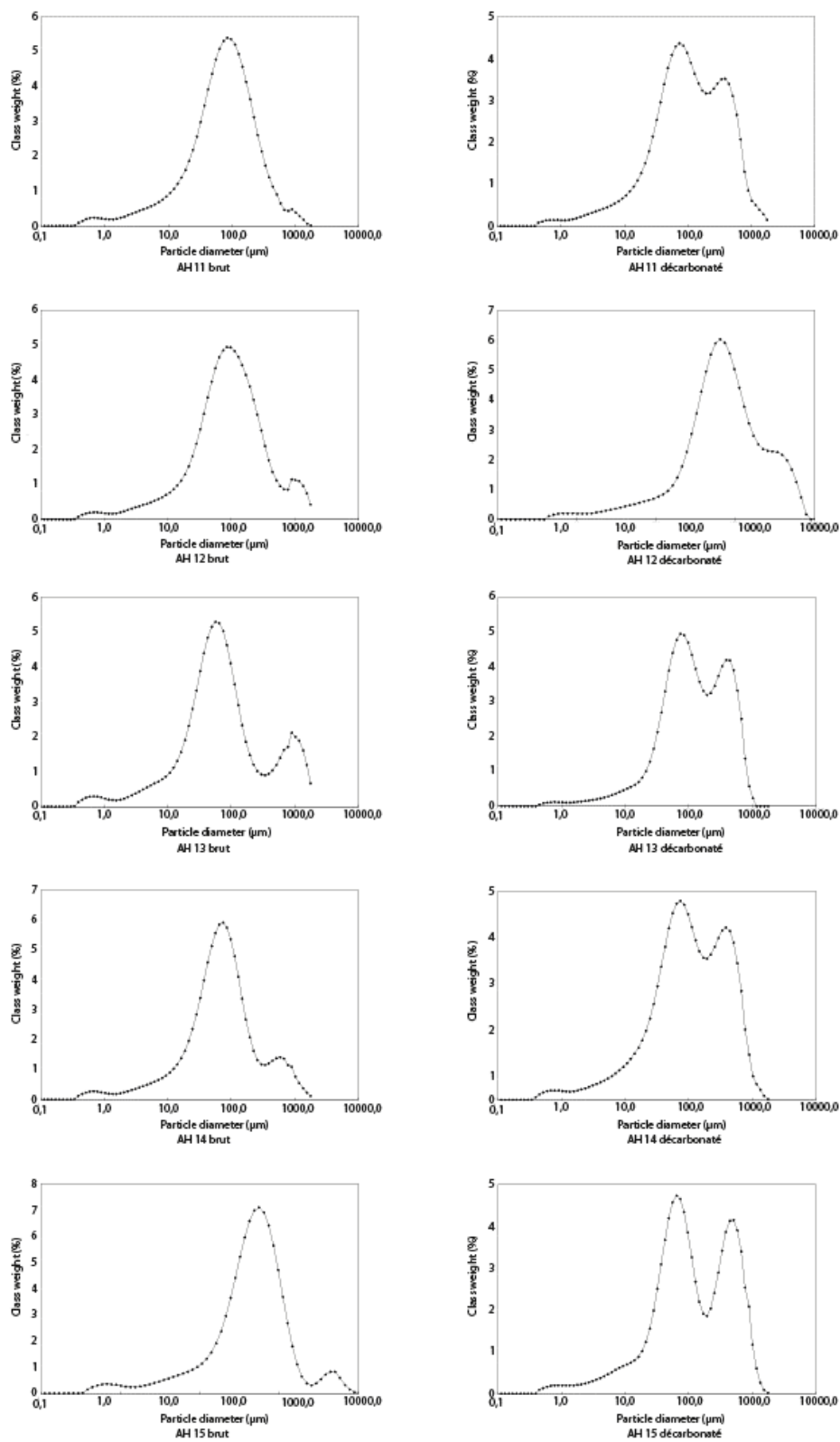


Fig. 16 : histogrammes des échantillons 11 à 15 bruts et décarbonatés.

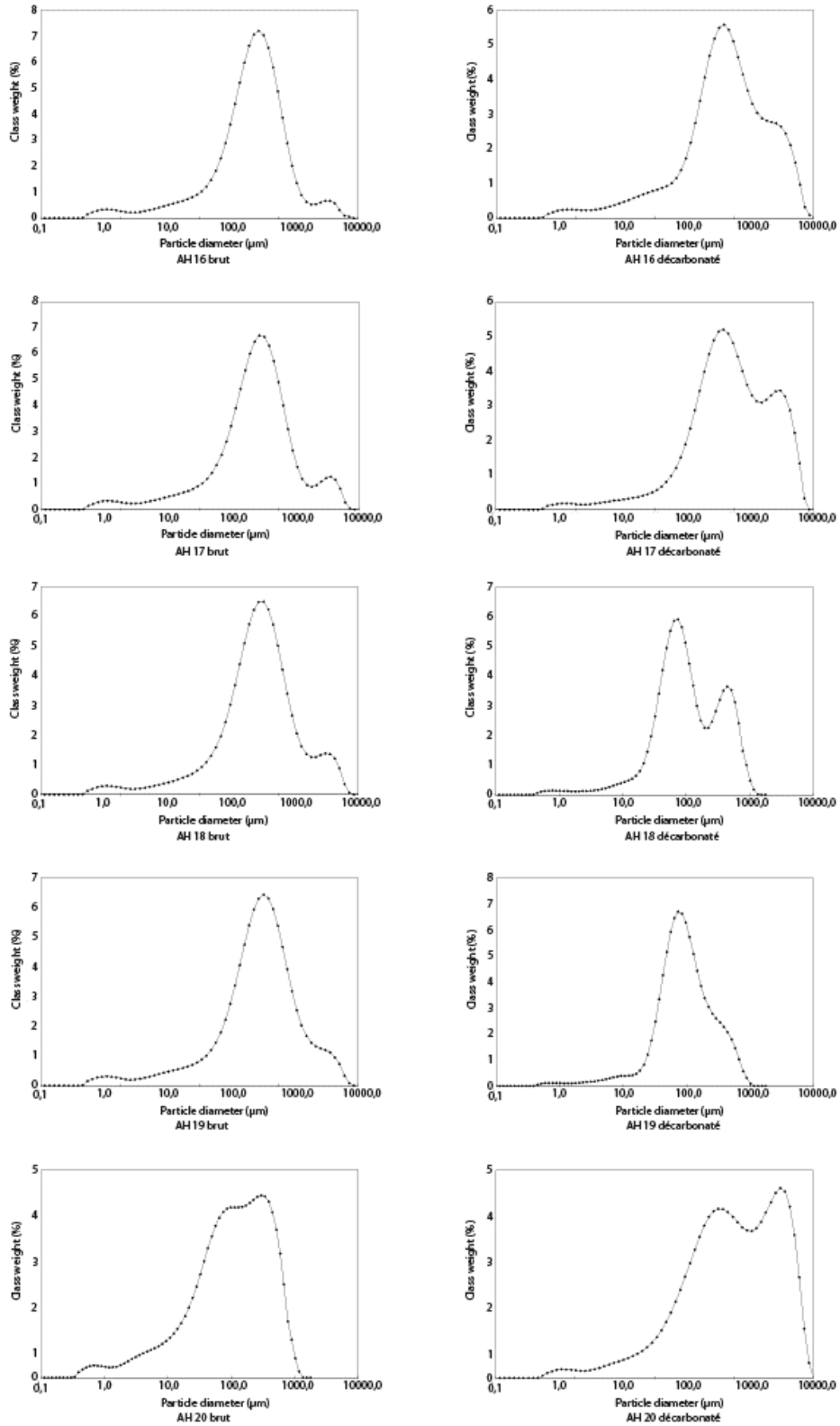


Fig. 17 : histogrammes des échantillons 16 à 20 bruts et décarbonatés.

## 2- Le taux des carbonates dans le sédiment :

Les carbonates, calculés sur la différence entre le sédiment brut total et le sédiment décarbonaté total, ont une évolution très aléatoire avec des écarts importants (6 % dans l'échantillon AH 13) à 44 % dans les échantillons AH 14 et AH 1).

Nous notons cependant une légère similitude entre le taux des carbonates et certains niveaux légèrement enrichis en limons dans le complexe I et une stabilité de ce taux et des limons dans le complexe II. Cette évolution trahit une origine détritique commune des carbonates et des fractions granulométriques dans le complexe supérieur et une origine secondaire dans le complexe inférieur. (Tabl. 3)

Échantillons	%
AH.1	44
AH.2	19
AH.3	13
AH.4	17
AH.5	41
AH.6	25
AH.7	12
AH.8	27
AH.9	36
AH.10	37
AH.11	31
AH.12	25
AH.13	6
AH.14	44
AH.15	26
AH.16	31
AH.17	28
AH.18	36
AH.19	34
AH.20	38

**Tabl. 3:** le pourcentage des carbonates dans les échantillons

### 3- La pH- métrie :

Les mesures du pH des sédiments donnent des valeurs comprises entre 7,31 et 8,66. toutes ces valeurs sont supérieures à 7 ; ce qui indique que le milieu du sol pour tous les échantillons étudiés est un milieu basique (Fig. 12 / Tabl. 4). Ceci permet de créer les conditions favorables à une bonne préservation des restes fauniques (Karkanias et Goldberg, 2019).

Si les valeurs du pH sont très rapprochées, certaines d'entre-elles sont légèrement supérieures à 8 comme cela est le cas dans le complexe II et à partir de la moitié du complexe I, d'autres sont légèrement inférieures à 8 comme indiqué à la base du complexe I. Leur évolution resterait grossièrement comparable à celle des sables grossiers. (Tabl.4)

Échantillons	PH
AH 1	8,08
AH 2	8,05
AH 3	8,34
AH 4	8,36
AH 5	8,29
AH 6	8,41
AH 7	8,28
AH 8	8,31
AH 9	7,31
AH 10	7,89
AH 11	7,82
AH 12	7,78
AH 13	8,45
AH 14	8,66
AH 15	8,51
AH 16	7,99
AH 17	8,28
AH 18	8,57
AH 19	8,46
AH 20	8,49

**Tabl. 4:** résultats de la pH métrie.

#### 4- Minéraux lourds

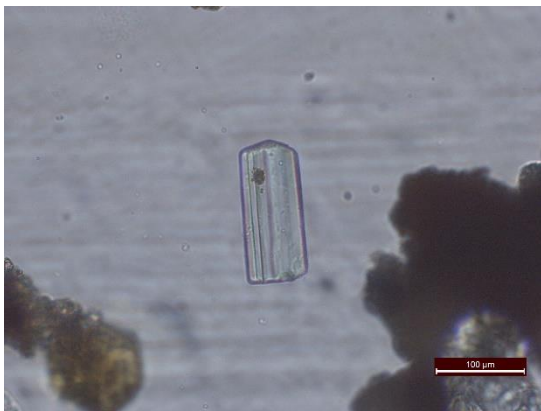
L'observation des échantillons au microscope polarisant n'a pas donné un nombre suffisant de minéraux pour des statistiques fiables. Nous donnons, dans ce qui suit, un aperçu du cortège minéralogique qui compose le sédiment :

Celui-ci est formé par ordre d'importance de minéraux d'origine métamorphique (sillimanite, staurotide, grenat, disthène, clinozoïsite, zoïsite et rutile), d'origine plutonique (sphène, tourmaline, apatite), d'origine volcanique (hyperstène) ou d'origine crustale (zircon).

Nous envisageons dans l'avenir des missions de prospection des formations géologiques environnantes ayant servi de sources à la composition minéralogique des dépôts du site d'Aïn Hanech.

#### Les minéraux obtenus lors de l'observation microscopique

##### AH 3, ML, fraction F III:



**Fig. 18:** AH 3, ML, F III, Apatite

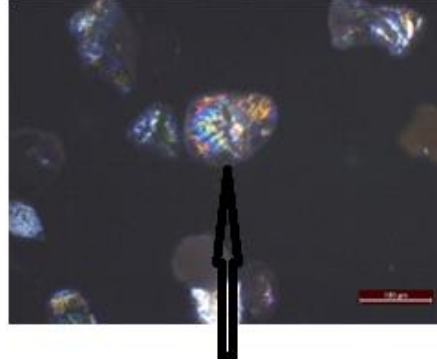


**Fig. 19:** AH 3, ML, F III, Sillimanite

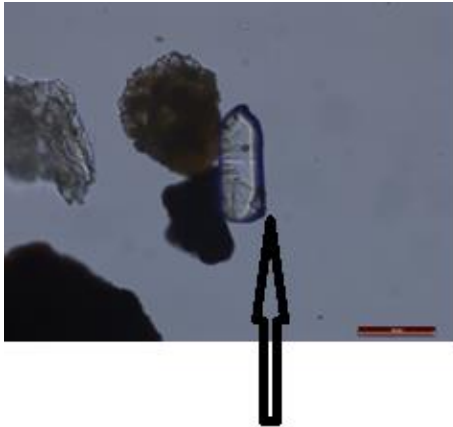
**AH 7, ML, FIII:**



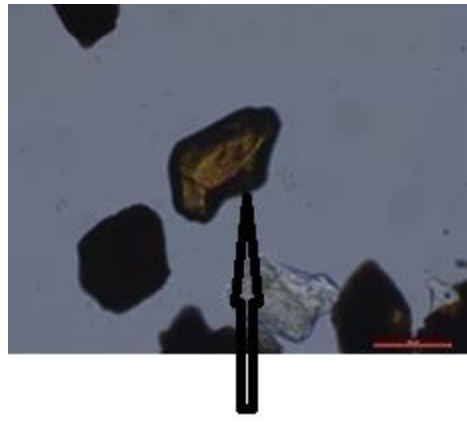
**Fig. 20:** AH 7, ML, FIII, Tourmaline



**Fig. 21:** AH 7, ML, F III, Sphère

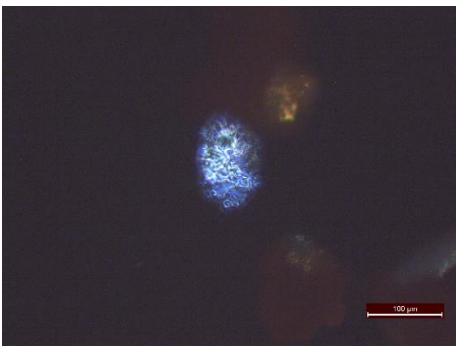


**Fig. 22:** AH 7, ML, F III, Zircon

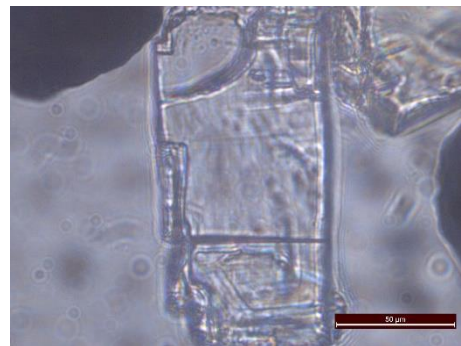


**Fig. 23:** AH 7, ML, F III, Rutile

**AH 15, ML, F III:**



**Fig. 24:** AH 15, ML, F III, Clinzoisite



**Fig. 25:** AH 15, ML, F III, Disthène



Fig. 26: AH 15, ML, F III, Grenat

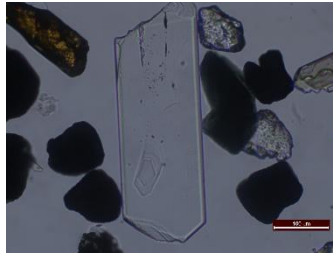


Fig 27: AH 15, ML, F III, Hypersthène

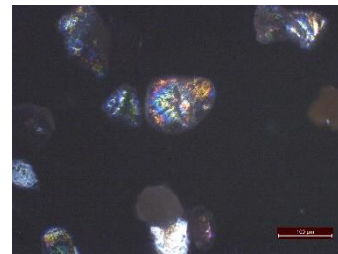


Fig 28: AH 15, ML, F III, Sphène

**AH 19, ML, F III:**

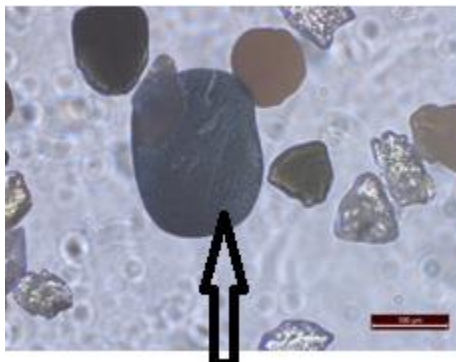


Fig. 29: AH 19, ML, F III, Tourmaline

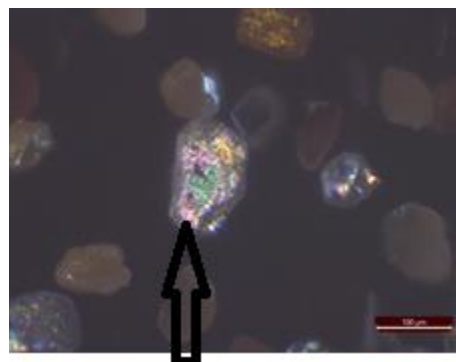


Fig. 30: AH 19, ML, F III, Sphène

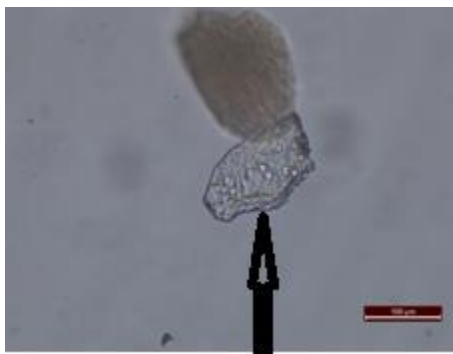


Fig. 31: AH 19, ML, F III, Grenat

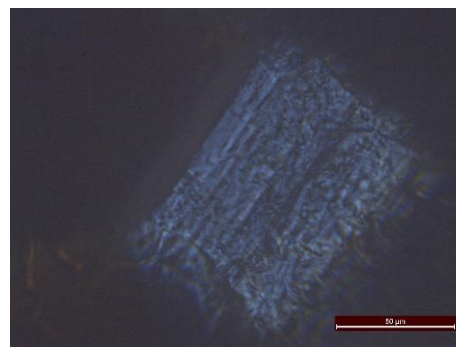


Fig. 32: AH 19, ML, F III, Zoisite

**5- Morphoscopie des grains de quartz :**

L'analyse morphoscopique des grains de quartz de la fraction FI (0,500 – 0,315 mm) révèle les groupes suivants : non-usés luisants, non-usés opaques, émoussés luisants, émoussés opaques et rond-mats.

Les pourcentages des émoussés luisants sont quasiment stables dans le complexe II (entre 55 % pour AH 20 et 59 % pour AH 11). Dans le complexe I, ils connaissent

une forte diminution dans la première moitié (en passant de 29 % dans AH 10 à 15 % dans AH 7) puis enregistrent une augmentation (47 %) en allant vers le sommet. Les non usés luisants sont également relativement stables dans le complexe II avec des pourcentages entre 23 % (AH 18) et 28 % (AH 12), puis augmentent progressivement et nettement vers le milieu du complexe I jusqu'à atteindre 70 % (AH 7) avant de subir une nouvelle chute vers le sommet (9 %) (AH 2).

La même observation concerne les non-usés opaques mais dans le sens inverse. Enregistrant de faibles oscillations dans le complexe II (entre 31 et 24 % AH 12), ils subissent de fortes variations à la base du complexe I (entre 53 % pour AH 10 et 2 % pour AH 9), puis restent stables tout en augmentant légèrement dans la seconde moitié pour atteindre au sommet de la stratigraphie (40 %).

Les ronds mats ne sont présents qu'à la base et au sommet des dépôts avec des proportions importantes (10 % pour AH 19 et 47 % pour AH 1) ainsi qu'au milieu du dépôt avec une timide apparition (3 % pour AH 6).

Les émoussés opaques apparaissent aux sommets de chaque complexe avec des pourcentages minimales (5 % pour AH 13, entre 2 et 4 % pour AH 2 et AH 1).

Notons la présence de quartz bipyramidés dans les non-usés luisants.

Si les proportions des différentes formes restent relativement stables dans le complexe II, leurs évolutions dans le reste des dépôts montrent une dualité entre les non-usés luisants et les non-usés opaques. A la diminution des premiers correspond une augmentation des seconds. Les émoussés luisants sont plus abondants dans le complexe II et au sommet du complexe I alors que les rond-mats et les émoussés opaques ne sont présents qu'aléatoirement (Fig. 33).

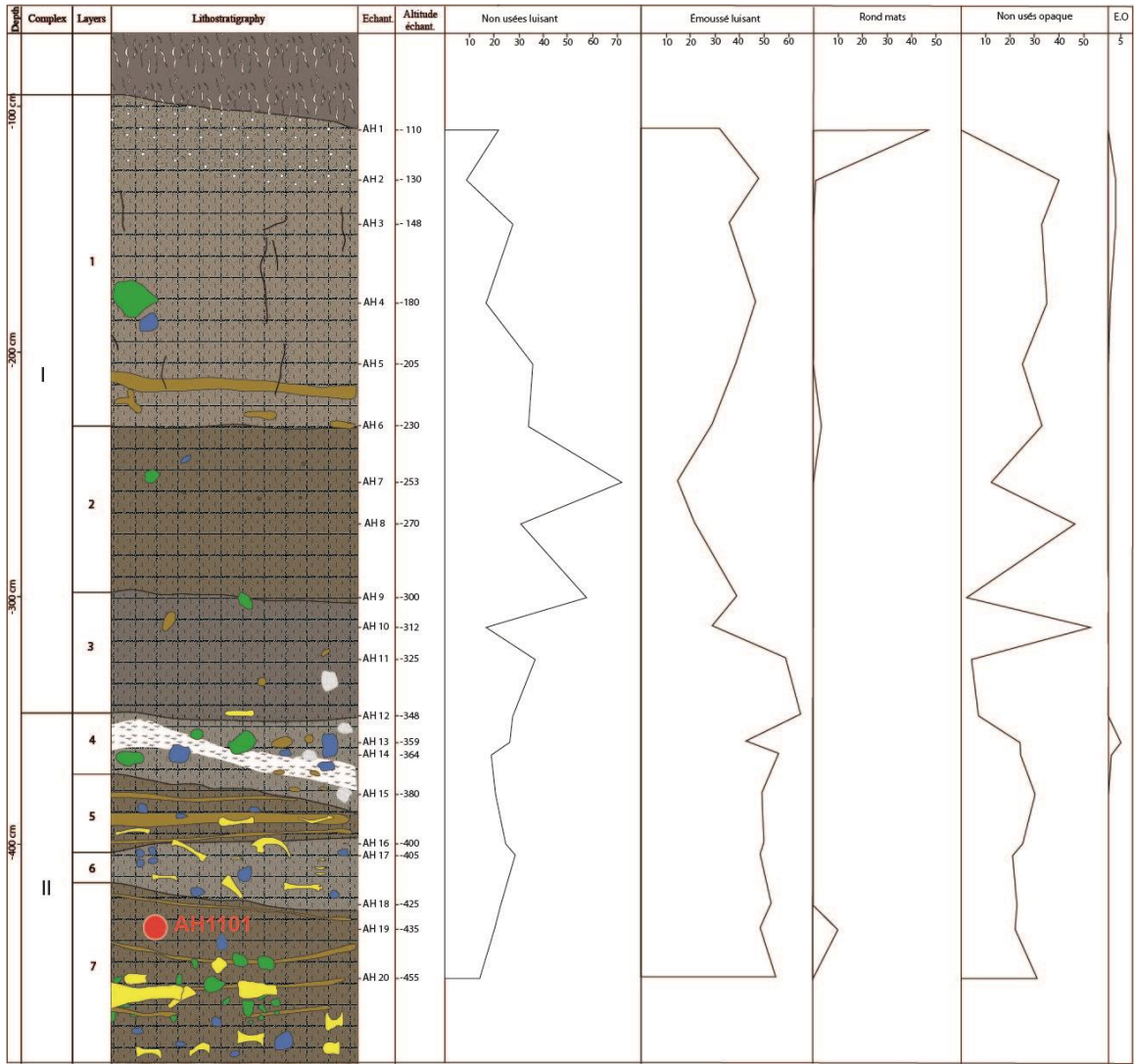
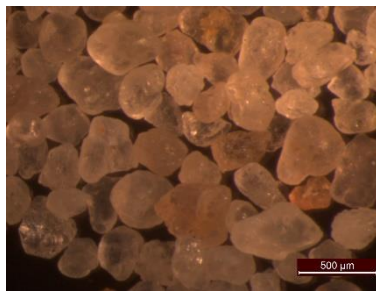


Fig. 33 : diagrammes des résultats de l'étude Morphoscopique des grains de quartz.

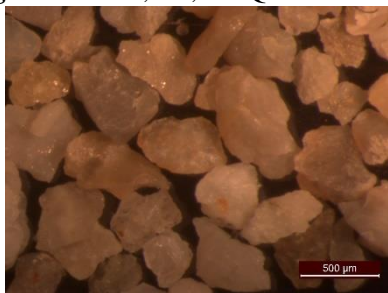
Un exemple des grains de quartz retrouvés :( AH 17, FL, F I)



**Fig. 34:** AH 17, FL, FI: Quartz émoissé mats



**Fig. 35:** AH 17, FL, FI: Quartz émoissé luisant



**Fig 36 :** AH 17, FL, FI: Quartz non usés opaque



**Fig 37:** AH 17, FL, FI: Quartz non usés luisant  
(les flèches indiquent les quartz bipyramidés)

## 4-ème chapitre

### Discussion et conclusion

#### IV- Discussion et conclusion

##### 1- Discussion :

L'analyse granulométrique des éléments  $< 2$  mm montre clairement des dépôts formés majoritairement de fines particules figurées par le sable fin, le sable moyen et les limons. Néanmoins, des changements perceptibles dans le sédiment brut nous permettent de subdiviser les dépôts en deux complexes en ne prenant toutefois en compte que l'évolution des limons et des sables moyens étant donné que les sables fins sont constants et les sables grossiers et les argiles insignifiants.

Le premier complexe, situé entre la base des dépôts et l'altitude -348 cm, est constitué d'un fort pourcentage des limons et d'une faible proportion de sables moyens. Les courbes granulométriques sont unimodales avec un pic principal situé dans les sables fins. Dans le complexe supérieur (de -348 cm jusqu'au sommet du remplissage), nous observons une augmentation des sables moyens et une diminution graduelle des limons. Les courbes granulométriques sont unimodales et bimodales avec un pic principal situé dans les sables fins et un pic secondaire dans les sables moyens.

Lorsqu'on décarbonate les sédiments, nous assistons à un enrichissement des dépôts en sables grossiers. Toutes les fractions granulométriques évoluent en dents de scie et aucune tendance évolutive n'est observée. Les courbes sont unimodales ou bimodales avec des pics en léger décalage vers les particules les plus fines. Cette bimodalité traduit une dominance d'une fraction sur les autres avec des proportions plus ou moins fortes selon que la courbe granulométrique est leptokurtique ou mésokurtique. Enfin, l'étude de la morphoscopie des grains de quartz, faite sur sédiment décarbonaté, fait ressortir une dualité entre les non-usés luisants et les non-usés opaques dans le complexe I et une relative stabilité des différentes formes de grains de quartz dans le complexe II.

Une évolution parallèle du taux des carbonates et les pourcentages des limons dans certains niveaux est observée dans le complexe supérieur mettant en relief une

origine commune de ces deux fractions. Toutefois, dans le complexe inférieur, la carbonatation des dépôts proviendrait de la recristallisation de la calcite ; ce qui explique la structure indurée de ce complexe. La re-précipitation de la calcite s'explique par la stagnation puis l'assèchement d'une eau riche en carbonates suite à une aridification de l'environnement.

## **2- Conclusion :**

Nous discutons, dans ce chapitre, de 1) le type d'environnement de dépôt dans lequel a évolué l'Homme préhistorique de cette époque et 2) la comparaison de ce type d'environnement avec celui enregistré à El Kherba.

Le premier point, qui a commencé sur le terrain, nous a permis, lors du relevé de la coupe stratigraphique, de distinguer deux types de sédiments. Les sédiments grossiers, composés de graviers et de galets, et les sédiments fins, sablo-limono-argileux. Ces deux textures témoignent de changements hydrodynamiques dans leurs mises en place. L'étude sédimentologique, réalisée sur les éléments < 2 mm, révèle que ces derniers se composent d'une forte proportion de sable fin et de sable moyen et d'une présence notable des limons. Les sables grossiers et les argiles étant minoritaires. Les très faibles variations des pourcentages de ces fractions sur toute la hauteur de la coupe, les courbes granulométriques leptokurtiques et mésokurtiques, les paramètres des différents indices, la présence d'une proportion importante de grains de quartz émoussés indiquent une source commune de l'ensemble des éléments. Cette source tire son origine du démantèlement des terrains environnants.

La finesse du sédiment caractérise des dépôts de plaine d'inondation dont on sait qu'ils sont en fait transportés par des vitesses d'écoulement faibles et mis en place par décantation (argiles et limons) ou ruissellement (sables) lors des crues périodiques. Les niveaux à graviers et à galets interstratifiés, définis sur le terrain

signalent des oscillations climatiques secondaires caractérisées par des courants de moyenne à forte énergie.

Ces traits sédimentaires caractérisent globalement un climat tempéré évoluant vers une aridification ponctuée par des précipitations pendant les saisons des pluies.

Le deuxième point nous rappelle que cet environnement évoque celui enregistré à la fin de l'occupation du site d'El-Kherba, daté de 1,78 Ma et distant d'une centaine de mètres. Les études sédimentologiques et micromorphologiques menées sur ce site révèlent, à l'inverse d'Aïn Hanech, une diminution des sables de la base au sommet du remplissage et leur remplacement progressif par des silts et des argiles (Abdessadok et al., 2022). D'autres études, entreprises dans ce même site, comme les analyses isotopiques des carbonates qui suggèrent une augmentation temporelle d'un paysage ouvert et d'aridification (Sahnouni et al., 2011) et de paléontologie qui atteste de la présence d'une faune composée de bovins plus hypsodontes, de l'abondance des équidés, et de la disparition de petites antilopes plus adaptées à un habitat moins ouvert (Sahnouni et al., 2011) ont conclu à une transition graduelle d'un climat tempéré à un climat aride (S. Abdessadok et al., 2022).

Les traces d'occupations humaines sont attestées par trois sols archéologiques (A, B et C). Le niveau C est corrélé à la partie inférieure de la couche TVII ; le niveau B à la partie supérieure de la couche TVII et le niveau A est associé aux couches TV et TIV (Figure .3). Ces trois niveaux contiennent des ossements de grande faune et des artefacts lithiques dans un excellent état de conservation. La préservation de ces données archéologiques n'a été possible qu'à la faveur de ces conditions paléoenvironnementales qui ont créé les conditions favorables à un enfouissement rapide du matériel archéologique.

---

**Perspectives :**

- Approfondir l'étude sur les minéraux lourds et projeter des prospections à la recherche des formations géologiques environnantes ayant servi de sources à la composition minéralogique des dépôts du site d'Aïn Hanech.
- Faire une analyse micromorphologique pour la même séquence stratigraphique.
- Procéder à des comparaisons plus détaillées au niveau local : entre les localités du site, régional : avec d'autres sites de même formation et de même période ou continental : avec d'autres sites en Afrique de l'Est par exemple.

**Bibliographies :**

- Abdessadok.S., Sahnouni.M., Harichane.Z., Mazouni.N., Chelli Cheheb.R., Mouhoubi.Y., Chibane.S., and Pérez-González.A.(2022). The Sedimentary Context of El Kherba Early Pleistocene Oldowan Site, Algeria: Sediment and Soil Micromorphology Studies. *Front. Earth Sci.*10: 893473.doi : 10.3389/feart.2022.893473
- Arambourg. C. (1949). Sur la présence dans le Villafranchien d'Algérie de vestiges éventuels d'industrie humaine. *Comptes Rendus Académie des Sciences* 229,66-67.
- Arambourg, C.(1970). Les vertèbres du Pléistocène de l'Afrique du Nord.*Archives du Museum national d'Histoire naturelle, 7th series* 10, 1e126 pls. 1-24.
- Blott, S. J., and Pye, K. (2006). Gradistat: A Grain-Size Distribution and Statistic Package for the Analysis of Unconsolidated Sediments. *Earth Surf. Process.Landforms* 26, 1237–1248. doi:10.1002/esp.261
- Demdoun, A. (2010). Étude hydrogéochemique et impact de la pollution sur les eaux de la région d'El Eulma. Doctoral Thesis. Constantine, Algeria : Université Mentouri.
- Djenba, S. (2015). Influence des paramètres géologique, géomorphologique et hydrogéologique sur le comportement mécanique des sols de la wilaya de Sétif (Algérie). Doctoral Thesis. Biskra, Algeria : Université Mohamed Kheider.
- Duval,M., Sahnouni, M., Parés, J.M., Van der Made, J., Abdessadok, S., Harichane, Z., et al. (2021). The Plio-Pleistocene Sequence of Oued Boucherit (Algeria): A Unique Chronologically Constrained Archaeological and Palaeontological Record in North Africa.*Quat.Sci.Rev.*271, 107–116.doi: 10.1016/j.quascirev.2021.107116.

- 
- Folk, R.L. and Ward, W.C. (1957) A Study in the Significance of Grain-Size Parameters. *Journal of sedimentary petrology*, 27, 3-26. <https://doi.org/10.1306/74D70646-2B21-11D7-8648000102C1865D>
  - Karkanas, P., and Goldberg, P. (2019). *Reconstructing Archaeological Sites. Understanding the Geoarchaeological Matrix*". Chichester : John Wiley & Sons.
  - Miskovsky, J. C., and Debar, E. (2002). "Granulométrie des sédiments et étude de leur fraction grossière," in *Géologie de la Préhistoire : Méthodes, techniques, applications*. Editor J. C. Miskovsky (Paris: Géopré, Presses Universitaires de Perpignan), 480–501.
  - Pares, J.M., Sahnouni, M., Van der Made, J., Perez-Gonzalez, A., Harichane, Z., Derradji, A., Medig, M.(2014). Early human settlements in northern Africa: paleomagnetic evidence from the Ain Hanech Formation (northeastern Algeria). *Quat. Sci. Rev.* 99, 203e209.
  - Sahnouni, M. (1998). The Site of Ain Hanech revisited new investigations at this Lower pleistocene site in northern Algeria: *Journal of Archaeological Science*. p1.
  - Sahnouni, M., and de Heinzelin, J. (1998). The Site of Ain Hanech Revisited: New Investigations at This Lower Pleistocene Site in Northern Algeria. *J. Archaeol. Sci.* 25, 1083–1101. doi:10.1006/jasc.1998.0278
  - Sahnouni, M., Hadjouis, D., Van der Made, J., Derradji, A.-E.-K., Canals, A., Medig, M., Belahrech, H., Harichane, Z., Rabhi, M. (2002). Further research at the oldowan site of Ain Hanech, north-eastern Algeria. *J. Hum. Evol.* 43 (6), 925e937
  - Sahnouni, M., Hadjouis, D., van der Made, J., Derradji, A., Canals, A., Medig, M., Belahrech, H., Harichane, Z., Rabhi, M.(2004a). On the earliest human occupation in North Africa: a response to Geraads et al. *J. Hum. Evol.* 46, 763e775.

- 
- Sahnouni, M., Hadjouis, D., Van der Made, J., Derradji, A.-e.-K., Canals, A., Medig, M., Belahrech, H., Harichane, Z., Rabhi, M. (2004b). On the earliest human occupation in North Africa: a response to Geraads et al. *J. Hum. Evol.* 46 (6), 763e775.
  - Sahnouni, M. (2006). Les plus vieilles traces d'occupation humaine en Afrique du Nord : Perspective de l'Ain Hanech, Algérie. *C. R. Palevol* 5.
  - Sahnouni, M. J., and Van der Made, J. (2009). "The Oldowan in North Africa within a Biochronological Framework," in *The Cutting Edge: New Approaches to the Archaeology of Human Origins*. Editors N. Toth and K. Schick (Bloomington : Stone Age Institute Press), 179–210.
  - Sahnouni, M., Van der Made, J., and Everett, M. (2011). Ecological Background to Plio-Pleistocene Hominin Occupation in North Africa: The Vertebrate Faunas from Ain Boucherit, Ain Hanech and El-Kherba, and paleosol stable- carbon-Isotope studies from El Kherba, Algeria. *Quat. Sci. Rev.* 30, 1303-1317. doi: 10.1016/j. quascirev. 2010.01.002.
  - Sahnouni, M., Parés, J. M., Duval, M., Cáceres, I., Harichane, Z., Van der Made, J., et al. (2018). 1.9-million- and 2.4-Million-Year-Old Artifacts and Stone Tool–Cutmarked Bones from Ain Boucherit, Algeria. *Science*, 362 (6420), 1297130. doi:10.1126/science.Aau0008.
  - Vatan, A. (1967). *Manuel de sédimentologie*, Edition : Technip, Paris.
  - Van der Made, J. et Sahnouni, M. (2013). Updated Plio-Pleistocene faunal lists for Ain Boucherit, Ain Hanech, and El Kherba sites, Algeria," in *Proceedings of the International Symposium: Africa, Cradle of Humanity, Recent Discoveries*, M. Sahnouni, Ed. (Centre National de Recherches Préhistoriques, Anthropologiques et Historiques, 2013)
  - Weston E., Boisserie J.R. (2010). Hippopotamidae. in: L. Werdelin, W.J. Sanders (Ed.), *Cenozoic Mammals of Africa*. University of California Press Berkeley, Los Angeles & London.

**Liste des figures :**

Figures	Titre	Page
Figure 1	Position géographique du site Oldowayen d'Ain Hanech (Après modification de Sahnouni et al.,2018 ; Abdessadok et al. 2022).	4
Figure 2	Contexte géologique. A : Carte structurale du nord de l'Algérie. L'emplacement du bassin de Beni Fouda (près de Sétif) (Duval et al., 2021), B : Géologie du bassin de Beni Fouda. La localisation de la zone d'étude (Ain Hanech) dans le bassin est indiquée par un carré (redessinée d'après la carte géologique d'El-Eulma, 1/50 000, 1977).	5
Figure 3	Log stratigraphique relevé sur le site d'Ain Hanech dans le secteur du block I, dans les carrés Q, R et S.	9
Figure 4	Canine male de <i>Kolpochoerus heseloni</i> supérieure droite d'Ain Hanech (MNHN-1948-1-159) : a) lingual ou ventral, b) antérieur, c) buccale ou dorsale et d) vues postérieures et e) section. (Van der Made.J et Sahnouni, M.2013).	11
Figure 5	Industrie oldowayenne d'Ain Hanech (Sahnouni et de Heinzelin, 1998)	14
Figure 6	Le granulomètre laser Mastersizer 2000.	18
Figure 7	Système de la séparation des minéraux	19
Figure 8	Préparation des lames pour minéraux	19
Figure 9	Séchage des lames.	19
Figure 10	Le microscope polarisant utilisé dans l'étude morphoscopique	20
Figure 11	Le matériel utilisé pour la pH-métrie.	21
Figure 12	Diagramme des résultats granulométrique des sédiments bruts, des carbonates et du pH.	25

Figure 13	Diagramme des résultats granulométrique des sédiments décarbonatés.	26
Figure 14	Histogrammes des échantillons 1 à 5 bruts et décarbonatés	30
Figure 15	Histogrammes des échantillons 6 à 10 bruts et décarbonatés	31
Figure 16	Histogrammes des échantillons 11 à 15 bruts et décarbonatés	32
Figure 17	Histogrammes des échantillons 16 à 20 bruts et décarbonatés	33
Figure 18	Minéraux lourds : AH 3, ML, F III, Apatite	35
Figure 19	Minéraux lourds : AH 3, ML, F III, Sillimanite	35
Figure 20	Minéraux lourds : AH 7, ML, FIII, Tourmaline	36
Figure 21	Minéraux lourds : AH 7, ML, F III, Sphène	36
Figure 22	Minéraux lourds : AH 7, ML, F III, Zircon	36
Figure 23	Minéraux lourds : AH 7, ML, F III, Rutile	36
Figure 24	Minéraux lourds : AH 15, ML, F III, Clinozoisite	36
Figure 25	Minéraux lourds : AH 15, ML, F III, Disthène	36
Figure 26	Minéraux lourds : AH 15, ML, F III, Grenat	37
Figure 27	Minéraux lourds : AH 15, ML, F III, Hypersthène	37
Figure 28	Minéraux lourds : AH 15, ML, F III, Sphène	37
Figure 29	Minéraux lourds : AH 19, ML, F III, Tourmaline	37
Figure 30	Minéraux lourds : AH 19, ML, F III, Sphène	37
Figure 31	Minéraux lourds : AH 19, ML, F III, Grenat	37
Figure 32	Minéraux lourds : AH 19, ML, F III, Zoisite	37
Figure 33	Diagrammes des résultats de l'étude Morphoscopique des grains de quartz.	39
Figure 34	Quartz émoussé mats : AH 17, FL, FI	40
Figure 35	Quartz émoussé luisant : AH 17, FL, FI	40
Figure 36	Quartz non usés opaque : AH 17, FL, FI	40
Figure 37	Quartz non usés luisant : AH 17, FL, FI	40

**Liste des tableaux :**

Tableaux	Titre	Page
Tableau 1	La faune de site d'Ain Hanech (Sahnouni et al., 2018.après modification)	12
Tableau 2	La pH-métrie pour chaque milieu	21
Tableau 3	Le pourcentage des carbonates dans les échantillons	29
Tableau 4	Résultats de la pH métrie	34