



Università degli Studi di Ferrara

DOTTORATO DI RICERCA IN

SCIENZE E TECNOLOGIE PER L'ARCHEOLOGIA E I BENI
CULTURALI

CICLO XXIII

COORDINATORE Prof. CARLO PERETTO

Stratigraphie et Sédimentation au Sud Est de Dôme de Sangiran : l'environnement des Homo erectus au début de Pléistocène Moyen

Settore Scientifico Disciplinare L-ANT/01

Dottorando

Dott. Andri Purnomo

Tutore

Prof. François Sémah

(firma)

(firma)

Anni 2008/2013

Remerciements

Je souhaite commencer ce mémoire en rendant hommage aux différentes personnes ayant contribué à sa réalisation.

Carlo Peretto, énormément, pour m'avoir permis d'étudier à l'*Università degli Studi di Ferrare* en Italie et m'avoir permis d'une bourse de la Gouvernement de l'Italie. Je voudrais aussi remercier Marta Arzarello, Ursula Thun H., Cecilia Buonsantono, Julie Arnaud pour leur accueil, leur aide inconditionnelle et leur immense gentillesse lors de mes séjours à Ferrare. Je ne les oublie jamais.

François Sémah, infiniment, pour m'avoir permis, avec Anne-Marie Sémah, d'étudier le site de PCTS (Pucung Tanah Subur), ainsi que pour m'avoir accueilli avec Harry Widiyanto au sein de la Mission Quaternaire et Préhistoire en Indonésie pour la recherche à Sangiran.

Je voudrais aussi remercier profondément Tony Djubiantono, ancien Directeur du Puslitarkenas à Pejaten de Jakarta, pour m'avoir permis de travailler au Puslitarkenas. Egalement, Bambang Sulistyanto, successeur et ancien adjoint de Pak Tony, Pak Truman Simanjuntak, et Mas Wahyu Saptomo, qui m'ont toujours reçu et conseillé à Pejaten.

Je tiens à exprimer ma gratitude au programme PREHSEA, qui m'a donné possibilité de continuer mes études à Sangiran.

Je souhaite remercier les différents membres du jury pour avoir accepté l'invitation.

Je tiens à exprimer ma gratitude à Carmela Vaccaro du Département de Géologie, pour tous ses conseils et l'expérience dont elle m'a fait profiter. Egalement, je voudrais à exprimer ma gratitude à Mirella et à l'équipe de laboratoire du département de Géologie de l'université de Ferrara, à Rita Bovolenta, et au Laboratoire de Microscope SEM du Centre du Chimique et Biochimique de UNIFE.

Je voudrais aussi exprimer ma gratitude à l'équipe de la Mission Quaternaire et Préhistoire en Indonésie, composée par des chercheurs français et indonésiens. En particulier Harry Truman Simanjuntak pour m'avoir soutenu et pour sa gentillesse. Je remercie vivement Anne Marie_Moigne, Dominique Grimaud-Hervé, Christophe Falguères et Chafika Falguères, Aicha Badou, Salah Abessadok.

A Sangiran, je remercie tous mes collègues et amis du Sangiran Early Man Site Conservation Office (BPSMPS) et du Service touristique du Musée de Sangiran : M. Hidayat, Iwan, Gunawan, Rusmulya, Wibowo, Eko, et les autres.

Parmi les jeunes chercheurs en préhistoire, je tiens à saluer, Antoine Balzeau, Abikusno, Antony Borel, M. Mirza Ansyori, Anne Bouteaux, Boris Brasseur, Florent Detroit, M. Ruly Fauzie, Xin Feng, Han Fei, Matthieu Lebon, Xavier Gallet, Sofwan Noerwidi, Simon Puaud, Andjarwati Sri Sayekti, Donan Satria Yudha, Thomas Ingicco et Archie Tiauzon.

Je pense particulièrement à Budiman, Kasman Setiagama, Diah Prastiningtyas, et Shadust pour leur soutien durant la dernière phase difficile de la thèse.

Je pense également aux villageois du site de Sangiran et en particulier à la famille de Subur à Krikilan, la famille de Widji à Pucung, Mbok Nah, Pakde Diro, Adi, et Jumadi.

Enfin je remercie en particulier Sandra pour son soutien indéfectible, et donc Louisa et Ticia. Je tiens à remercier très profondément ma famille pour m'avoir toujours encouragé et soutenu dans mes projets : la famille de Kalimalang et la famille de Penggilingan.

SOMMAIRE

	PAGE
Remerciement	<i>i</i>
Sommaire	<i>iii</i>
CHAPITRE I : Introduction	1
I.1. Introduction	2
I.2. Le Dôme de Sangiran	3
I.2.1. Approche générale	3
<i>I.2.1.1. Une fenêtre sur l'histoire de la dépression de Solo durant le Quaternaire</i>	3
<i>I.2.1.2. Les recherches de van Es</i>	3
<i>I.2.1.3. Les recherches de von Koenigswald</i>	3
I.2.2. Un site fondamental pour l'histoire de l'Homme au Quaternaire	7
I.2.3. Importance scientifique du site	7
<i>I.2.3.1. Des études pluridisciplinaires</i>	7
<i>I.2.3.2. Les différents hominidés</i>	8
<i>I.2.3.3. Les découvertes des faunes</i>	10
<i>I.2.3.4. Archéologie préhistorique</i>	12
I.3. Quelques Questions Propres aux Études Geologiques et Archéologiques à Sangiran	15
I.3.1. Relation entre les fossiles et la nature des sites	15
I.3.2. Corrélations stratigraphiques entre les différents sites	16
I.4. Notes sur le Grenzbank et les Couches de Kabuh	17
I.4.1. Description	17
I.4.2. Affleurements de Kabuh dans la partie sud-est du dôme de Sangiran (région de Pucung)	17
<i>I.4.2.1. La zone du Grenzbank à Dayu</i>	7
<i>I.4.2.2. La position stratigraphique de Sangiran</i>	18
<i>I.4.2.3. Les travaux du Professeur Jacob dans la région de Pucung.</i>	18
<i>I.4.3.4. Le site Pucung PCTS (PuCung Tanah Subur)</i>	18
I.5. Objectifs de l'étude et plan de la these	19
I.5.1. Objectifs	19
I.5.2. Plan de la thèse	20

CHAPITRE II : L'Histoire des premiers peuplements insulaires au croisement du volcanisme, de la tectonique, du climat et des paysages	21
II.1. L'île de Java sur l'arc et le plateau de la Sonde	22
II.1.1. Sunda, Sahul et l'arc de la Sonde	22
II.1.2. L'île de Java à l'extrémité sud du Plateau de la Sonde	27
<i>II.1.2.1. Eustatisme</i>	28
<i>II.1.2.2. Climat et paysage</i>	30
II.1.3. La genèse de l'île de Java	32
II.1.4. L'île de Java au Pliocène et au Quaternaire	34
II.1.5. Les volcans de l'île de Java	36
II.1.6. Les paléoenvironnements de Java au Quaternaire	39
<i>II.1.6.1. Le climat de Java</i>	39
<i>II.1.6.2. Les formations végétales</i>	41
<i>II.1.6.3. Climats et végétations du passé</i>	43
II.1.7. Le peuplement de Java au Quaternaire	46
<i>II.1.7.1. Le peuplement d'une île en formation</i>	46
<i>II.1.7.2. Le cadre biostratigraphique de Java</i>	47
II.2. La Depression de Solo dans L'île de Java	50
II.2.1. Le contexte de la dépression de Solo	50
II.2.2 Les collines de Kendeng	53
<i>II.2.2.1. Formation des collines</i>	53
<i>II.2.2.2. Sites paléontologiques des Kendeng de Java est</i>	54
<i>II.2.2.3. Sites paléontologiques des Kendeng de Java central</i>	56
II.2.3. Les Montagnes du sud	57
II.2.4. L'activité volcanique et la formation des dômes dans la dépression de Solo	59
<i>II.2.4.1. Les volcans</i>	59
<i>II.2.4.2. Les dômes de la dépression</i>	59
<i>II.2.4.3. La formation des dômes</i>	60
II. 2.5 L'évolution des paysages dans la dépression de Solo près de Sangiran	62
II.3. Le Dôme de Sangiran	65
II.3.1. Le dôme de Sangiran	65
II.3.2. La série stratigraphique du dôme	68
<i>II.3.2.1. Définitions et terminologie</i>	68
<i>II.3.2.2. La série stratigraphique</i>	69

II.3.3. Découvertes paléanthropologiques et archéologiques	74
<i>II.3.3.1. Les fossiles anthropologiques du Pléistocène inférieur et moyen</i>	74
<i>II.3.3.2. Les découvertes archéologiques à Sangiran</i>	77
CHAPITRE III : La zone étudiée : Le transect Dayu – Pucung	80
III.1. Le Grenzbank et les Couches de Kabuh á Sangiran	81
III.1.1. Historique des recherches	81
<i>III.1.1.1. Une approche simplifiée à l'origine</i>	81
<i>III.1.1.2. Historique des travaux sur le Grenzbank et Kabuh</i>	82
III.1.2. Variations régionales et latérales, corrélations	83
<i>III.1.2.1. Variations régionales et latérales du Grenzbank</i>	83
<i>III.1.2.2. Variations régionales et latérales des couches de Kabuh</i>	88
<i>III.1.2.3. Datations</i>	90
<i>III.1.2.4. Conclusion relative à l'intérêt de l'étude</i>	91
III.2. L'Intérêt du Transect Dayu-Pucung	92
III.2.1. La rivière (<i>Kali</i>) Pucung	92
III.2.2. Les principaux sites stratigraphiques, paléontologiques et archéologiques	95
<i>III.2.2.1. Les fouilles de la zone de Dayu</i>	95
<i>III.2.2.2. Le site du Pithécanthrope VIII (Sangiran 17)</i>	97
<i>III.2.2.3. Tranchées et fouilles intermédiaires entre les villages de Dayu et de Pucung</i>	97
III.2.3. Le site PCTS	99
III.2.4. L'intérêt de l'étude du transect Dayu-Pucung	101
III.3. Approche de Terrain	103
III.3.1. Prospection	103
III.3.2. Les outils cartographiques utilisés	106
<i>III.3.2.1. La feuille SB 49-15 de l'armée US</i>	106
<i>III.3.2.2. La carte du site du Patrimoine Mondial</i>	108
<i>III.3.2.3. Les cartes géologiques</i>	110
<i>III.3.2.4. Autres documents de base</i>	114
<i>III.3.2.5. Mesures</i>	116
III.3.3. Les caractères structuraux	115
III.3.4. Reconnaissance des faciès et objectifs cartographiques	120

III.4. La Carte de Dayu-Pucung et sa signification	121
III.4.1. Documents topographiques 2D et 3D	121
<i>III.4.1.1. Carte du dôme</i>	121
<i>III.4.1.2. Carte du transect</i>	121
<i>III.4.1.3. Le site PCTS</i>	125
III.4.2. Fond topographique de travail	128
III.5. Aspects Structural et Géologique	130
III.5.1. Profil structural	130
<i>III.5.1.1. Calcul des pendages</i>	130
<i>III.5.1.2. Résultats et interprétation</i>	133
III.5.2. Profil géologique	136
<i>III.5.2.1. Préparation du profil</i>	136
<i>III.5.2.2. Intérêt du profil</i>	136
CHAPITRE IV : Les faciès sédimentaire : Choix, relevé et observation des coupes stratigraphiques étudiées et des sites fouillés	139
IV.1. Les Principales Séries Sédimentaires	140
IV.1.1. La série stratigraphique du transect	140
IV.1.2. La série de la zone structurale 3	140
IV.1.3. La série de la zone structurale 2	141
IV.1.4. La série de la zone structurale 1	141
IV.1.5. Interprétation générale	142
IV.2. Les Coupes Sélectionnées et Leur Échantillonnage	144
IV.2.1. La coupe 'section 4'	144
IV.2.2. La coupe 'chemin de Pucung'	146
IV.2.3. La coupe 'section 2'	149
IV.2.4. La coupe 'terrain Wiji'	152
IV.2.5. La coupe du site PCTS	155
IV.3. La Fouille du Site PCTS et Les Coupes Stratigraphiques Associées	156
IV.3.1. Le site de PCTS et sa protection	156
IV.3.2. La campagne de terrain 2009	159
<i>IV.3.2.1. Stratigraphie</i>	159
<i>IV.3.2.2. Archéologie</i>	161
IV.3.3. La campagne de terrain de janvier 2011	166

IV.3.4. La campagne de terrain de décembre 2011	172
<i>IV.3.4.1. La fouille</i>	172
<i>IV.3.4.2. Tranchée d'observation stratigraphique</i>	176
IV.4. Caractères Archéologiques du Site PCTS	178
IV.4.1. Les répartitions en plan	178
IV.4.2. Les concentrations verticales	182
<i>IV.4.2.1. Le sondage KI</i>	182
<i>IV.4.2.2. Le sondage KII</i>	185
<i>IV.4.2.3. La zone fouillée en janvier 2011</i>	187
<i>IV.4.2.4. La zone fouillée en décembre 2011</i>	189
IV.4.3. Restes fauniques et restes humains	192
<i>IV.4.3.1. Nombre et concentration des fossiles</i>	192
<i>IV.4.3.2. Détermination</i>	192
<i>IV.4.3.3. Taphonomie</i>	192
<i>IV.4.3.4. Les fossiles humains</i>	194
IV.4.4. Les artefacts	196
<i>IV.4.4.1. Les bolas en surface</i>	196
<i>IV.4.4.2. Les bolas découvertes en fouille</i>	196
<i>IV.4.4.3. Les autres artefacts</i>	197
CHAPITRE V : Les analyses effectuées	199
V.1. Analyses Granulométriques	200
V.1.1. Echantillonnage	200
V.1.2. Méthode d'analyse	201
<i>V.1.2.1. Préparation des échantillons</i>	201
<i>V.1.2.2. Résultat de la mesure</i>	201
V.1.3. Observations et calculs associés	202
<i>V.1.3.1. Observation des courbes</i>	202
<i>V.1.3.2. Indice d'évolution granulométrique total</i>	202
<i>V.1.3.3. Indices de classement et d'assymétrie de Trask</i>	204
V.1.4. Résultats concernant les couches argilo-tufacées	204
V.1.5. Résultats concernant les coupes 'section 4' et 'section 2'	207
<i>V.1.5.1. Section 4</i>	207
<i>V.1.5.2. Section 2</i>	209
V.1.6 Résultats concernant les coupes 'section 1' et 'fouille janvier 2011' du site PCTS et sites voisins	212

V.1.6.1. <i>La coupe 'section 1'</i>	212
V.1.6.2. <i>La coupe 'janvier 2011'</i>	215
V.1.6.3. <i>Sites voisins</i>	217
V.1.7. Conclusion sur les études granulométriques	220
V.2. Approche descriptive des Sédiments et des Roches	223
V.2.1. Les sédiments des couches fossilifères	
V.2.1.1. <i>Nature des blocs de tuf</i>	223
V.2.1.2. <i>Taphonomie des graviers de tuf</i>	224
V.2.2. Les roches volcaniques et allochtones	227
V.2.2.1. <i>Pétrographie des roches volcaniques</i>	227
V.2.2.2. <i>Représentation des roches dans les sédiments</i>	228
V.2.3. Les couches sableuses	230
V.3. Chimie et Minéralogie	232
V.3.1. Analyses chimiques	232
V.3.1.1. <i>Analyse classique</i>	232
V.3.1.2. <i>Analyse à la microsonde</i>	232
V.3.2. Minéralogie par spectroscopie vibrationnelle infra-rouge	233
V.3.2.1. <i>Méthode</i>	233
V.3.2.2. <i>Echantillonnage</i>	233
V.3.2.3. <i>Résultats</i>	234
CHAPITRE VI : La région de Dayu et Pucung dans le dôme de Sangiran : Géologie, Paléontologie, Anthropologie et Archéologie préhistorique	236
VI.1. Les Principaux résultats de terrain	237
VI.1.1. Une étude originale à compléter	237
VI.1.2. Les structures	238
VI.1.2.1. <i>La pente SSE du dôme de Sangiran</i>	238
VI.1.2.2. <i>La mesure du pendage le long du transect étudié et sur le site PCTS</i>	238
VI.1.3. Position stratigraphique des sites et corrélations	239
VI.2. La Dynamique des Dépôts	242
VI.2.1. Une perspective paléoclimatique restreinte	242
VI.2.2. Un Grenzbank aux faciès contrastés	242

VI.2.3. Un volcanisme omniprésent	242
VI.2.4. Les sols d'occupation humaine	244
VI.3. Conclusion et Perspectives	245
VI.3.1. Perspectives de recherche	245
VI.3.2. Contribution au développement du site de Sangiran	247
<i>VI.3.2.1. Muséographie de base</i>	249
<i>VI.3.2.2. Stratigraphie, paléoenvironnements et géologie structurale</i>	249
<i>VI.3.2.3. Le visiteur devient géologue et préhistorien</i>	250
Listes des Figures et Tableaux	x
Bibliographie	xv

CHAPITRE I

Introduction

I.1. INTRODUCTION

Les variations du climat, et donc de l'environnement et des paysages au cours du Quaternaire, ont plusieurs implications sur l'histoire du peuplement de la région du Sud-Est de l'Asie. Le développement de ponts de terre sur le plateau de la Sonde ouvre la possibilité pour un processus de migration des faunes ou des humains. Il y a encore peu d'informations sur la première migration spécialement à Java, qui pourrait être intervenue il y a 2,5 Ma (Sémah, 1986; Kramer *et al.*, 2005), lorsque seules certaines parties de Java ont été émergées, en particulier dans l'ouest de Java (Bemmelen, 1949).

Le premier événement de migration serait représenté par les fossiles de mammifères continentaux trouvés à Java ouest près de ville de Banjar. Cette « faune de Ci Julang » est considérée comme la plus ancienne association à Java (von Koenigswald in van Bemmelen, 1949). Ensuite, une deuxième migration est caractérisée par la « Faune de Satir », avec plusieurs taxons capables de traverser les détroits de la mer, (von Koenigswald, 1933; Sondaar, 1984). Ces mammifères ont migré il y a environ 1,8 Ma, (Sémah, 1986; Bandet *et al.*, 1989; Swisher *et al.*, 1994; Sémah *et al.*, 2000) ou plus tard selon Sondaar et de Vos (1984). Puis d'autres migrations faunistiques se sont produites, dont nous verrons plus loin la succession. Les premiers hominidés seraient apparus à Java, selon les auteurs :

- soit durant une période contemporaine de la faune de Satir, sous la forme de groupes archaïques (voir Grimaud-Hervé, 2001; Sémah *et al.*, 2000) comme Sangiran 4 et le *Meganthropus* (von Koenigswald, 1954), Sangiran 31 (Sartono, 1982) trouvés à Sangiran, et le fossile de Mojokerto (von Koenigswald, 1940)
- soit plus tardivement, lors de l'arrivée de nouveaux taxons tels que les carnivores, vers 1.2 Ma Huffman, 2001 ; Huffman, *et al.*, 2006; Balzeau *et al.*, 2005).

I.2. LE DÔME DE SANGIRAN

I.2.1. Approche générale

I.2.1.1. Une fenêtre sur l'histoire de la dépression de Solo durant le Quaternaire

Le dôme de Sangiran est situé dans la dépression de Solo (Figure 01). Il est très important car il apporte des informations très complètes sur l'histoire de l'île de Java et de son peuplement depuis 2 millions d'années. L'histoire des climats, l'émersion de l'île, les activités tectonique et volcanique, la transformation des paysages et la présence de l'*Homo erectus* ont été enregistrées et peuvent être étudiées dans ce site.

I.2.1.2. Les recherches de van Es

La première description sur les structures géologique et stratigraphique du dôme de Sangiran a été faite par Van Es en 1931, dont le doctorat représente le premier travail de stratigraphie régionale consacré au contexte géologique du Pithécantrophe. Les informations fournies par ses descriptions permettent de comparer les séries stratigraphiques dans plusieurs endroits de la dépression de Solo (dômes de Simo, Gemolong, région de Miri, collines des Kendeng). Ces coupes permettent de suivre l'histoire de la régression marine tout au long du Quaternaire dans la zone étudiée. Il décrit notamment l'importante série stratigraphique de Sangiran (cf chapitre III). Pour van Es, la stratigraphie du dôme couvre les périodes Pliocène et Pléistocène.

I.2.1.3. Les recherches de von Koenigswald

Les travaux de G.H.R. von Koenigswald ont détaillé la stratigraphie du dôme de Sangiran (1934, 1940). Il a publié une carte géologique du dôme qui complète (1940) celle de van Es et demeure la principale référence, malgré les nombreux ajouts apportés par les recherches qui ont suivi (notamment par Watanabe et Kadar, 1985).

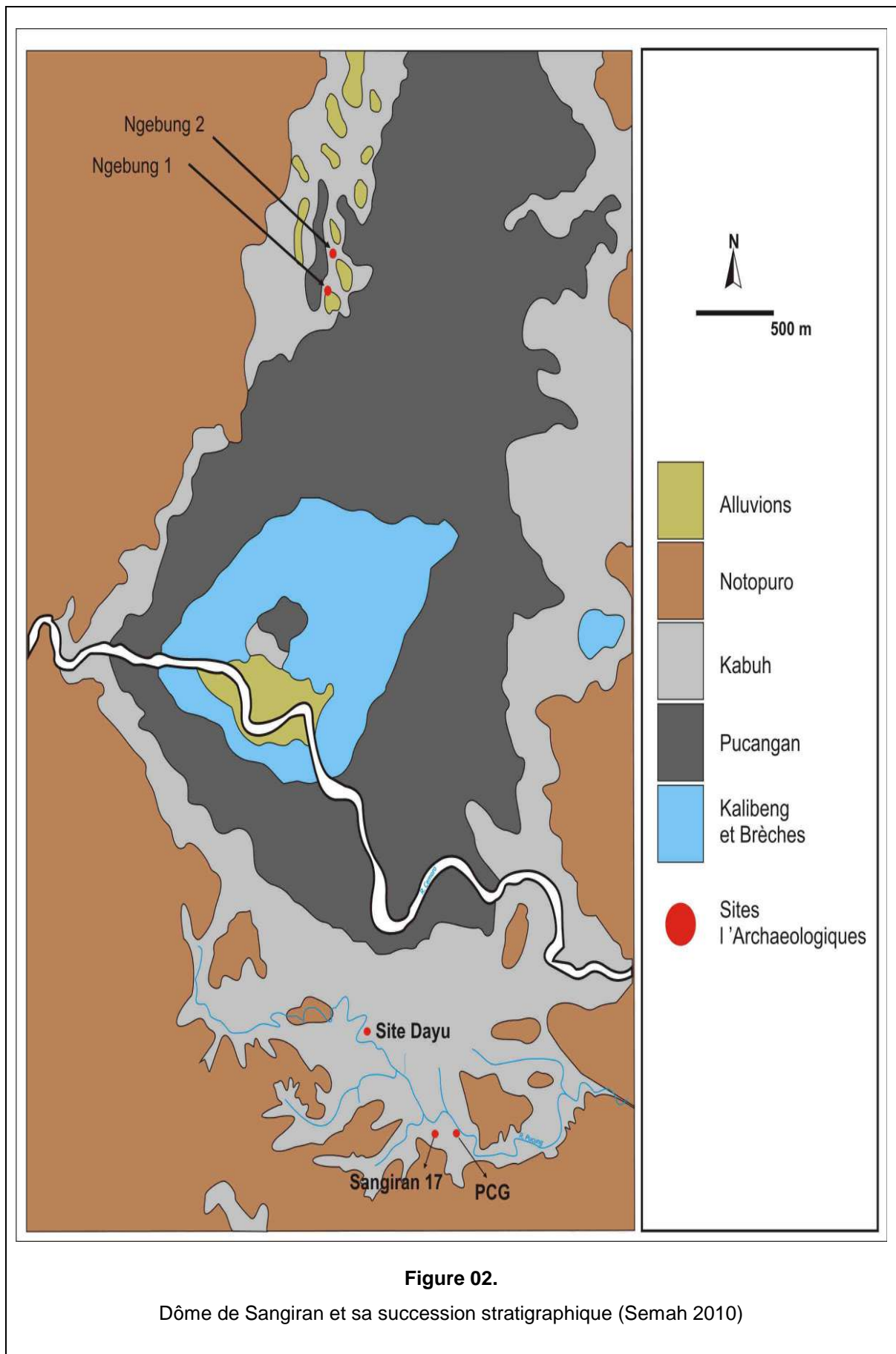
C'est von Koenigswald qui a mis en place, à Sangiran, la succession Kalibeng-Pucangan-Kabuh-Notopuro. Cependant, cette dernière est issue de toponymes empruntés aux descriptions géologiques de Java Est (voir Duyfjes, 1936) (Figure 02). La raison est double :

- Il était important de tenter de corréler la région de Java Est étudiée à l'époque avec celle de Sangiran,
- et ainsi de mettre en corrélation les fossiles trouvés à Sangiran dans chacune des séries avec les associations décrites à Java Est.



Figure 01.

Carte physiographique de Java d'après van Bemmelen (1949) et modifiée par Sémah (1986a)



I.2.2. Un site fondamental pour l'histoire de l'Homme au Quaternaire

Le dôme de Sangiran est connu comme le site le plus riche de Java pour ces fossiles humains ou animaux. Sur une surface d'environ 55 km² et une épaisseur de 200 mètres de sédiments, on retrouve des fossiles du Pliocène supérieur jusqu'au Pléistocène moyen. Ce qui en fait un site exceptionnel du point de vue de la chronologie, de la biostratigraphie et des paléoenvironnements de Java au Quaternaire.

Une soixantaine de fossiles d'*Homo erectus* ont été découverts, notamment dans les niveaux de Kabuh au Pléistocène Moyen. Ces découvertes représentent 50% des restes d'*Homo erectus* trouvés dans le monde (Simanjuntak, 2001). Cette richesse explique que ce site est devenu un patrimoine mondial par l'UNESCO depuis 1996. En parallèle, de nombreux fossiles de mammifères et de reptiles du Pléistocène ont pu être mis au jour. Malheureusement, la majorité des fossiles ayant été retrouvés en surface n'ont pas de cadre stratigraphique précis.

I.2.3. Importance scientifique du site

I.2.3.1. Des études pluridisciplinaires

Des études pluridisciplinaires ont naturellement été menées :

- le paléomagnétisme (Sémah, 1984 ; Itihara *et al.*, 1994)
- la biochronologie (Leinders *et al.*, 1985 ; de Vos *et al.*, 1994)
- les datations (von Koenigswald, 1964 ; Suzuki *et al.*, 1985 ; Swisher *et al.*, 1994 ; Saleki, 1997 ; Sémah, 1984 ; Sémah *et al.*, 2000 ; Larick *et al.* 2001 ; Bettis III *et al.*, 2004, 2009)
- l'industrie lithique (von Koenigswald, 1936 ; Sémah *et al.*, 1992 ; Simanjuntak et Sémah 1996 ; Widiyanto, 2001a; Widiyanto, 2001b ; Widiyanto *et al.*, 2001a)
- la paléanthropologie (von Koenigswald, 1954 ; Jacob, 1964 ; Sartono, 1964 ; Widiyanto, 1993 ; Grimaud-Hervé et Widiyanto, 2001 ; Antón, 2003 ; Kaifu *et al.*, 2005, 2008 ; Balzeau, 2005 ; Zanolli, 2011)

- la paléontologie (Aimi et Azis, 1985 ; Bouteaux *et al.*, 2007 ; Moigne *et al.*, 2004)
- l'aspect taphonomique (Bouteaux, 2005)
- la végétation et le paléoenvironnement (Tokunaga *et al.*, 1985 ; Sémah, 1986).
- Les recherches sédimentologiques dans le dôme de Sangiran (Lizon-Sureau, 1979 ; Watanabe et Kadar, 1985 ; Zaim, 1989 ; Djubiantono, 1992) sont encore rares comme celle de l'histoire de leur dynamique (Brasseur, 2009 ; Zaim, 1989)

1.2.3.2. Les différents hominidés

Trois groupes d'*Homo erectus* se sont succédé dans la dépression de Solo au Pléistocène (Figure 1.2.). Le plus ancien, découvert dans la formation de Pucangan, présente des caractères morphologiques très robustes et primitifs comme par exemple sur Sangiran 4 ou 6b. Les restes humains découverts dans l'unité de Kabuh montrent la morphologie classique de la diagnose des *Homo erectus* comme sur Sangiran 17 ou le Pithécanthrope IX qui sont très bien conservés. Enfin, le dernier groupe, représenté par les fossiles de Ngawi, Ngandong et Sambungmacan ont été retrouvés dans des couches du Pléistocène supérieur hors de Sangiran. Ils présentent une augmentation de la capacité crânienne avec un maintien des superstructures (Widianto et Zeitoun, 2003 ; Widianto et Grimaud-Hervé, 2011).

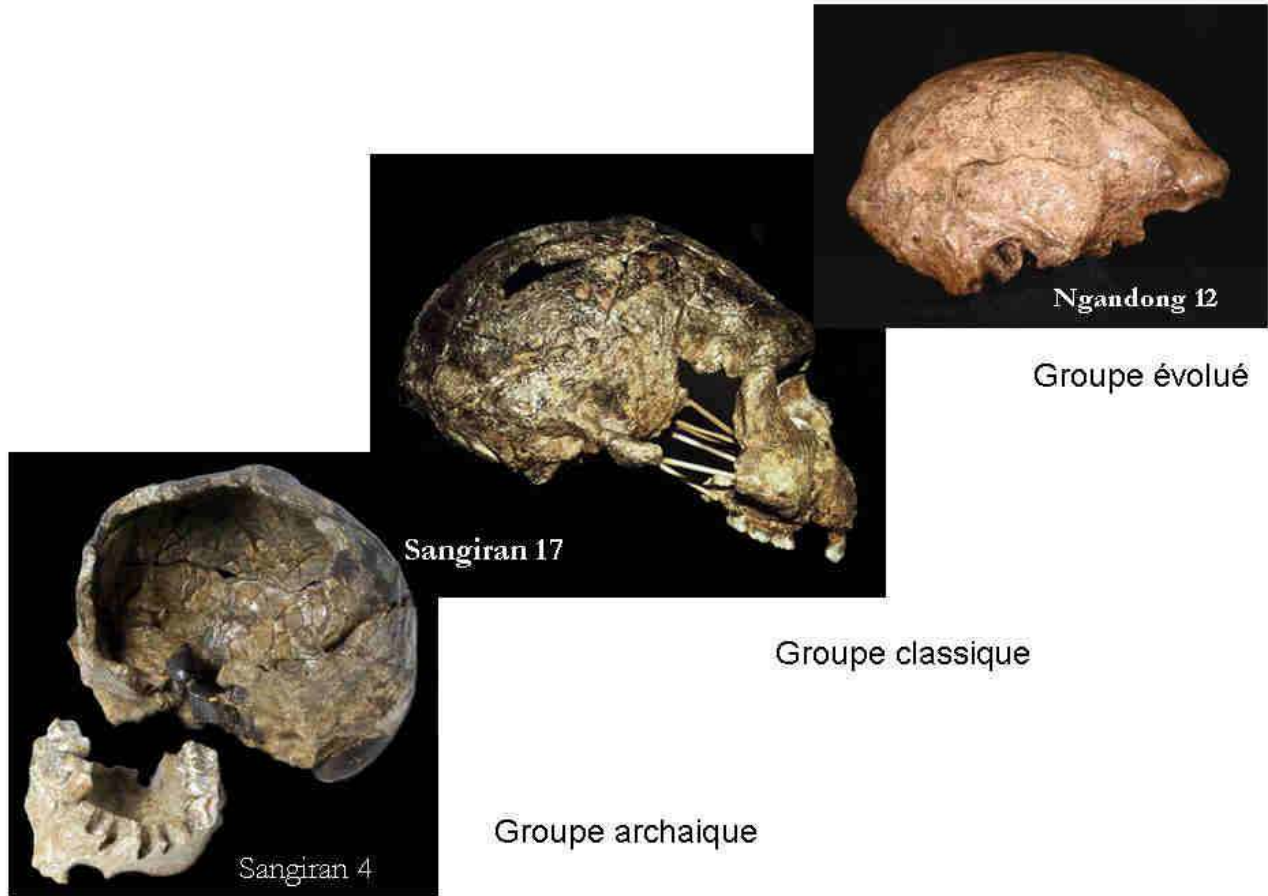


Figure 03.

Groupe d'groupes d'*Homo erectus* (D'après Widiyanto, 2011)

1.2.3.3. Les découvertes des faunes

Les niveaux du Pléistocène sont très riches en fossiles. Les plus représentés sont les herbivores et les reptiles. Les crocodiles sont considérés comme les plus anciens vertébrés continentaux de Sangiran. Ils ont été découverts à la base de la formation de Pucangan (van Es, 1931). A partir de l'étude des fossiles, différentes hypothèses biostratigraphiques ont été proposées (von Koenigswald, 1934 ; de Vos et Sondaar, 1982 ; Leinders *et al.*, 1985).

La biostratigraphie établie par von Koenigswald corrèle les fossiles des faunes trouvées à Sangiran avec celles d'autres sites. Il constate que la faune de Cijulang (Bumiayu) est la même que celle de la formation de Kalibeng à Sangiran, puisqu'il retrouve des restes de *Mastodon* dans les deux sites. De même, il met en relation la faune de Jetis avec celle de Pucangan ou encore la Faune de Trinil avec celle de Kabuh.

Selon de Vos et Sondaar (1983), les faunes pléistocènes de Sangiran sont semblables à celles de Trinil HK (e.g. *Axis*, *Duboisia* et grands bovidés) et de Kedung Brubus (e.g. *Hyaena*, *Tapirus*, *Elephas*). Leinders (1985), en corrélant la stratigraphie et les datations, complète cette proposition.



Figure 04.

Des ossements associés aux outils lithiques (niveau A) (Semah *et al.* 1992 ; Moigne *et al.* 2004)

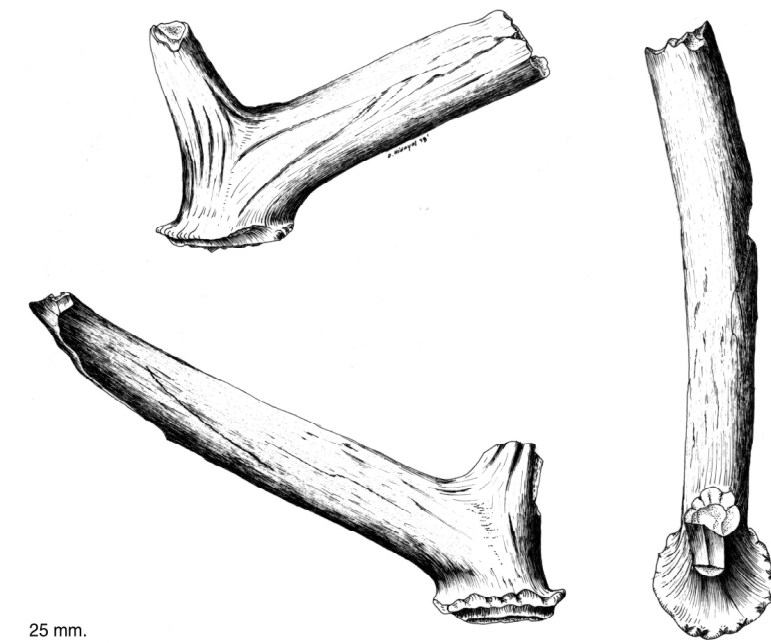


Figure 05.

Bois, *Axis lydekkeri ngebungensis n.ssp.* (Moigne *et al.* 2004)

1.2.3.4. Archéologie préhistorique

La première industrie lithique archéologique de Sangiran a été découverte à Ngebung par GHR von Koenigswald en 1934 et attribuée au Pléistocène moyen (Figure 06). Ce sont des éclats en calcédoine et en jaspe. Les fouilles réalisées dans ce site ont aussi livré un outillage assez complet avec des hachereaux, des bolas, des polyèdres caractéristiques de l'Acheuléen. (Sémah *et al.*, 1992 ; Simanjuntak et Sémah, 1996)

Lors de la fouille du site de Dayu au sud du dôme, des éclats ont été découverts. Ils seraient plus anciens que l'outillage de Ngebung puisqu'ils proviennent de couches argileuses noires qui pourraient correspondre à la formation de Pucangan (Widianto, 2001) (Figure 07).

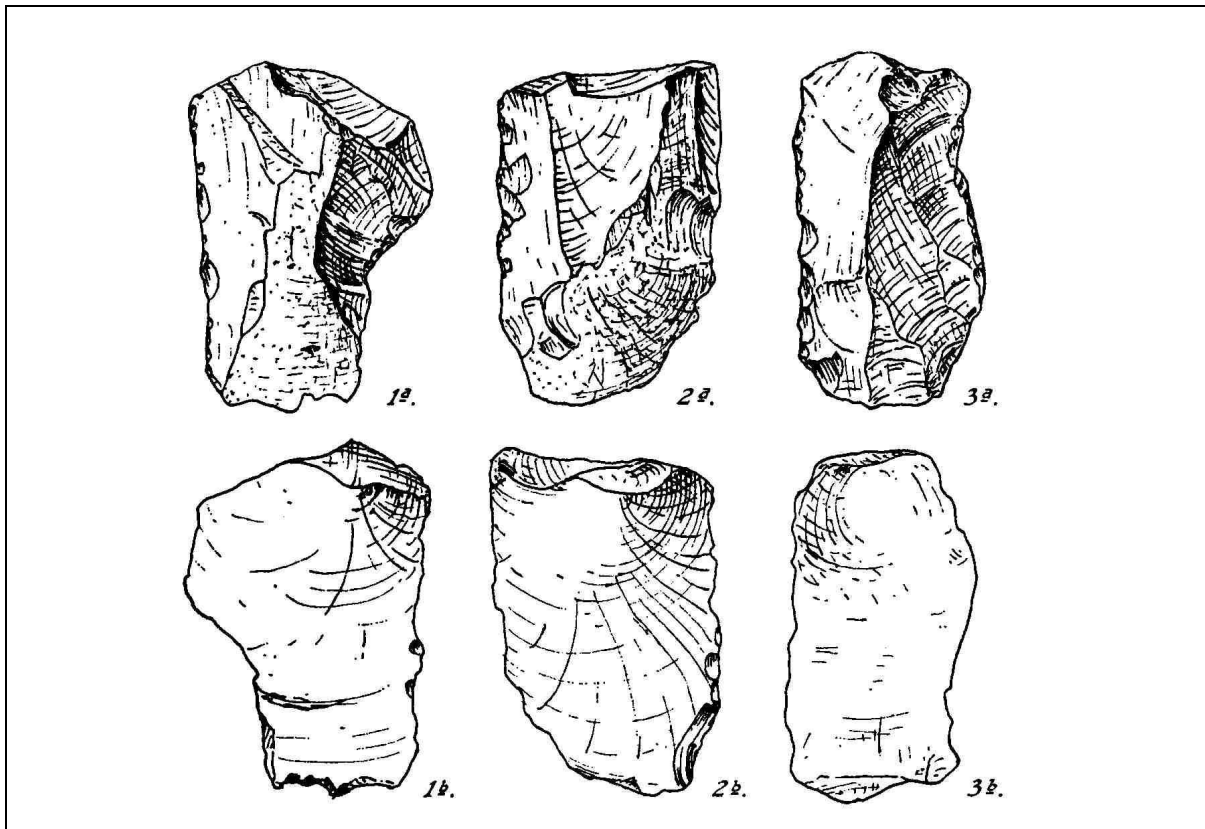


Figure 06.

Eclats de Sangiran (van Heekeren, 1972)



Figure 07.

Eclats des Dayu (Widianto et Simanjuntak *et al.* 2011)

I.3. QUELQUES QUESTIONS PROPRES AUX ÉTUDES GÉOLOGIQUES ET ARCHÉOLOGIQUES A SANGIRAN

Il y a encore beaucoup de problèmes à résoudre en raison du caractère ponctuel des découvertes archéologiques généralement sorties de leur contexte :

- Des fouilles ne sont pas toujours associées aux découvertes,
- Les découvertes des fossiles par les habitants sont généralement accidentelles et donc hors de leur contexte stratigraphique,
- La plupart des fossiles sont retrouvés dans des sédiments soumis à des glissements de terrain et des remaniements.

Plusieurs centaines de restes humains osseux et dentaires (*Homo erectus*) ont ainsi recueillis sur une surface de plus 50 km².

I.3.1. Relation entre les fossiles et la nature des sites

Les fossiles découverts dans les couches marécageuses de Pucangan, par leur environnement de dépôt, ne se trouvent pas à l'endroit où ils ont vécu et leur couche d'origine ne représentent en aucun cas un site archéologique.

De la même façon, le Grenzbank, conglomérat calcifié, est constitué de matériel transporté. Donc, il est impossible d'attribuer une origine précise à un objet archéologique.

La nature des couches de Kabuh est volcano-fluviale, elles ont aussi transporté le matériel. La plupart des fossiles sont donc retrouvés bien loin de leur lieu et de leur époque d'origine, même si certains sites exceptionnels ont permis de mettre en évidence des sols d'habitat (voir Sémah *et al.*, 1992).

Cette situation complexe demande à développer une approche sédimentologique, paléoenvironnementale et taphonomique précise pour mieux aborder la question de la formation des sites archéologiques à Sangiran, ou pour comprendre jusqu'à quel point les sites ont subi un remaniement.

I.3.2. Corrélations stratigraphiques entre les différents sites

Le développement des diverses méthodes de recherche multiplie les questions sur les corrélations stratigraphiques entre les différents sites du dôme. Leur interprétation est rendue difficile, car les faciès sédimentaires ne correspondent pas à des marqueurs chronologiques, leur répétition à différentes époques peut prêter à confusion. A l'inverse, une même série sédimentaire peut comprendre des faciès différents.

Les structures géologiques et les aspects sédimentaires des formations stratigraphiques soulèvent une autre problématique, la dynamique de l'activité sédimentaire pouvant entraîner un mélange de plusieurs types de sédiments.

I.4. NOTES SUR LE GRENZBANK ET LES COUCHES DE KABUH

I.4.1. Description

La série de Kabuh peut être considérée comme la plus importante du Pléistocène en raison du nombre de fossiles trouvés jusqu'à présent. Cette formation, d'épaisseur variable qui peut parfois atteindre 50 mètres (Bapang au nord-est du dôme), a couvert pratiquement tout l'ensemble du dôme (voir Figure 30).

Récemment, des recherches ont apporté beaucoup d'informations en plus de la richesse en fossiles humains, comme les études palynologiques et fauniques. Elles ont mis en évidence des changements de l'environnement (Sémah et Sémah, 2011), des comportements de subsistance à partir de l'étude des faunes (de Vos *et al.*, 2007) et des hominidés (Grimaud-Hervé *et al.*, 2012 ; Widiyanto, 2003) au Pléistocène.

I.4.2. Affleurements de Kabuh dans la partie sud-est du dôme de Sangiran (région de Pucung)

La formation de Kabuh affleure sur presque toute la surface du dôme, sous forme d'un sédiment volcano-sédimentaire, et en particulier au sud-est du dôme au niveau des sites de Dayu et Pucung. Les affleurements dans cette partie du dôme ont pris de l'importance depuis les découvertes du fossile de Sangiran 17 à Pucung en 1969 par Toekimin, des ossements fossiles de faune pendant les fouilles menées par Teuku Jacob, des industries trouvées en contexte stratigraphique par Widiyanto et aussi des recherches réalisées par d'autres chercheurs (eg. Watanabe et Kadar, 1985 ; Simanjuntak et Budiman, 2011).

I.4.2.1. La zone du Grenzbank à Dayu

La région de Dayu a commencé à être bien étudiée depuis la découverte en 2001 de nombreux éclats in situ dans le Grenzbank (Widiyanto, 2001). Plus récemment, de nouveaux éclats ont été retrouvés en place et ont pu être attribués à une période antérieure au Grenzbank inférieur, dans une matrice d'argile noire de Pucangan (Widiyanto, 2006 ; communication personnelle d'Harry Widiyanto).

Ces restes archéologiques confirment la présence de ce type d'outillage dès le sommet du Pléistocène inférieur.

1.4.2.2. La position stratigraphique de Sangiran 17

Sangiran 17 est parfaitement conservé, c'est le seul *Homo erectus* dont la face est pratiquement complète. Ses caractères morphologiques répondent à la diagnose de l'*Homo erectus* dont il est le représentant type.

La recherche d'une équipe Indo-Japonaise a essayé de localiser avec précision le lieu de la découverte de ce fossile. Ils ont rapporté qu'il provenait de la couche de sables grossiers recouvrant le Grenzbank et assimilables au faciès caractéristique de Kabuh (Watanabe et Kadar, 1985).

1.4.2.3. Les travaux du Professeur Jacob dans la région de Pucung.

Une recherche a été faite par T. Jacob sur une partie de la région de Pucung juste après la découverte du crâne de Sangiran 17. Selon Tukimin (le découvreur du fossile), la fouille a été réalisée dans le prolongement du lieu de découverte du crâne (communication personnelle 2009). Cependant, aucune publication, ni rapport ne viennent confirmer ces travaux.

1.4.3.4. Le site Pucung PCTS (PuCung Tanah Subur)

Sur le site de PCTS, l'observation des couches stratigraphiques encouragent à penser qu'elles pourraient livrer des informations sur la dynamique sédimentaire. La présence de tufs remaniés ou en place (blocs de tuf, galets en tuf) indique un mode de déposition dans la partie du sud du dôme. La présence de deux dents d'*Homo erectus*, de la partie nasale d'un crâne de gros herbivore et d'industrie lithique, entre autres, dans une couche de sables grossiers laisse supposer qu'il s'agit peut être d'un site d'occupation. Pour la première fois, plusieurs bolas de très petite taille ont été mises au jour.

I.5. OBJECTIFS DE L'ÉTUDE ET PLAN DE LA THÈSE

I.5.1. Objectifs

A partir des observations de terrain, il est apparu que la zone Pucung - Dayu présentait un intérêt majeur dans la dynamique de formation des séries de Kabuh et justifiait une analyse complète des sédiments. C'est le premier objectif de notre étude.

Ce travail a débuté par une étude cartographique détaillée basée sur les données topographiques existantes et sur les observations menées sur le terrain (Pucung – Dayu). Il est en effet indispensable de réaliser une carte actualisée (incluant les localités des découvertes, les sites étudiés précédemment, les chemins, les principaux affleurements échantillonnés).

Il est important de cartographier le tracé de la rivière Pucung, puisqu'elle traverse à la fois les sites de Dayu et de Pucung en gardant à l'esprit qu'il a pu se déplacer au cours du temps (ces déplacements seront observables dans la stratigraphie). La mesure du pendage, de l'orientation et de l'épaisseur des couches est un objectif capital pour comprendre la structure géologique de cette région et les corrélations entre Dayu et Pucung. Ces mesures sont principalement réalisées sur les couches qui affleurent dans la rivière Pucung et sur ses berges.

Le deuxième objectif de cette étude est de comprendre la position stratigraphique, les relations chronologiques et l'histoire de la dynamique paléoenvironnementale des différents sites de la zone Pucung et Dayu. La première étape est le travail de terrain et la seconde le travail en laboratoire.

Le travail de terrain consiste à choisir des affleurements significatifs et en place pour l'échantillonnage du matériel d'étude. Cette phase est difficile, car les cultures empêchent de suivre les couches stratigraphiques. Chaque tranchée sélectionnée va être observée et décrite à la fois pour sa stratigraphie et la composition macroscopique des sédiments.

Au laboratoire, nous allons étudier la dynamique des paléoenvironnements. Tout d'abord, grâce à la pétrographie pour identifier les différentes roches présentes, puis à la granulométrie appliquée aux échantillons sableux et tuffo-argileux. La spectroscopie vibrationnelle Infra Rouge nous informera qualitativement sur la composition de la partie tuffo-argileuse.

La fouille du site PCTS nous apporte des données géoarchéologiques. Les couches stratigraphiques fouillées nous permettent de préciser la paléomorphologie et la sédimentologie du site par rapport à l'histoire de la dynamique d'environnement de la région Pucung-Dayu.

L'analyse contextuelle des fossiles de faune, de l'industrie, des restes d'hominidés et des sédiments de chaque niveau nous donne une référence chronologique et stratigraphiques pour reconstituer l'histoire des paléoenvironnements et des paléopaysages de la region Pucung – Dayu, et pour les corrélés avec les autres sites voisins de PCTS.

Cette étude devrait contribuer à créer un modèle de référence dans une perspective de conservation et de valorisation des sites du Pléistocène dans le dôme de Sangiran.

I.5.2. Plan de la thèse

La thèse est divisée en six chapitres.

Le premier chapitre introduit cette étude.

Le deuxième chapitre présente les données générales, en insistant sur les aspects pertinents (tectonique, volcanisme, climat, couvert végétal, datations) et sur l'état des lieux des travaux sur le dôme de Sangiran.

Le troisième chapitre se focalise sur la région de Pucung. Cette partie décrit les étapes de prospection, la nature des affleurements, la localisation des sites, les relevés morphologiques, topographiques et structuraux, l'interprétation structurale et la stratigraphie de la région.

Le quatrième chapitre décrit les faciès et les coupes sélectionnées.

Le cinquième chapitre se consacre à l'analyse des sédiments prélevés. Nous y présentons les méthodes utilisées et les applications réalisées en fonction des différents matériaux ainsi que les résultats obtenus dans les différentes localités de la zone d'étude. Nous proposons d'appliquer les mêmes méthodes d'étude pour les sites voisins de PCTS.

Le sixième chapitre propose d'interpréter les résultats au croisement de la géologie et de la fouille préhistorique.

CHAPITRE II

**L'Histoire des premiers peuplements insulaires
au croisement du volcanisme,
de la tectonique, du climat et des paysages**

II.1. L'ILE DE JAVA SUR L'ARC ET LE PLATEAU DE LA SONDE

II.1.1. Sunda, Sahul et l'arc de la Sonde

L'histoire géologique de l'Indonésie est complexe. L'Indonésie occidentale recouvre la majeure partie du bloc de la Sonde (Figure 08), qui inclut les grandes îles de Bornéo, Sumatra et Java et déborde sur la Malaisie et la Thaïlande péninsulaires (Hartono et Tjokroprosapoetro, 1986 ; Charlton, 2001). Au sud-est, on rencontre le bloc de Sahul, qui comprend l'Australie et la Nouvelle-Guinée. La partie nord-orientale de la région, incluant Sulawesi et les îles d'Indonésie orientale, est marquée par une activité géotectonique très complexe, mettant en jeu les plaques Philippines et Pacifique (Katili, 1975 ; Chotin *et al.*, 1980 ; Romeur, 1991 ; Hall, 2009).

Cette configuration tectonique est en grande partie à l'origine de la distribution des fonds marins, répartis entre mers peu profondes continentales (mer de Java, souvent moins de 150 m) et fosses marines (détroit de Makassar, large de moins de 20 km qui atteint plus de 2000 m de profondeur) : cette distribution a mis en place les frontières des grandes provinces biogéographiques comme celle qui sépare la province de Sunda de la Wallacea (ligne de Wallace) (Figure 09).

Si le centre du bloc de Sunda est relativement stable (socle paléozoïque visible à Bornéo), ses marges sont très actives. Elles présentent de nombreux volcans et sont sujettes à de fréquents tremblements de terre (Saint Marc *et al.*, 1977). On assiste ici à la subduction de la plaque Australie-Océan Indien sous la plaque eurasiatique (Katili, 1975 ; Tregoning *et al.*, 1994). Ce phénomène est à l'origine de l'activité tectonique très intense le long de l'arc insulaire de la Sonde, et notamment le long de Sumatra, Java, Bali et des petites îles de la Sonde, véritable chaîne de montagnes en formation (Saint Marc *et al.*, 1977 ; Van Bemmelen, 1949).

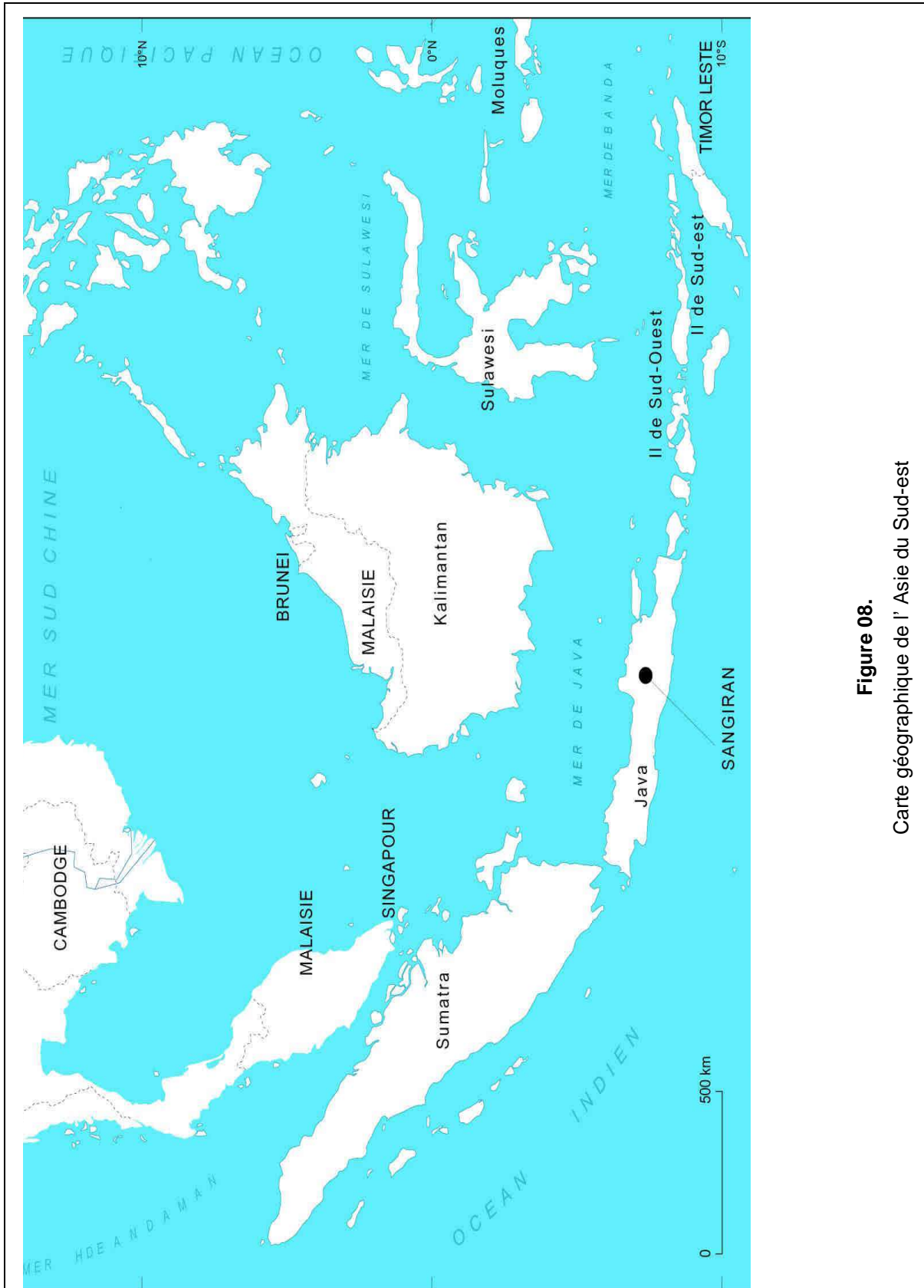


Figure 08.
Carte géographique de l'Asie du Sud-est

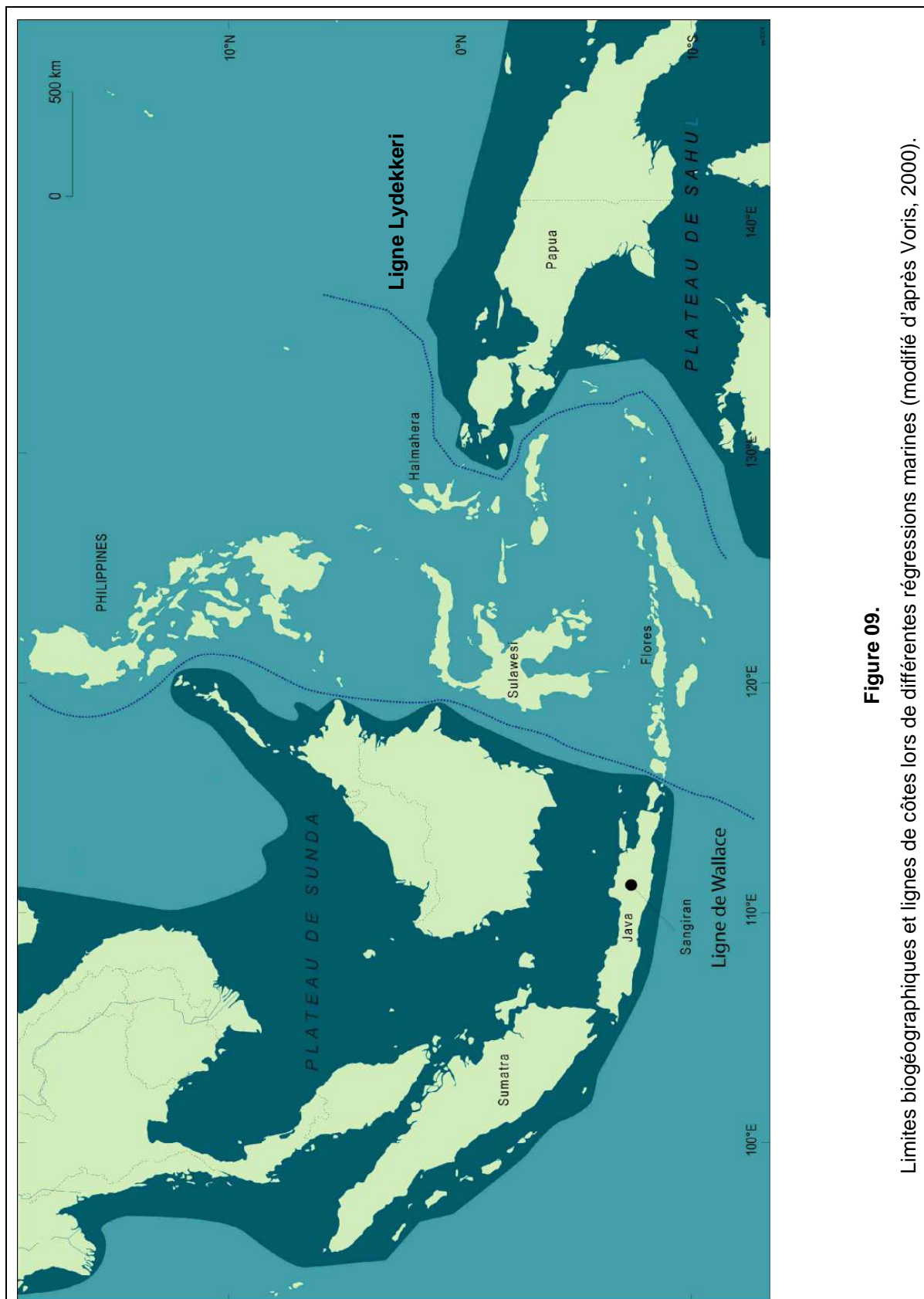


Figure 09.

Limites biogéographiques et lignes de côtes lors de différentes régressions marines (modifié d'après Voris, 2000).

En coupe transversale, cet arc présente la morphologie classique d'une zone de subduction (Figure 10):

- Au niveau de la subduction, formation d'un prisme d'accrétion (arc non volcanique externe) qui est le plus souvent sous-marin mais peut émerger par endroits. Il est par exemple représenté par les îles de Nias et de Mentawai au large de Sumatra.
- Une fosse inter-arc.
- L'arc volcanique interne, qui comprend notamment les grands volcans en activité qui ont pour beaucoup contribué à façonner l'île de Java et la dépression de Solo, au sein de laquelle se situe le dôme de Sangiran. Le volcanisme est de nature andésitique.

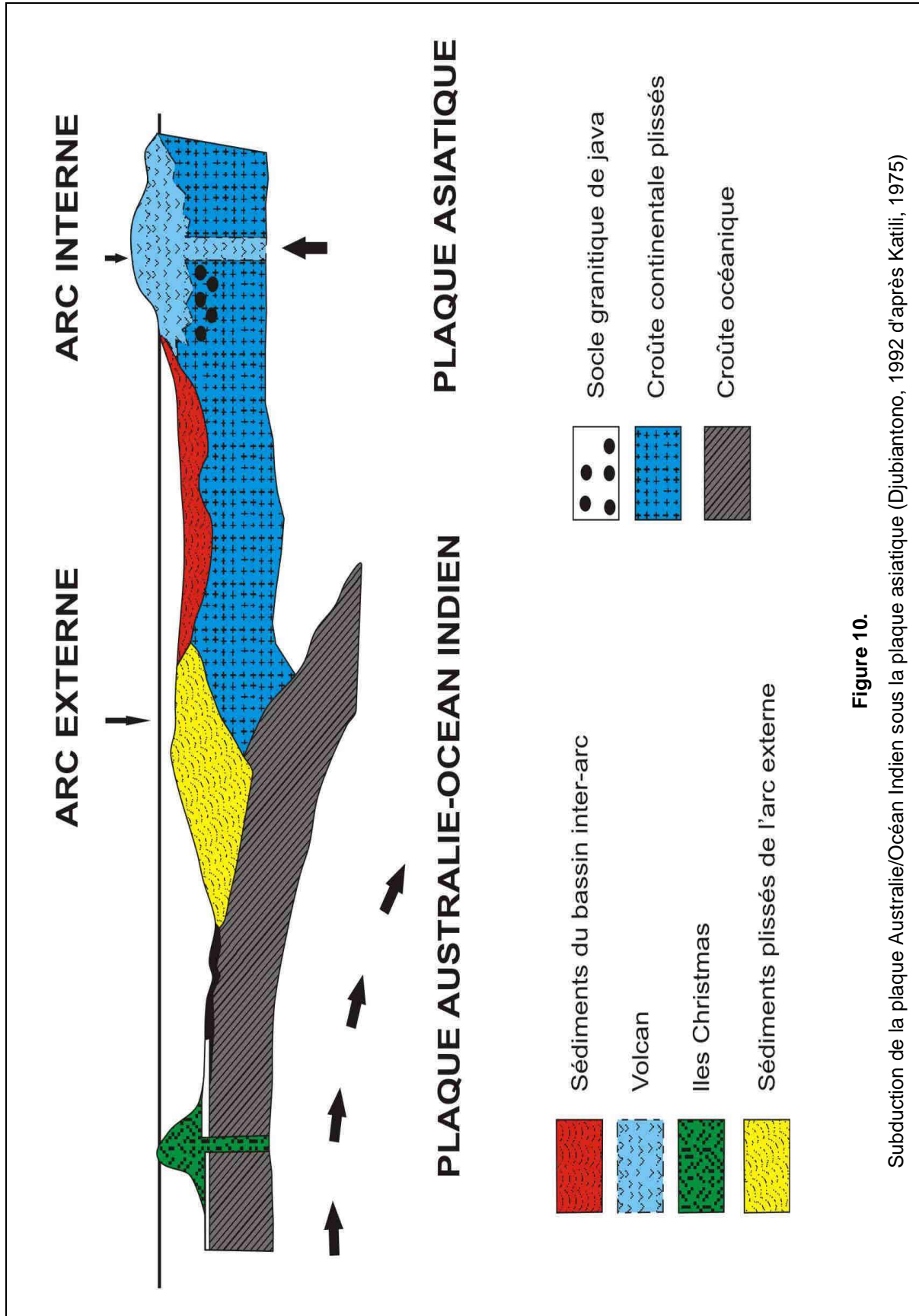


Figure 10.

Subduction de la plaque Australie/Océan Indien sous la plaque asiatique (Djubiantono, 1992 d'après Katili, 1975)

II.1.2. L'île de Java à l'extrémité sud du Plateau de la Sonde

L'île de Java représente donc à la fois l'extrémité sud-orientale du continent asiatique mais aussi une île en formation.

Elle est rattachée à l'Asie par des étendues marines peu profondes (moins de 150 m) qui borde l'immense île de Bornéo au sud (mer de Java) et au nord (mer de Chine du sud) (Tapponier *et al.*, 1990 ; Hall, 2002, 2009 ; Leloup *et al.*, 2007 ; Bird, 2003).

La configuration paléogéographique de la région (et par conséquent tous les aspects paléobiogéographiques qui lui sont liés) est sensible aux modifications des étendues marines.

II.1.2.1. Eustatisme

Les mers peu profondes sont en effet très sensibles aux oscillations eustatiques qui se sont produites au Quaternaire durant les cycles glaciaire-interglaciaire.

Les abaissements du niveau marin ont été d'amplitude limitée durant le Quaternaire ancien (quelques dizaines de mètres), mais suffisants pour permettre l'établissement de larges ponts terrestres sur le plateau de la Sonde, et donc le passage des faunes continentales et des Hommes (Figure 11). De tels passages ont pu exister vers la zone qui allait devenir l'île de Java dès 2.6 M.a. (Mollengraaf, 1921 ; Kuenen, 1950 ; Ollier, 1985 ; Voris, 2000).

Le contraste glaciaire-interglaciaire est devenu nettement plus marqué lors de la mise en place des cycles de 100 ka au tout début du Pléistocène moyen. La variation du niveau marin a pu atteindre ou dépasser la centaine de mètres et un véritable paysage continental s'est installé sur le plateau lors des périodes glaciaires (Pirazzoli, 1991 ; Woodroffe et Horton, 2005). Les détroits profonds ont vu leur largeur se réduire de façon importante, ce qui peut expliquer le passage de certains taxons (ici encore, y compris les hominidés) au-delà de la ligne de Wallace il a plus d'1 Ma. Ceci peut expliquer la découverte sur l'île de Flores (bassin de la Soa) de traces de la présence humaine dès cette époque. (van den Bergh *et al.*, 1994, 1996 ; Dermitzakis *et al.*, 1997)

Cette situation a perduré au Pléistocène supérieur. Les interstades impairs du stade isotopique (MIS) 5 sont marqués par de hauts niveaux marins (isolation maximale), alors que le dernier maximum glaciaire (MIS 2) représente une période d'exondation quasi-totale du plateau de la Sonde, favorisant les échanges avec le continent, préalable au grand bouleversement géographique qui a marqué le début de l'Holocène (retour à une situation archipélagique) (Gingele *et al.*, 2002).

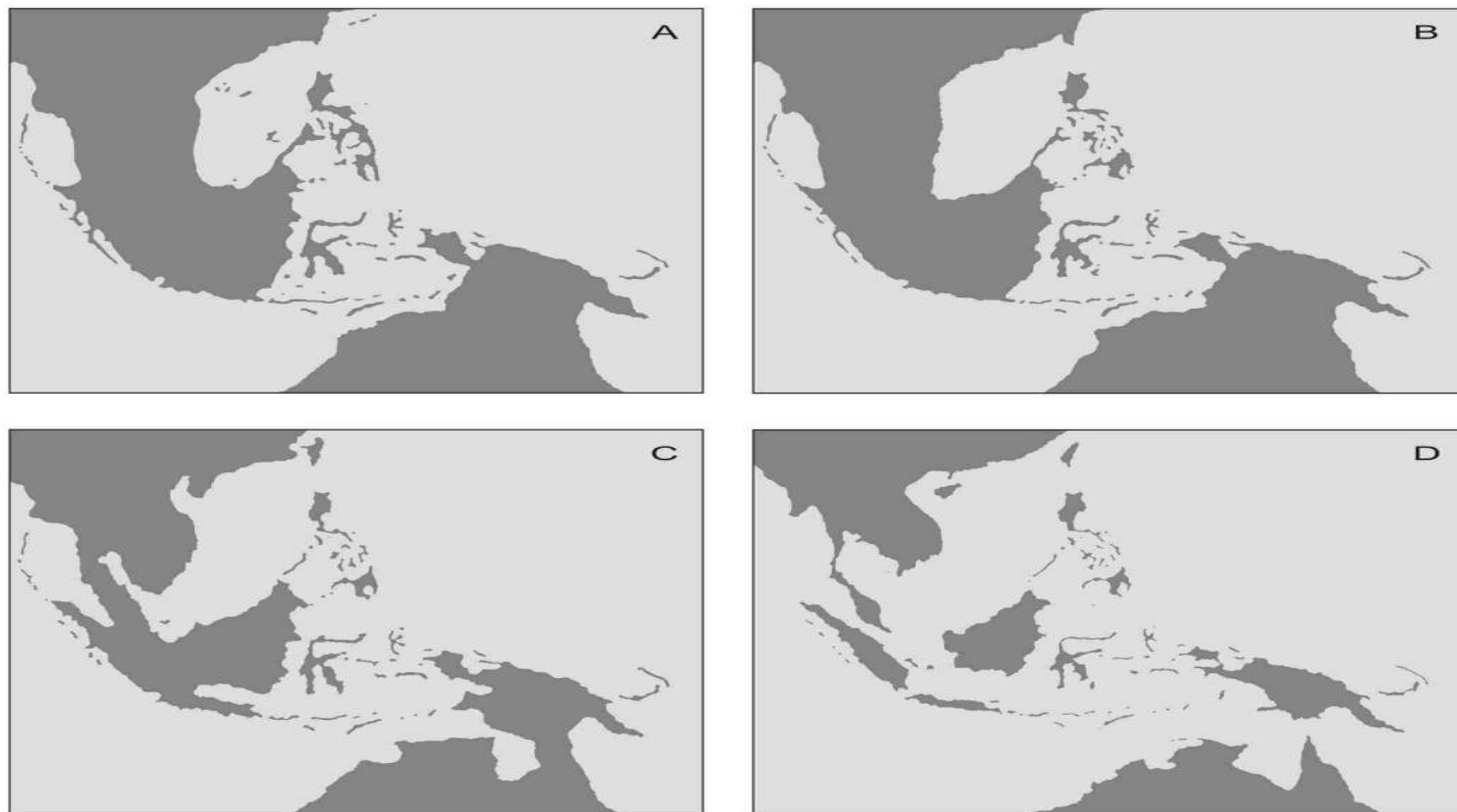


Figure 11.

Fluctuations du niveau marin dans le sud-est asiatique pendant le Pléistocène, a : - 20 mètres ; b : - 75 mètres ; c : - 120 mètres; d : niveau actuel (gris clair : terres émergées ; gris foncé : terres actuelles et blanc : océans et mers) (modifié d'après Voris 2000)

II.1.2.2. Climat et paysage

Les liens entre Java et le continent asiatique n'ont pas été seulement déterminés par les variations du niveau marin. Le rythme et l'intensité des moussons ont été profondément affectés par les variations de surface des étendues marines, la *warm pool* d'Indonésie occidentale pouvant quasiment disparaître à certaines périodes. Ceci réduit considérablement l'évaporation au niveau de l'équateur durant les périodes glaciaires, permet aux alizés venus du sud-est d'apporter des masses d'air plus frais et sec, et implique par conséquent un climat moins humide.

Durant les phases 'sèches' un paysage relativement équilibré s'est mis en place sur le plateau. En effet, les eaux douces en provenance des reliefs de Sumatra, Bornéo et Java ont convergé vers les grands cours d'eau du plateau, renforçant ainsi les couloirs de circulation au sein d'une aire que certains auteurs comparent à un 'corridor de savane', notamment lors du dernier maximum glaciaire (Bird *et al.*, 2005) (Figure 12).

A l'inverse, les phases de hauts niveaux marins (par exemple lors du MIS 5) ont connu le développement d'un climat très humide, qui a eu pour conséquence une extension majeure de la forêt tropicale humide.

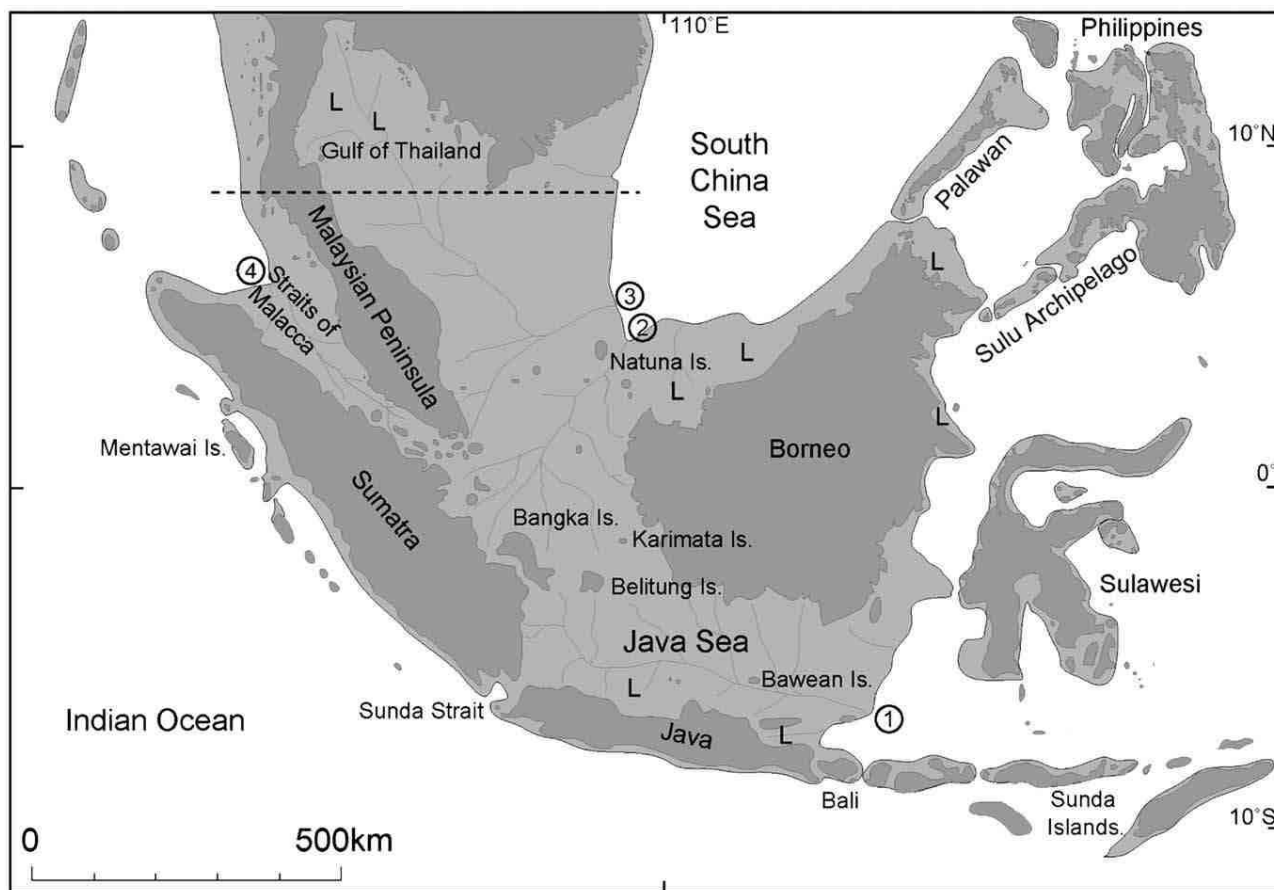


Figure 12.

Plateau de Sunda au dernier maximum glaciaire (LGM), montrant la distribution moderne de la terre en gris foncé et les terres supplémentaires exposés au cours de la LGM en gris clair (Bird *et al.* 2005 ; adapté de Voris, 2000). La limite nord de Plateau définie par la latitude 9°N représenté par une ligne pointillée. L : Lac, 1. La Rivière Sunda Sud, 2. La Rivière Sunda Nord, 3. La Rivière Siam et 4. La Rivière Malacca.

II.1.3. La genèse de l'île de Java

L'île de Java a fait l'objet de nombreuses études par les géologues néerlandais durant la période coloniale, dans le but d'un développement des infrastructures et d'une exploitation des ressources (Verbeek et Fennema, 1896; Rutten, 1927; Umbgrove, 1938, Saint-Marc *et al.*, 1977 ; Djubiantono, 1992 ; Villeneuve *et al.*, 1998 ; Hall, 2002). Ces travaux ont été suivis après l'indépendance par ceux réalisés en relation avec les recherches en géologie pétrolière.

Les formations antérieures au Cénozoïque sont rares. On retrouve toutefois quelques batholithes granitiques, ainsi que plusieurs zones renfermant des roches métamorphiques. Les plus intéressantes en ce qui concerne notre travail sont bien entendu celles qui se situent au plus près de la région de Sangiran, principalement dans les collines de Jiwo. En effet, elles ont pu servir de source de collecte de matériaux lithiques pour les Hommes préhistoriques (van Bemmelen, 1949)

Les dépôts éocènes sont principalement marins. A l'Oligocène se développe, au bord de la plate-forme de la Sonde, une zone de sédimentation marine d'où émergent de petites îles volcaniques. Il s'agit d'un arc insulaire volcanique, qui occupe alors une position plus méridionale qu'aujourd'hui, et qui est bordée par une fosse marine au nord.

L'arc volcanique poursuit son activité au Miocène, et contribue à la mise en place de nombreuses formations qui joueront un rôle dans la mise en place des dépôts quaternaires étudiés. Les produits d'érosion des volcans se retrouvent dans la fosse marine située plus au nord dans des couches dites de Kerek.

Au niveau des actuelles montagnes du sud de Java se déposent les coulées appelées *old andesites*. (van Bemmelen, 1949).

Un soulèvement tectonique a eu lieu au Miocène moyen. L'existence d'îles à l'époque est attestée par la découverte, dans les couches miocènes, de nombreux troncs d'arbres silicifiés, qui constituent la plus ancienne trace d'un couvert forestier sur ce qui allait devenir l'île de Java. Entre les îles, se forment des récifs et se déposent des couches de tuf volcanique.

Les séries miocènes s'achèvent, dans le centre et l'est du bassin qui recouvrait les parties centrale et orientale actuelles de Java, par le dépôt de marnes de mer ouverte qui se poursuivront au Pliocène (Djubiantono, 1992) (Figure 13).

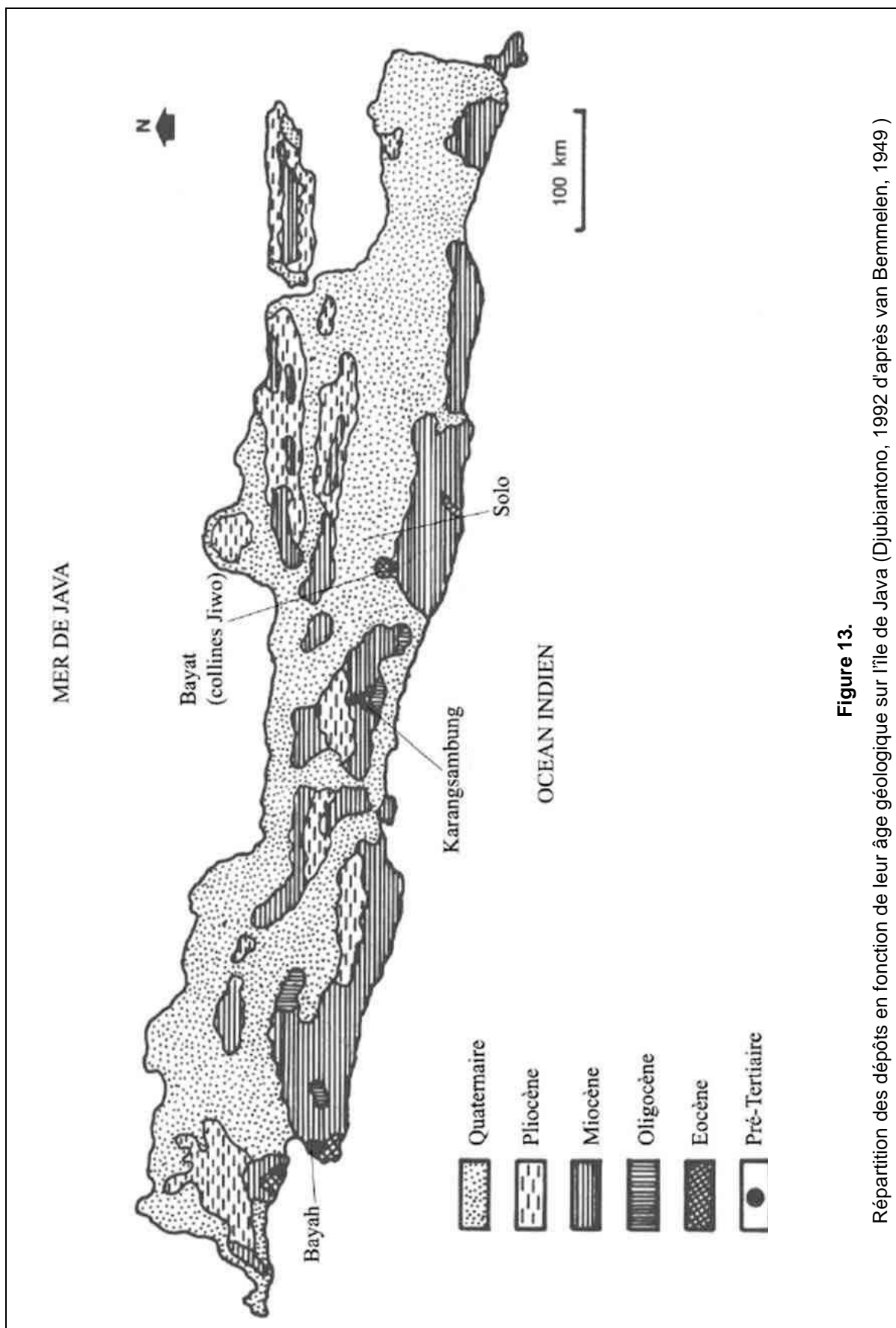


Figure 13. Répartition des dépôts en fonction de leur âge géologique sur l'île de Java (Djubiantono, 1992 d'après van Bemmelen, 1949)

II.1.4. L'île de Java au Pliocène et au Quaternaire

La période plio-quaternaire est marquée par la mise en place des traits structuraux de l'île de Java, déterminée par plusieurs phénomènes (Katili, 1975):

- La mise en place de l'arc volcanique interne de la Sonde actuel, qui occupe une position plus septentrionale que celui qui existait au Miocène : la plupart des grands volcans visibles aujourd'hui sur Java résultent de cette mise en place. Ce déplacement de l'arc volcanique est probablement lié à une modification de la géométrie du plan de subduction de la plaque océan indien sous l'Eurasie
- La surrection de l'île, qui d'après plusieurs auteurs a été plus précoce à l'ouest qu'à l'est. Cette orogénèse a notamment permis, près de la zone que nous étudions à Java central, la formation des collines de Jiwo où affleurent des roches métamorphiques.
- Les phénomènes corrélatifs de plissement, qui donnent à Java l'aspect d'une ride alternant chaînes de collines et dépressions dont l'orientation suit celle de l'arc volcanique.
- Les oscillations climatiques majeures glaciaire-interglaciaire, qui ont entraîné d'importantes phases d'érosion et d'alluvionnement (Lizon-Sureau, 1979 ; Zaim, 1989).

L'ensemble de ces facteurs se sont conjugués pour donner à l'île de Java son aspect actuel (van Bemmelen, 1949), qui présente du nord vers le sud (notamment dans la partie centrale et orientale) (voir Figure 01 de Chapitre I).

- Les plaines alluviales du nord de l'île de Java, qui représentent le résultat de l'alluvionnement intense en direction de la mer de Java. Ce sont elles qui ont permis à l'île de gagner en surface sur la mer de Java à l'Holocène, par exemple en reliant l'île du volcan Muria à Java.
- L'anticlinal de Rembang, qui est constitué de dépôts marins miocènes plissés, et se prolonge vers l'est par l'île de Madura.
- La dépression de Randublatung, qui a été au Pléistocène le siège de dépôts marins peu profonds avant d'être émergée.

- Les collines des Kendeng, qui prolongent vers l'est l'anticlinorium appelé zone de Bogor et collines des Nord Seraju à l'ouest et au centre de l'île de Java. Elles sont constituées de formations marines miocènes et pliocènes. Les plissements deviennent de moins en moins marqués vers l'est où ces collines, entre Mojokerto et Surabaya, disparaissent progressivement sous les alluvions de la rivière Brantas.
- La grande dépression axiale, appelée zone de Solo dans le centre de Java, est remplie par des sédiments pliocènes et quaternaires. L'émergence de Java durant cette période est enregistrée dans ce bassin, et visible grâce à quelques boutonnières tectoniques telles que le dôme de Sangiran.
- De la zone de Solo émergent de grands cônes volcaniques (tel que le volcan Lawu qui domine le dôme de Sangiran) dont certains sont encore actifs, qui ont joué un rôle majeur dans le remplissage de la dépression.
- Enfin, les montagnes du sud de Java qui courent le long de la côte de l'océan indien. Au sud de Sangiran, elles sont principalement constituées de reliefs liés à la formation des old andesites, mais aussi de calcaires karstifiés constitués de massifs récifaux. C'est notamment le cas dans la région de Punung, près de Pacitan, où de nombreuses grottes renseignent sur l'histoire des occupations humaines dans la région depuis le Pléistocène moyen.

II.1.5. Les volcans de l'île de Java

Le volcanisme fait partie de l'histoire géologique de l'Indonésie depuis le Carbonifère supérieur, et a de fortes conséquences sur les paysages : plus d'une centaine d'éruptions cataclysmiques sont rapportées dans les documents historiques (avant et depuis l'année 1600). De plus, on connaît bien les conséquences énormes d'éruptions plus anciennes comme celle du volcan Toba, au nord de Sumatra, durant des périodes plus reculées.

Les phénomènes volcaniques sont aujourd'hui très importants dans l'île de Java, principalement sous la forme de stratovolcans et de caldeiras, plus rarement de maars (Bronto, 2006). On y compte 18 volcans considérés encore actifs par les vulcanologues (par exemple le Merapi qui domine la ville de Yogyakarta) sur la quarantaine présents à Java (Pratomo, 2006). Leurs produits sont des laves, des tufs, des cendres, des nuées ardentes et bien entendu des lahars (Bronto, 2006) (Figure 14).

Cependant, même les volcans dits 'éteints' demeurent en relation avec l'activité de l'arc insulaire, et les manifestations secondaires telles que sources chaudes ou fumerolles sont omniprésentes à Java. D'autres manifestations indirectes impactent également lourdement la vie des habitants, comme en témoigne l'éruption accidentelle (liée à un forage) d'un volcan de boue à Sidoardjo dans Java est (Sudarsono et Sudjarwo, 2008)

Les dépôts quaternaires et sites préhistoriques ne sont pas exempts de ces diverses manifestations, qui se sont produites de façon répétitive dans le passé. La succession stratigraphique étudiée dans le dôme de Sangiran comprend ainsi d'importantes couches de cendres altérées, des tufs, et des lahars, provenant du Lawu et peut-être du Merapi. A l'est de Java tout comme à Sangiran, les auteurs insistent sur le rôle joué par certains édifices volcaniques dans le comblement des lagunes par d'épais lahars : ces lahars ont permis l'émersion de langues de terre qui ont facilité la colonisation de Java par les faunes de mammifères (Zaim, 1989 ; Maury *et al.*, 1987 ; Bandet *et al.*, 1989 ; Bellon *et al.*, 1989 ; Romeur, 1991) (Figure 15).

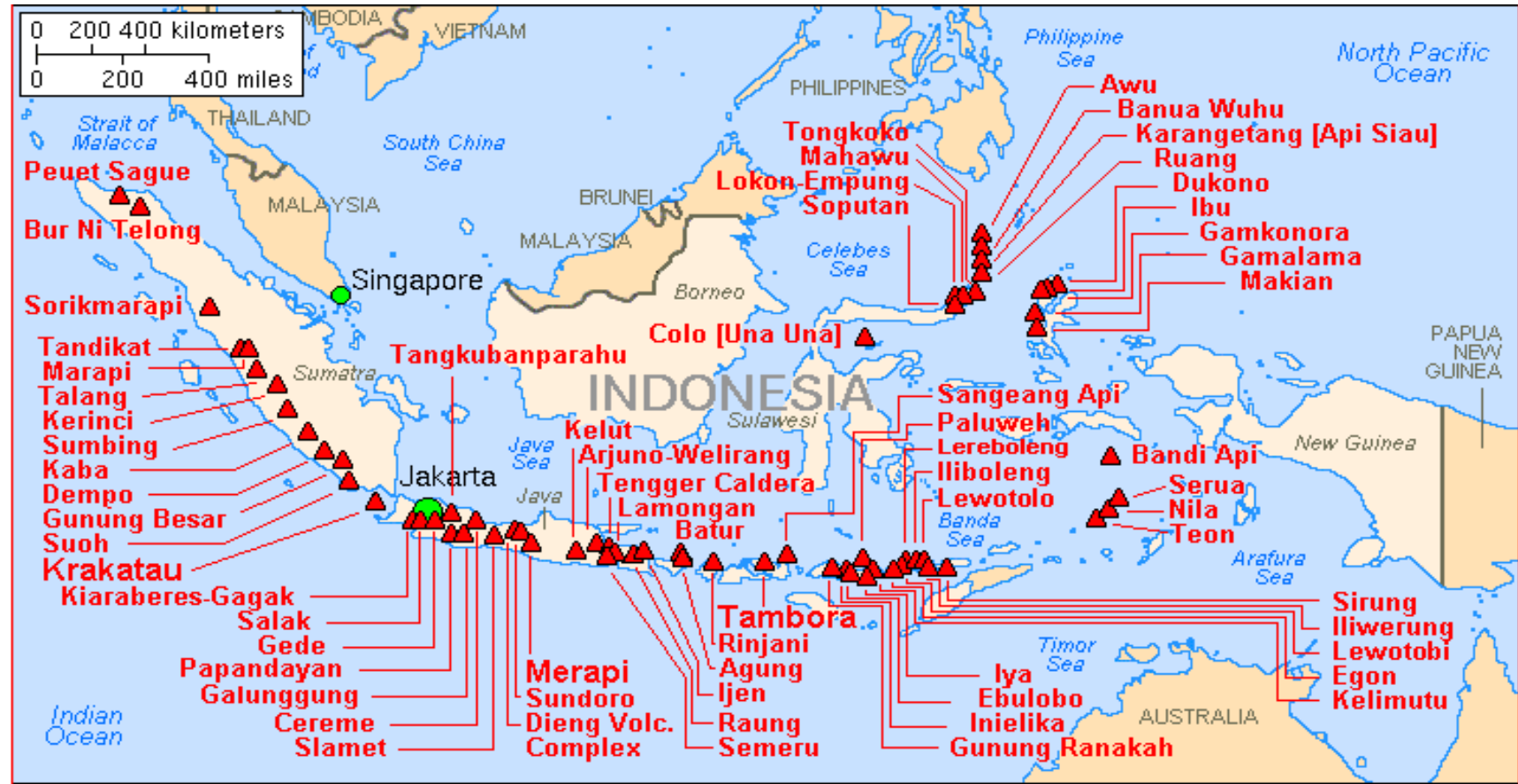


Figure 14.

Volcans majeurs de l'Indonésie, avec des éruptions depuis 1900 AD (USGS / CVO, 2001; carte de base modifié à partir Carte de la CIA, 1997)

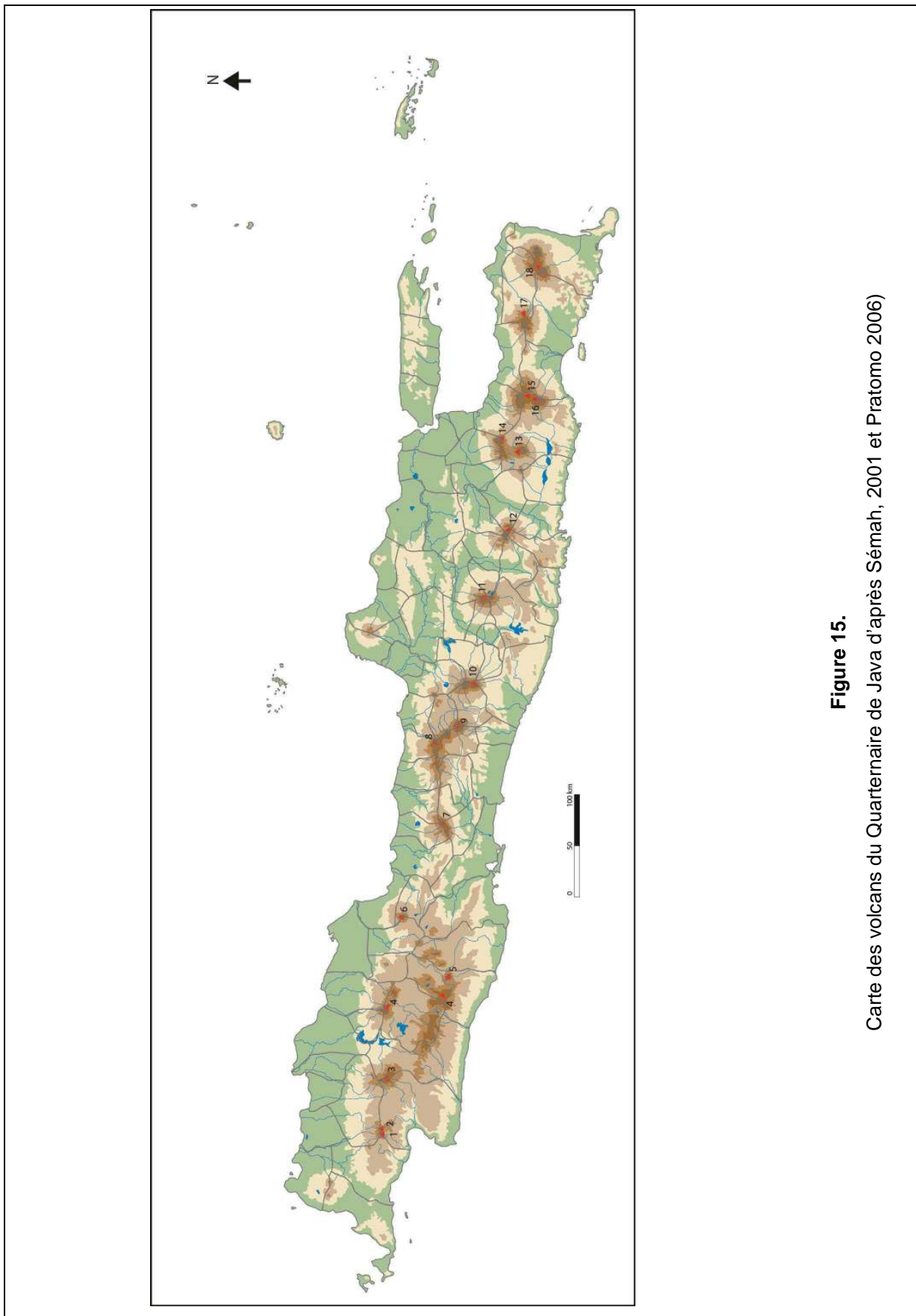


Figure 15.
Carte des volcans du Quaternaire de Java d'après Sémah, 2001 et Pratomo 2006)

II.1.6. Les paléoenvironnements de Java au Quaternaire

II.1.6.1. Le climat de Java

Le climat actuel de l'île de Java est contrasté, avec une saison sèche d'avril à octobre, le reste de l'année étant marqué par de fortes précipitations. Cependant, ce climat n'est pas uniforme sur l'ensemble de l'île (Grubb, 1974 ; Whitmore, 1975 ; Fontanel et Chantefort, 1978 ; Flenley, 1996 ; Stuijts *et al.*, 1998 ; Qu *et al.*, 2005) (Figure 16).

A l'ouest, le climat est presque équatorial, le maximum de précipitations est enregistré près de la ville de Bogor ; la saison sèche est peu marquée.

A l'est, le contraste saisonnier est beaucoup plus fort, la saison sèche plus longue et la région soumise à des conditions climatiques proches de celles d'Indonésie orientale, notamment aux alizés venus du sud-est. Ceci est particulièrement visible lors des périodes d'El Niño, et le fort événement qui a marqué le début des années 1980 a créé des conditions de vie difficile pour les habitants (Harger, 1995; Tapper, 2002).

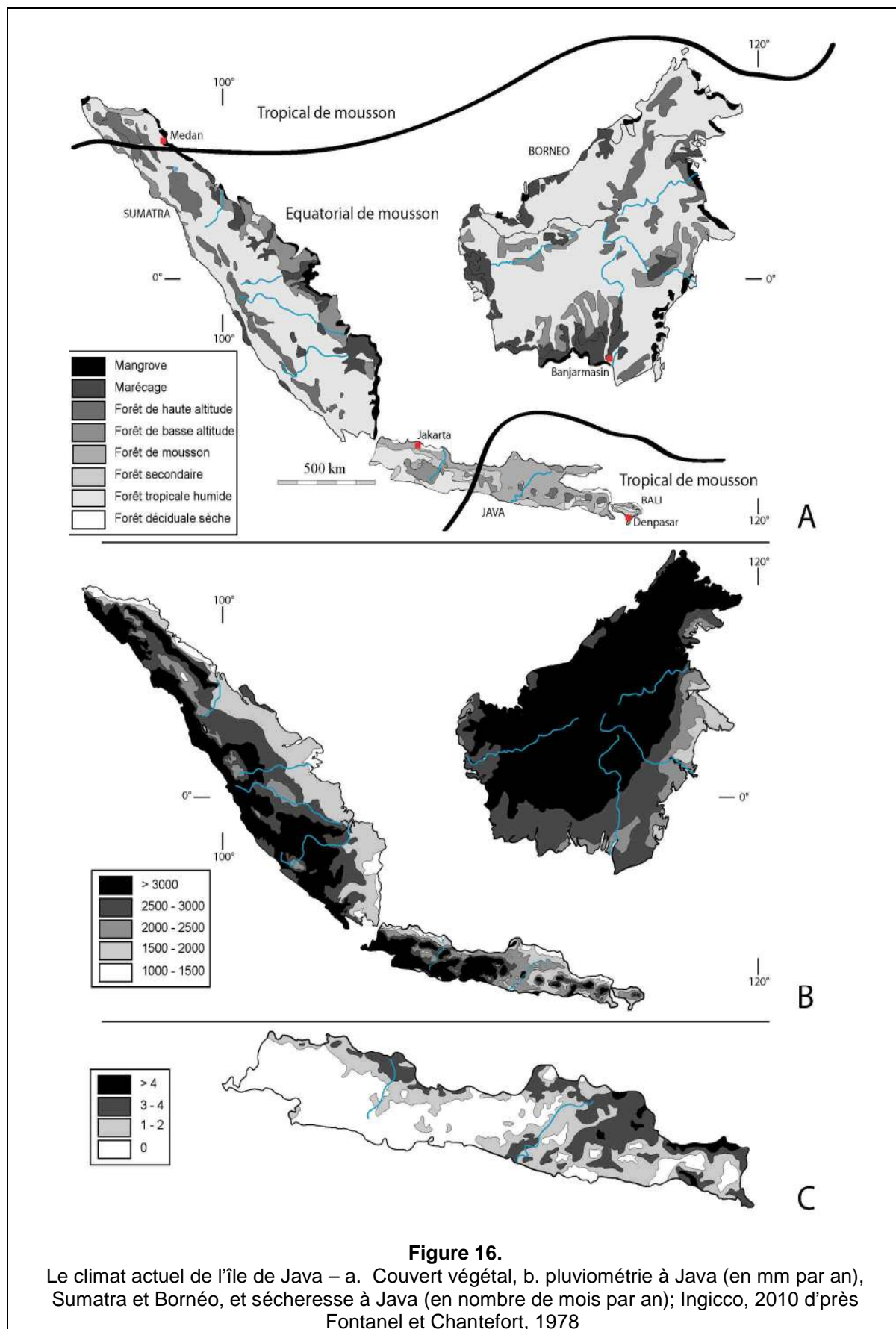


Figure 16.

Le climat actuel de l'île de Java – a. Couvert végétal, b. pluviométrie à Java (en mm par an), Sumatra et Bornéo, et sécheresse à Java (en nombre de mois par an); Ingicco, 2010 d'après Fontanel et Chantefort, 1978

II.1.6.2. Les formations végétales

L'île de Java est la plus peuplée d'Indonésie. L'activité humaine a beaucoup modifié la végétation naturelle. On y remarque cependant la présence de formations végétales dont la distribution reflète la partition climatique de l'île) (Figure 17).

- La forêt de mangrove et d'arrière-mangrove le long des rivages (ainsi que la forêt de plage).
- La forêt tropicale humide, présente sur tous les sommets élevés et aussi, à basse et moyenne altitude dans la partie occidentale de l'île.
- Une forêt plus ouverte est présente à l'est de l'île, avec des taxons adaptés à un climat dont le contraste saisonnier est marqué. Dans cette zone, la forêt tropicale humide est réduite à des isolats, à des galeries le long des cours d'eau, et demeure présente en altitude.
- On retrouve même à l'extrémité orientale de Java quelques zones où se développe une véritable savane (près du volcan de Baluran).
- La forêt marécageuse est présente en arrière des mangroves et près des marais et lacs.
- Enfin, il faut rappeler que le volcanisme très actif de Java perturbe régulièrement la végétation, entraînant le développement fréquent de forêts de reconquête.

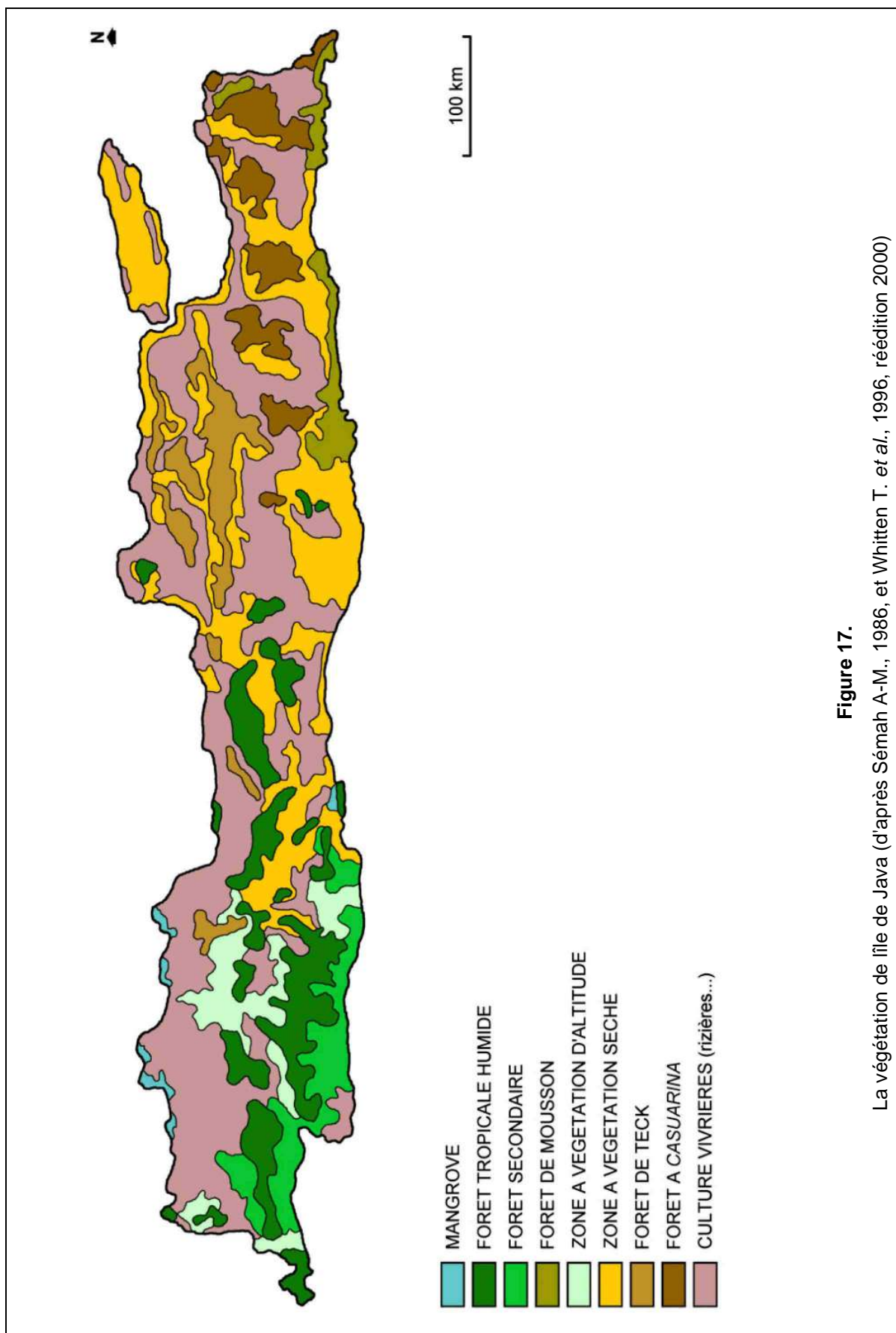


Figure 17. La végétation de l'île de Java (d'après Sémah A-M., 1986, et Whitten T. et al., 1996, réédition 2000)

II.1.6.3. Climats et végétations du passé

Il est évident que les variations climatiques du Quaternaire ont fortement influencé les paysages sur l'île de Java.

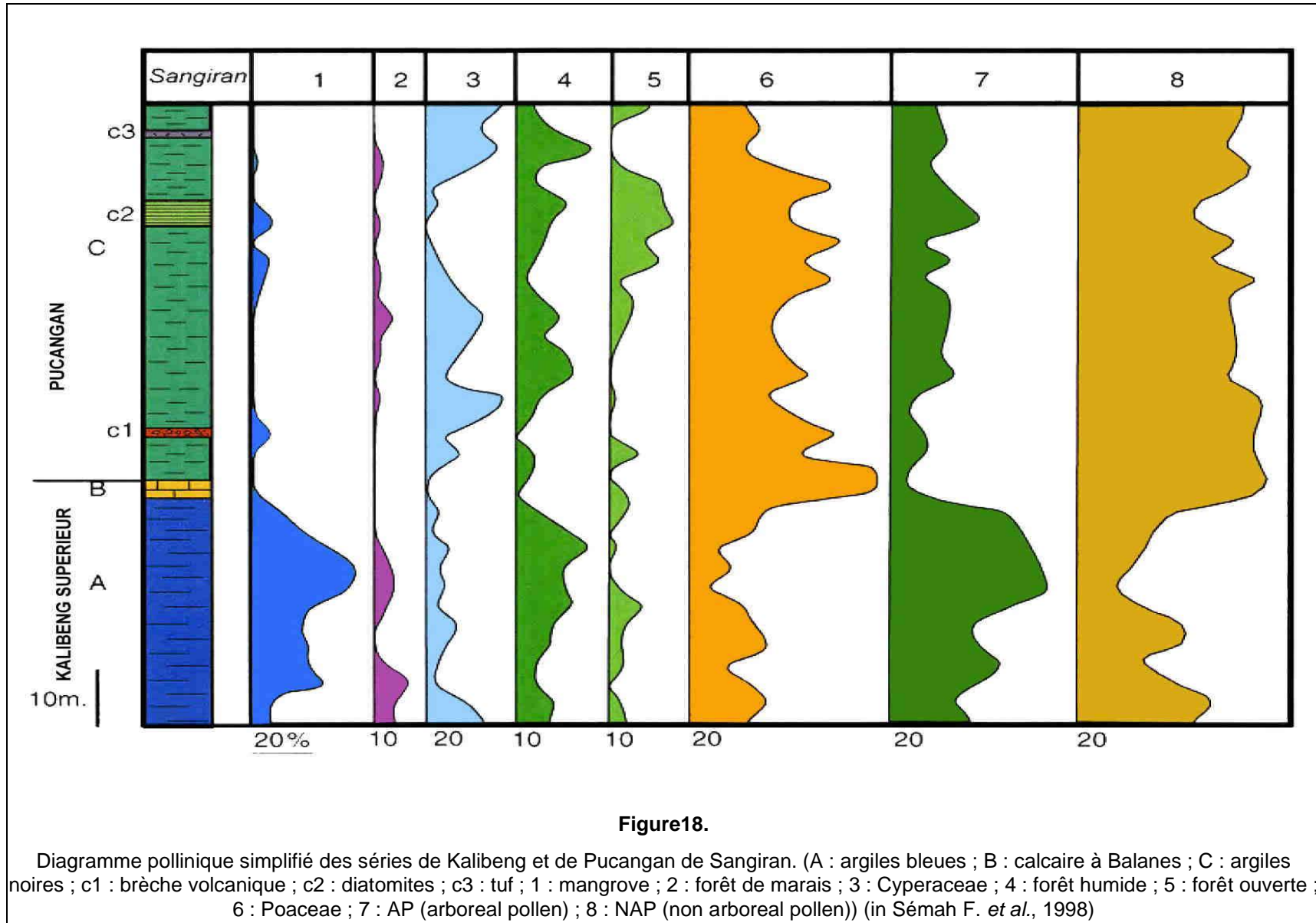
Les recherches ont montré que le Pléistocène inférieur avait été marqué par des climats peu contrastés, et donc la présence plus importante des formations végétales humides (Verstappen, 1975 ; 1980 ; Morley, 1982 ; Sémah et Sémah, 1998) (Figure 18).

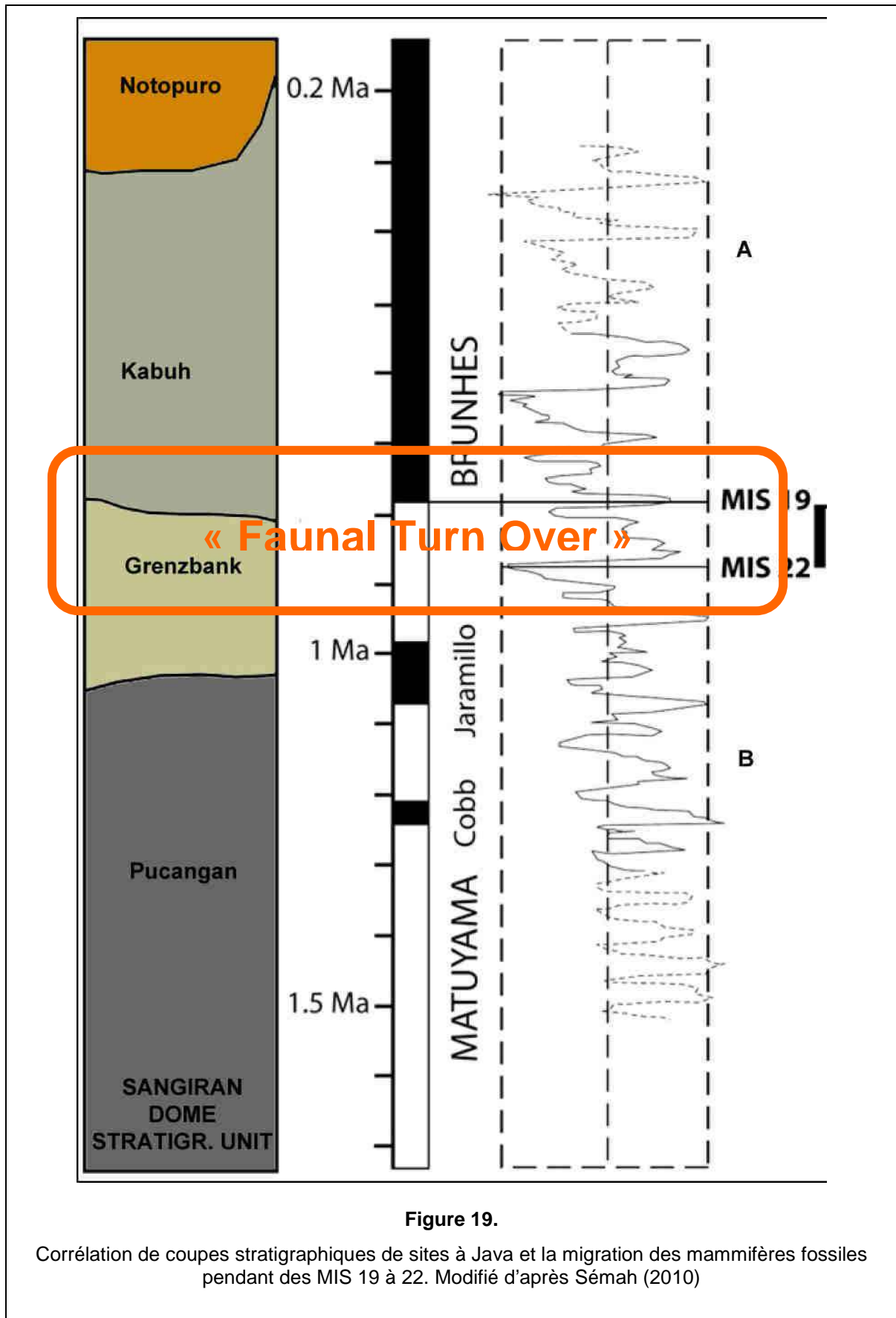
Au contraire, dès l'installation des conditions climatiques du Pléistocène moyen (MIS 22 à MIS 19, entre 1 et 0.8 Ma), des périodes plus sèches se sont installées allant vers le développement d'étendues ouvertes (herbacées ou arborées) lors des phases glaciaires, la forêt tropicale humide étant restreinte à l'état de galeries le long des rivières (Sémah, 1986 ; Sémah et Sémah, 2001 ; Sémah *et al.*, 2001 ; Larick *et al.*, 2001) (Figure 19).

Nous avons vu que les hauts niveaux marins et l'optimum climatique du début du Pléistocène supérieur ont coïncidé avec un développement important de la forêt tropicale humide. Le dernier maximum glaciaire a, quant à lui, représenté une période très sèche, suivie par un retour de la forêt à début de l'Holocène.

Ces modifications du paysage ont eu un impact sur les dépôts sédimentaires. Les périodes humides représentent plutôt des phases de biostasie, le couvert forestier retenant les sédiments. Par contre, les périodes sèches sont marquées par un couvert végétal beaucoup moins abondant qui entraînera une érosion importante des sols lors de la saison des pluies.

Les études sédimentologiques sont donc très importantes. Associées aux travaux de paléobotanique, elles permettront de reconstituer les climats du passé. De même, pour les études minéralogiques, surtout celles portant sur les minéraux argileux : il est fréquent que des sols à kaolinite se développent durant les phases hyper-humides, alors que les périodes à saisonnalité contrastée sont marquées par la formation de smectites durant la pédogénèse (Sémah *et al.*, 2004 ; Brasseur, 2009).





II.1.7. Le peuplement de Java au Quaternaire

II.1.7.1. Le peuplement d'une île en formation

L'histoire de l'Homme préhistorique à Java est avant tout liée à l'histoire paléobiogéographique de l'Asie du sud-est. A la suite de ses travaux sur l'archipel malais, Wallace (1860) avait prédit que l'ancêtre de notre espèce devait être recherché dans les forêts tropicales où vivent les grands singes tels que l'orang utan. Ce sont ces hypothèses qui ont conduit le médecin Eugène Dubois jusqu'à la découverte du « *Pithecanthropus erectus* » à Trinil en 1891 (Dubois, 1894).

La richesse et la diversité des provinces biogéographiques décrites par Wallace (1860) et ses successeurs prennent un relief particulier lorsque l'on considère, au-delà de la géographie actuelle, la dimension chronologique. Les données isotopiques, climatiques, eustatiques montrent à quel point la biogéographie régionale a été en perpétuelle évolution.

Nous avons vu que la mise en place des rythmes climatiques pendant le Quaternaire ont pu permettre l'arrivée de mammifères continentaux jusqu'à Java dès 2.6 M.a. Cependant, il est clair qu'à cette époque seule une petite partie de l'île existait : la dépression de Solo, par exemple, était encore recouverte par une mer ouverte (Djubiantono, 1992)

Il aura donc fallu attendre que la tectonique et le volcanisme permettent le comblement des bassins sédimentaires pour que les faunes ayant suivi les couloirs de migration puissent arriver jusqu'à Java. Ainsi, près de Kedungbrubus, les lahars du Gunung Butak (Duyfjes, 1936), formés il y a près de 1.9 M.a (Bandet *et al.*, 1989). ont permis la colonisation quasi-immédiate des langues de terre émergées. Une situation comparable se retrouve à Sangiran, où von Koenigswald relate la découverte de dents de cervidés dans les lahars inférieurs, dont la formation s'étend entre environ 2.0 et 1.7 M.a. (Sémah *et al.*, 2000).

L'histoire du peuplement par les faunes continentales est dépendant des oscillations du niveau marin, de l'ouverture et la fermeture de passages entre le continent et les îles. Il apparaît que jusqu'au Pléistocène supérieur, les faunes sont principalement d'origine siva-malaise, et sont très proches de celles découvertes dans la chaîne des Siwaliks en Inde, au pied de l'Himalaya (von Koenigswald, 1934 ; 1949 ; 1956). Rappelons que, du fait de la nature des

écosystèmes du plateau de la Sonde, quelle que soit la largeur des passages, certains taxons (giraffidés, camélidés et équidés) n'ont pas pu atteindre les îles du sud-est asiatique (Figure 20.A.).

II.1.7.2. Le cadre biostratigraphique de Java

Von Koenigswald a établi la première biostratigraphie des mammifères (et vertébrés continentaux dans leur ensemble) de Java en se basant sur les sites étudiés dans l'est de l'île par le *Geological Survey*. C'est ainsi que les faunes dites de Djétis, Trinil et Ngandong ont été publiées, respectivement rapportées à l'époque au Pléistocène inférieur, moyen et supérieur (von Koenigswald 1934).

Il appliqua par la suite ces horizons biostratigraphiques aux faunes découvertes dans le dôme de Sangiran (von Koenigswald 1934).

Les autres recherches qu'il a menées lui ont permis de décrire la faune de Bumiayu (plus ancienne que celle de Djétis), découverte au centre de Java (Terra, 1943; Hooijer, 1946 ; Aimi et Sudijono, 1979), la faune de Punung (près de Pacitan, dans les montagnes du sud) plus récente que celle de Ngandong (von Koenigswald, 1939 ; 1940), et la faune holocène de Sampung (Koenigswald, 1934).

Dès les années 1980 plusieurs auteurs ont entrepris de réévaluer ce cadre biostratigraphique, en prenant en compte les mécanismes de dispersion des animaux en fonction de la paléogéographie (de Vos et Sondaar, 1982 ; de Vos *et al.* 1982; de Vos, 1983 ; Sondaar, 1984 ; Aziz et de Vos, 1999). Selon les périodes, les animaux ont pu atteindre les archipels de façon fortuite, parfois en traversant des détroits (surtout les animaux bons nageurs tels que les proboscidiens) ou en passant par de véritables corridors.

La valeur des collections a également été prise en compte. En effet, certains horizons définis par von Koenigswald (1934) avaient été décrits (par exemple Djétis) sur la base de collections composites, et n'avaient donc pas de réelle valeur chronologique.

Les horizons actuellement utilisés sont ceux de (Figure 20b):

- Satir, près de Bumiayu (Java central), faune insulaire typique incluant le *Mastodon* (c. 1.5 à 2 Ma) : il s'agit ici d'une faune principalement constituée d'espèces pouvant traverser de petits bras de mer.
- Ci Saat (même région), du Pléistocène inférieur (vers 1.2 M.a.), avec des carnivores, le *Stegodon* et probablement *Homo erectus* : cet horizon montre des échanges plus importants avec le continent.
- La faune endémique de Trinil, fin du Pléistocène inférieur, vers 1 Ma. Il s'agit d'une faune à fort caractère endémique.
- La faune de Kedung Brubus, début du Pléistocène moyen vers 0.7 Ma (échanges avec le continent, arrivée d'*Elephas*).
- La faune de Ngandong (fin du Pléistocène moyen).
- La faune de Punung (début du Pléistocène supérieur), avec des animaux de la forêt tropicale humide (*Pongo*).

Seule la faune de Punung serait d'origine sino-malaise. Viennent ensuite les faunes holocènes qui correspondent à la faune de Sampung. Ce cadre biostratigraphique permet aux chercheurs de disposer d'un outil de référence scientifique plus solide et en phase avec le développement des datations absolues.

Cependant, il ne représente que quelques étapes d'une histoire qui a duré près de deux millions d'années. Il est donc important dans le futur que des fouilles paléontologiques et archéologiques le complètent et permettent, progressivement, de classer plus finement les horizons paléontologiques à Java.

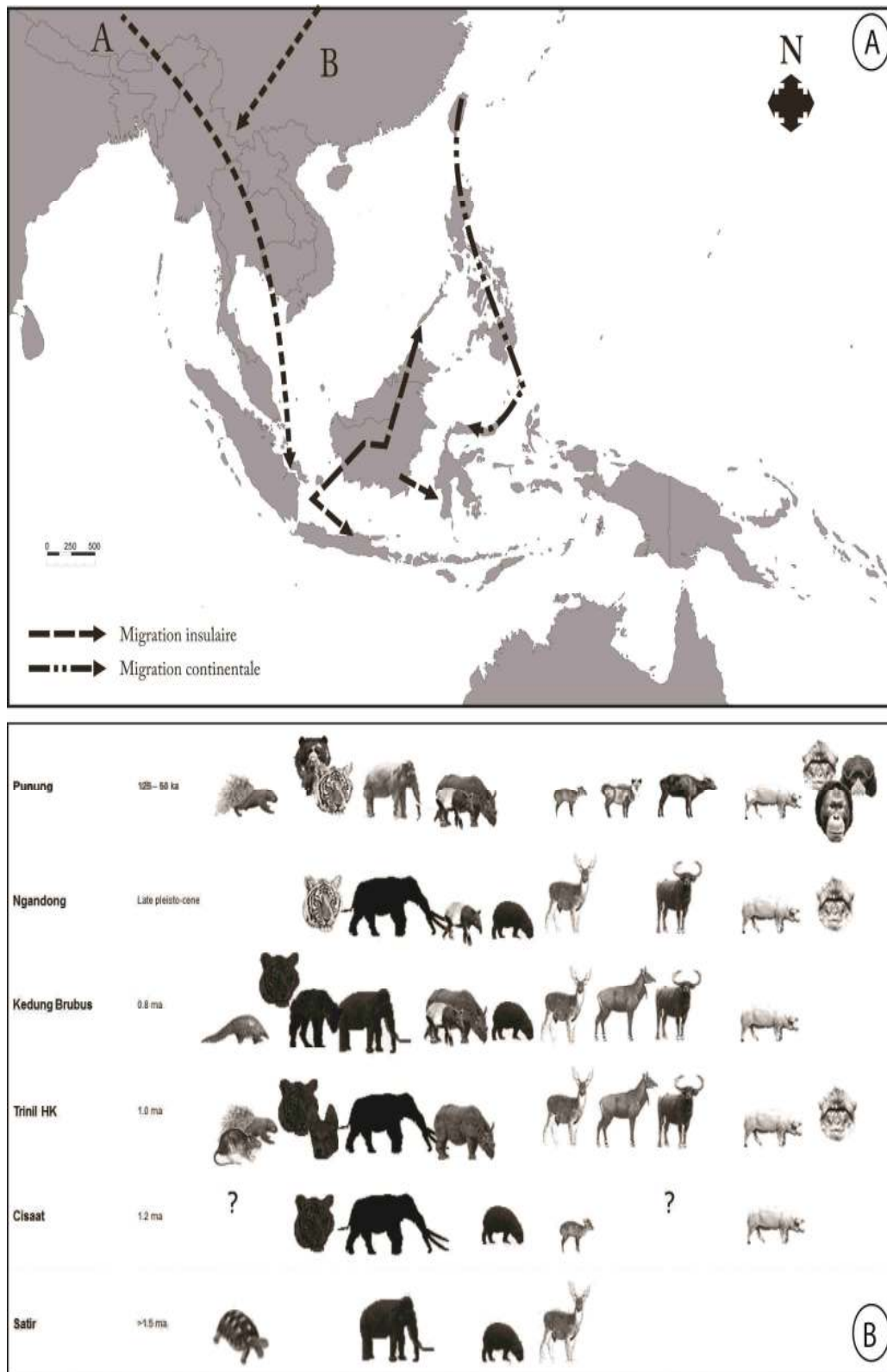


Figure 14.

Migration des mammifères fossiles (A) ; Cadre biostratigraphique des faunes (B) (d'après de Vos et Sondaar, 1982 ; de Vos *et al.*, 1982b ; de Vos, 1983 ; Sondaar, 1984 ; Aziz et de Vos, 1989)

II.2. LA DEPRESSION DE SOLO DANS L'ILE DE JAVA

II.2.1. Le contexte de la dépression de Solo

La structure géomorphologique de Java se caractérise par de grands ensembles orientés d'ouest en est et constitués d'une succession de reliefs et de dépressions du nord vers le sud (van Bemmelen, 1949).

La dépression de Solo se trouve dans la partie est de l'île, entre les collines de Kendeng au nord et les montagnes du sud (Figure 21). Elle est jalonnée de grands volcans quaternaires (Duyfjes, 1936) dont l'activité a fortement marqué l'histoire géologique et paléontologique de Java.

L'ensemble de cette région est capitale pour l'histoire du peuplement de Java puisqu'elle a livré de très nombreux restes d'*Homo erectus*, dont les découvertes se situent autant dans la dépression elle-même que dans les collines des Kendeng. Nous avons par ailleurs mentionné l'importance des sites des montagnes du sud pour comprendre le peuplement ancien de Java.

Par conséquent, il est important de ne pas considérer la zone de Solo comme une unité isolée, mais dans son contexte global de dépression prise entre deux chaînes anticlinales.

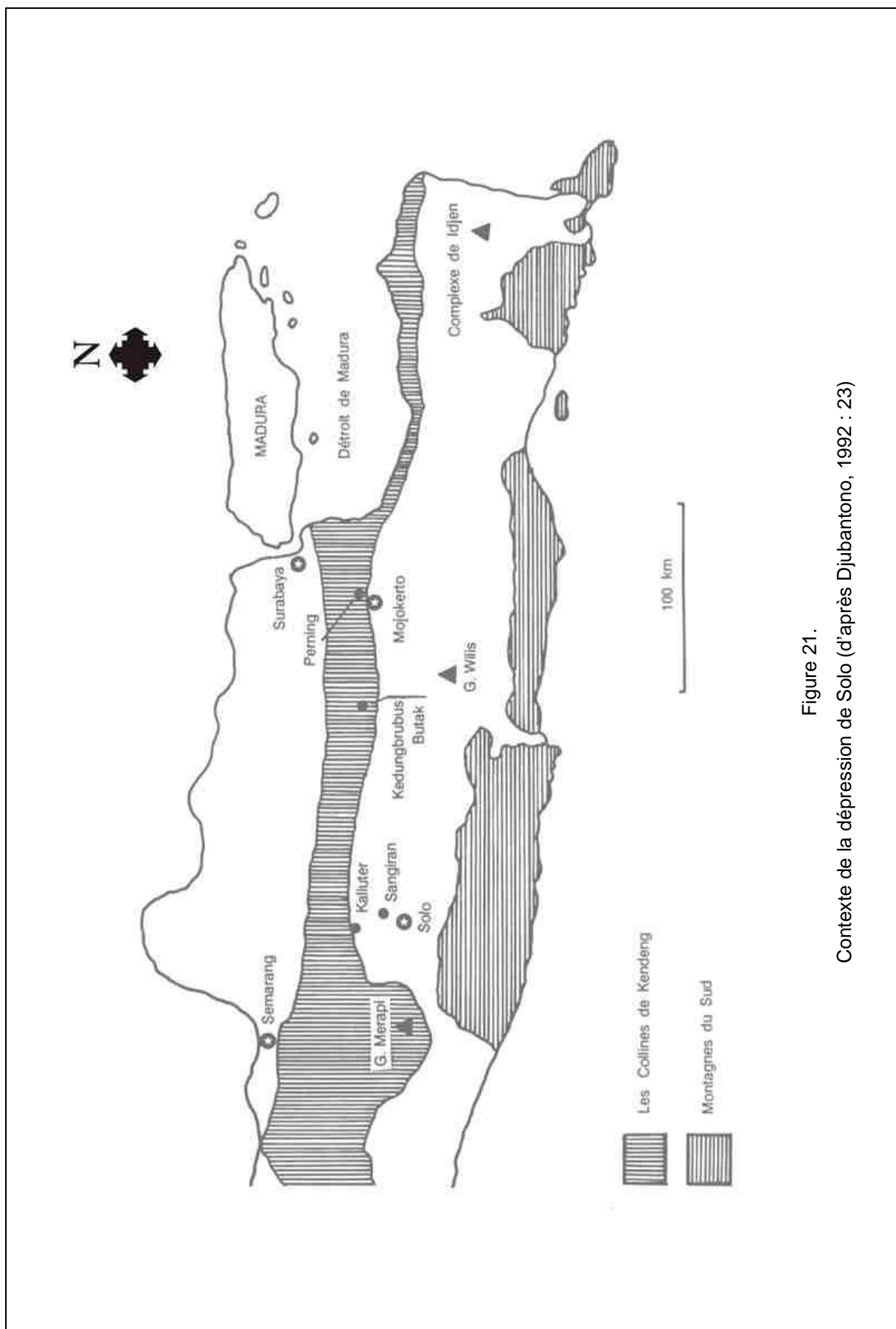


Figure 21.
Contexte de la dépression de Solo (d'après Djubantono, 1992 : 23)

II.2.2 Les collines de Kendeng

II.2.2.1. Formation des collines

Les collines de Kendeng, prolongées à l'ouest par la chaîne des Serayu et la zone de Bogor, font partie d'un anticlinorium formé durant le Plio-Pléistocène lors de phases tectoniques intenses (Figure 22).

Le premier soulèvement des collines de Kendeng a débuté au Tertiaire (Oligo-Miocène; P. Saint-Marc *et al.*, 1977). Les plus anciennes brèches volcaniques et les plus anciens dépôts se forment. Le second soulèvement, également au Tertiaire, se place au Mio-Pliocène. On observe de nombreux plissements et des failles. D'importants dépôts détritiques, résultat de l'érosion, ont sédimenté au nord et au sud des collines.

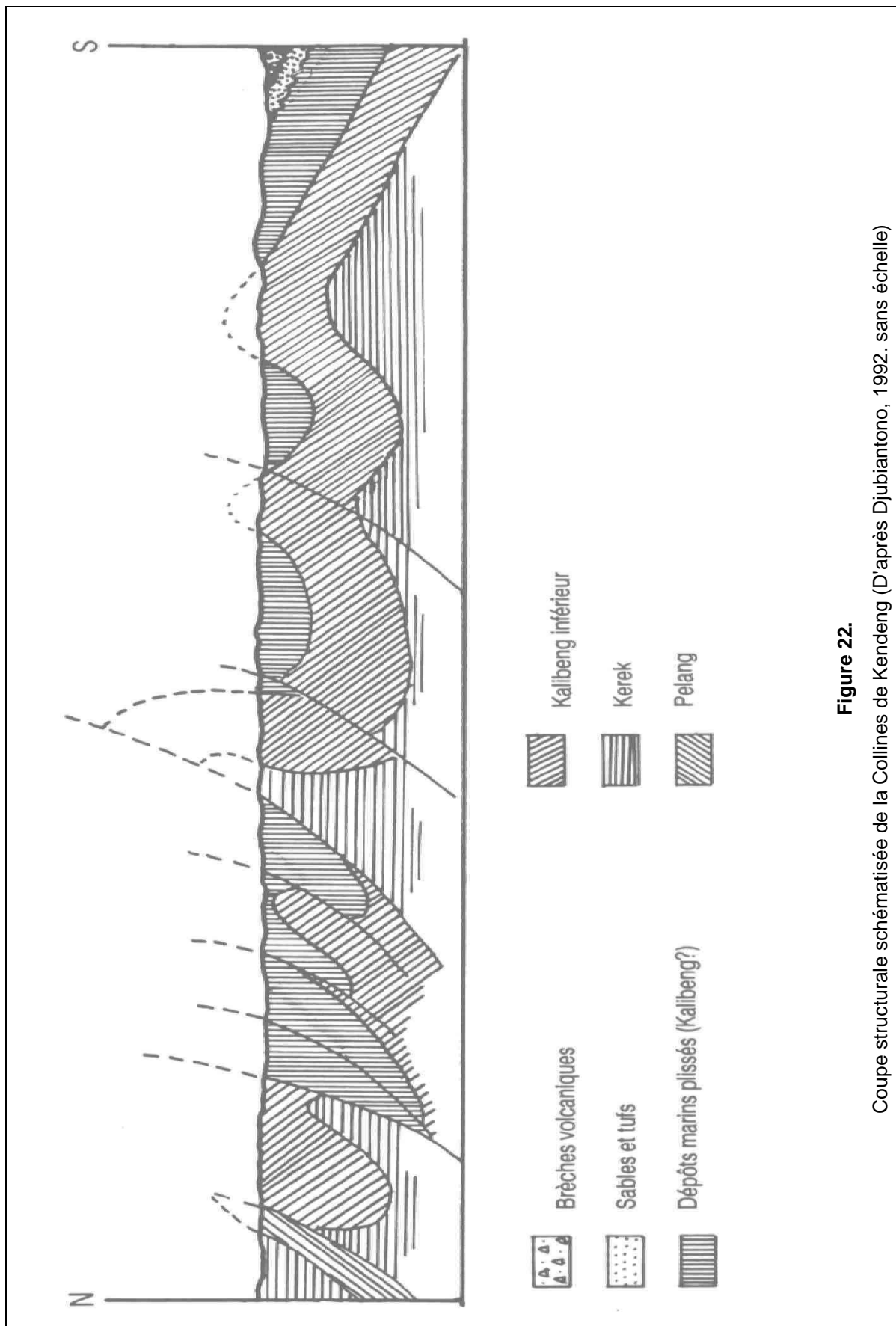


Figure 22. Coupe structurale schématisée de la Collines de Kendeng (D'après Djubiantono, 1992. sans échelle)

II.2.2.2. Sites paléontologiques des Kendeng de Java est

C'est au sein des collines de Kendeng que se trouvent les sites historiques liés à la première découverte des *Homo erectus* (Figure 23). Dans l'est de Java, Dubois avait entrepris de collecter les fossiles près de Kedung Brubus. Il avait suivi l'exemple des fouilles organisées par le peintre Raden Saleh, en relation avec la tradition javanaise ancienne qui dit que les fossiles, *balung buto* (os de géants en javanais) sont les restes des victimes des batailles des grandes épopées du Ramayana. C'est là qu'il découvrit la première mandibule fossile par Eugène Dubois. C'est peu après, en 1891, qu'il fit les découvertes de Trinil.

Plus à l'est, c'est dans les derniers plissements orientaux des Kendeng qu'a été découvert le crâne de Mojokerto, seul reste d'enfant d'*Homo erectus*, dont l'âge est estimé à 1.8 Ma.

C'est enfin dans les Kendeng de Java est qu'ont été définis les noms de grandes formations géologiques (Kalibeng, Pucangan, Kabuh, Notopuro) ainsi que les horizons paléontologiques de von Koenigswald (Djetis, Trinil et Ngandong).

Les âges anciens obtenus à Mojokerto (Jacob et Curtis, 1971), ainsi que sur certains horizons fossilifères proches de Kedung Brubus, montrent que les collines des Kendeng renferment les premiers dépôts continentaux de Java est colonisés par les mammifères et par l'Homme il y a près de 1.8 Ma. (Bandet *et al.*, 1989). Les chercheurs attribuent notamment au volcan Wilis le dépôt de brèches et de lahars qui ont contribué à cette émergence.

Plus près de la partie centrale de Java, les terrasses alluviales de la rivière Solo et de ses affluents ont livré, pour des périodes plus récentes, les restes fossiles de Ngandong, de Sambungmacan et de Ngawi (Hommes de la Solo, qui représentent les *Homo erectus* les plus tardifs) (Widianto, 1993).

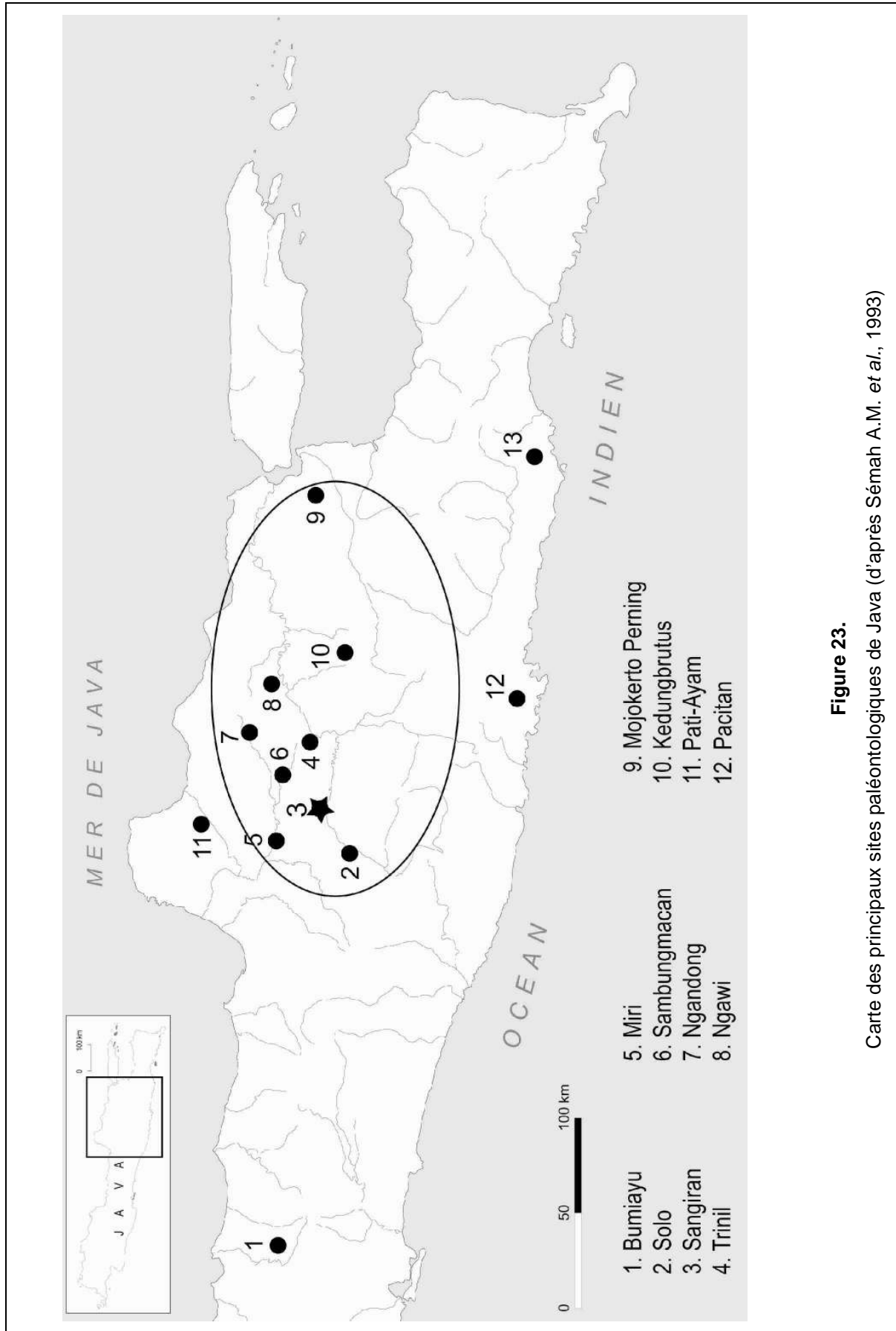


Figure 23.

Carte des principaux sites paléontologiques de Java (d'après Sémah A.M. et al., 1993)

II.2.2.3. Sites paléontologiques des Kendeng de Java central

La partie des collines de Kendeng située au nord de la ville de Solo est moins marquée par les dépôts volcaniques. Les sédiments de mer ouverte y ont perduré plus longtemps, et sont suivis par des faciès régressifs.

C'est au sein de ces derniers que Miri (près de Gemolong), un conglomérat deltaïque plissé contenant quelques artefacts et une faune de mammifères datée d'environ 1 Ma, a été mis en évidence à Kedung Cumpleng (Djubiantono et Sémah, 1992). Ce conglomérat avait été décrit comme volcanique par van Es (1931) mais est en réalité formé de galets de calcaire marneux troués par les lithophages. Cette découverte est importante, car elle permet de dater le dernier plissement des collines près du dôme de Sangiran, et montre que ces dernières étaient colonisées par les mammifères et par l'Homme au Pléistocène inférieur.

II.2.3. Les Montagnes du sud

Les montagnes du sud sont constituées de formations andésitiques, calcaires récifaux, tufs et brèches tectoniques au sud de la ville de Solo et près de la ville de Pacitan. Elles ont été plissées à la suite de plusieurs événements tectoniques, puis karstifiées (Sartono, 1964). Les collines calcaires forment, près de Punung, un paysage caractéristique appelé les Mille Collines (*Gunung Sewu* en javanais) qui recèle de très nombreuses grottes et fissures fossilifères. C'est dans les fissures du karst qu'ont été retrouvés les restes de la faune de Punung (MIS 5) datée entre 130 et 120 ka (Figure 24).

Les datations absolues (séries de l'uranium) montrent que la karstification a débuté durant la première partie du Pléistocène moyen (il y a plus de 0.5 Ma) (Hameau *et al.*, 2007). Les recherches archéologiques ont permis de retracer plus de 300 ka d'histoire d'occupation humaine, notamment dans les longs remplissages des grottes de Song Terus, Tabuhan et Song Keplek (Sémah *et al.*, 2004). Les plus anciennes traces d'occupation des grottes par les hominidés remontent à 120 ka.

Les remplissages des cavités nous informent aussi sur les groupes humains qui ont peuplé la région au début de l'Holocène, leur comportement par la découverte de plusieurs sépultures (Simanjuntak *et al.* 2002 ; 2004 ; 2006; Sémah *et al.* 2004).

Les industries lithiques se retrouvent aussi dans les formations alluviales, qui ont été piégées dans le karst (comme à Song Terus) ou qui se retrouvent dans les lambeaux disséqués des terrasses alluviales. L'industrie de Patjitan a été découverte par von Koenigswald (1935) sur les terrasses de la rivière Baksoko, et attribuée au Pithécantrophe. Elle est constituée de choppers, chopping tools, bifaces et gros éclats en andésite, brèche silicifiée, chert, calcédoine, bois fossile, voire corail fossile, toutes roches abondantes dans cette zone.



Figure 24.

Mille Collines (Gunung Sewu en javanais), sud de la ville de Solo et près de la ville de Pacitan (@Semenanjung 2011).

II.2.4. L'activité volcanique et la formation des dômes dans la dépression de Solo

II.2.4.1. Les volcans

La position de Java sur l'arc volcanique interne de l'archipel indonésien a favorisé, au Quaternaire, la mise en place de grands volcans dont la plupart sont toujours actifs. Leurs produits ont affecté l'aspect et l'environnement de la région. Les nuées ardentes ont entraîné la mort directe ou par étouffement de nombreux animaux ; ils ont localement détruit la végétation et développé des microclimats par l'obscurité créée par les nuages de cendres par exemple.

Il est difficile de connaître avec précision l'histoire des cônes volcaniques dans la région de Solo, ou de reconstituer leur état pendant les phases précoces du Quaternaire que nous étudions. Il est certain que plusieurs d'entre eux existaient et étaient très actifs aux alentours de Sangiran. Ceci est prouvé par les épaisses séries argileuses issues de l'altération de cendres qui sont observées dans la stratigraphie; par les lahars, épais parfois de plusieurs dizaines de mètres, qui démontrent la relative proximité du centre éruptif ; par les couches tufacées et cendreuses intercalées dans la stratigraphie.

II.2.4.2. Les dômes de la dépression

Les derniers plissements qui ont affecté les couches plastiques du flanc sud des collines de Kendeng représentent un phénomène tectonique global à l'échelle de l'île de Java. La situation est différente pour les dômes qui émergent de la dépression de Solo (van Bemmelen, 1949).

Ces dômes sont relativement peu marqués: celui de Sangiran, d'une surface totale de plus de 55 km², a dû culminer avant son érosion à environ 200-250 m d'altitude, hauteur à comparer à l'altitude de 80-90 m. relevée dans la dépression à proximité. Mais ces dômes représentent de véritables boutonnières tectoniques qui, une fois ouvertes par l'érosion, nous permettent d'observer la stratigraphie des dépôts dans la dépression de Solo.

Parmi les dômes existant dans la dépression de Solo à proximité de Sangiran (Figure 25), nous relevons, outre le dôme de Sangiran qui sera abordé plus loin:

- Le dôme de Gemolong, où affleurent les couches pliocènes, et en particulier la transition entre dépôts de mer ouverte (marnes à Globigérines de Kalibeng inférieur) et de mer peu profonde (séries argileuses bleues de Kalibeng supérieur).
- Le dôme de Simo, où se retrouve une série fossilifère palustre noire (comparable aux couches de Pucangan de Sangiran) surmontée d'un conglomérat.

Le dôme de Bringinan, où on trouve également un ensemble d'argiles noires fossilifères.

II.2.4.3.. La formation des dômes

Le mécanisme précis de formation de ces dômes n'est pas encore totalement expliqué par les auteurs. Il est probable que la masse des volcans, tel le volcan Lawu, a considérablement pesé sur les dépôts sédimentaires plastiques de la dépression, et que des effondrements partiels ont conduit à la formation de légers plissements sur le pourtour du mont Lawu. Ceci pourrait expliquer notamment la formation des anticlinaux de Sangiran, Bringinan et Gemolong sur le pourtour du Lawu.

Il est possible aussi que les anticlinaux soient, au moins en partie, le résultat de la formation de zones en surpression au sein des alluvions plastiques de la dépression de Solo. Cette hypothèse serait confortée par la présence, au centre du dôme de Sangiran, d'un petit volcan de boue ramenant à la surface de nombreux fragments de roches très anciennes (ce volcan de boue est toujours actif et observable au centre du dôme de Sangiran).

Les dômes ont été rapidement attaqués par l'érosion après leur formation, donnant ainsi une morphologie anticlinale inversée. L'activité des rivières a permis la mise au jour des niveaux sédimentaires les plus anciens et la découverte des importants fossiles qu'ils contenaient.

Les phénomènes d'érosion et de glissements de terrain rendent compliquée l'interprétation de ces structures capitales pour les découvertes préhistoriques de la région.

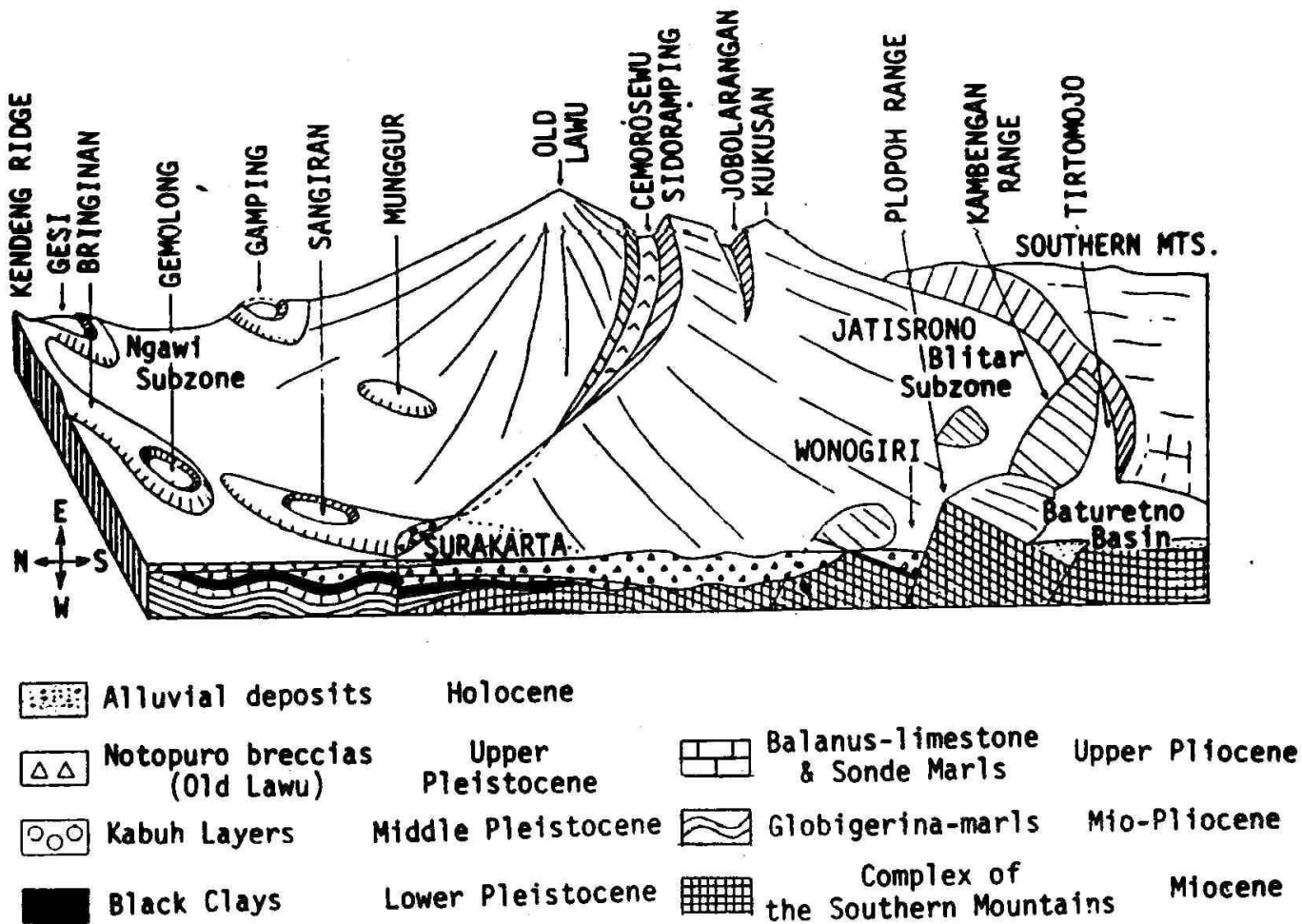


Figure 25.

Schéma Tectonogram d' l'effondrement volcanotectonic d'ancien Lawu à la fin de la période du Notopuro (Watanabe et Kadar, 1985 après van Bemmelen, 1949).

II. 2.5 L'évolution des paysages dans la dépression de Solo près de Sangiran

Les travaux de T. Djubiantono (1992) permettent de progresser dans la reconstitution de la paléogéographie de la dépression de Solo aux alentours de Sangiran durant le Quaternaire (Sémah *et al.* 2001). Ils sont basés sur les découvertes faites sur le flanc sud des collines de Kendeng, et sur celle de la stratigraphie des différents dômes rencontrés au sein de la dépression (Figure 26).

- A la fin du Pliocène, vers 2.6 Ma, un environnement de mer ouverte domine dans la région, lié à de larges passages ouverts vers le nord entre les premiers massifs probablement émergés des collines de Kendeng. C'est l'époque du dépôt des marnes à globigérines de Kalibeng inférieur.
- L'activité volcanique aboutissant à la formation d'argiles issues de l'altération des cendres, les abaissements du niveau marin liés aux variations climatiques, concourent ensuite à former un environnement marin peu profond (argiles de Kalibeng supérieur). Les reliefs émergés voient leur surface s'accroître grâce à l'intensité de cet alluvionnement. D'immenses forêts de mangrove se développent le long des lignes de rivage.
- Vers 1.8 Ma se forment d'épais dépôts de lahars qui permettent à de larges bandes de terre d'émerger sur le pourtour des volcans: ces terres sont rapidement colonisées par les mammifères et demeurent bordées par de vastes étendues saumâtres et par des forêts de mangrove.
- Le processus de comblement de la lagune de Solo par des séries argileuses se poursuit au Pléistocène inférieur, parfois interrompu par des incursions marines lors des remontées eustatiques. Cependant, les dépôts demeurent plus marins vers le nord (côté collines de Kendeng) qu'au niveau de Sangiran. Les séries argileuses sont interrompues par des couches tufacées lors d'éruptions majeures.
- Vers 0.9 Ma, les collines de Kendeng (et probablement aussi les montagnes du sud) connaissent leur dernière phase orogénique, et les produits de leur érosion se déposent très rapidement dans la dépression de

Solo. Ces phénomènes entraînent le retrait définitif de la mer de la dépression de Solo.

- Les principaux traits structuraux de la zone sont donc en place dès le début du Pléistocène moyen. L'érosion des structures, l'activité volcanique et les dépôts associés finiront donc, durant la seconde partie du Pléistocène, de façonner la région de Sangiran pour lui donner l'aspect que nous connaissons aujourd'hui. Il est important de noter que le Pléistocène moyen a été marqué par une activité volcanique extrêmement forte, qui a induit le dépôt de séries très puissantes de cendres, tufs, sables et graviers, dont seule une partie mineure a résisté à une érosion immédiate par les multiples rivières qui couraient dans la dépression.

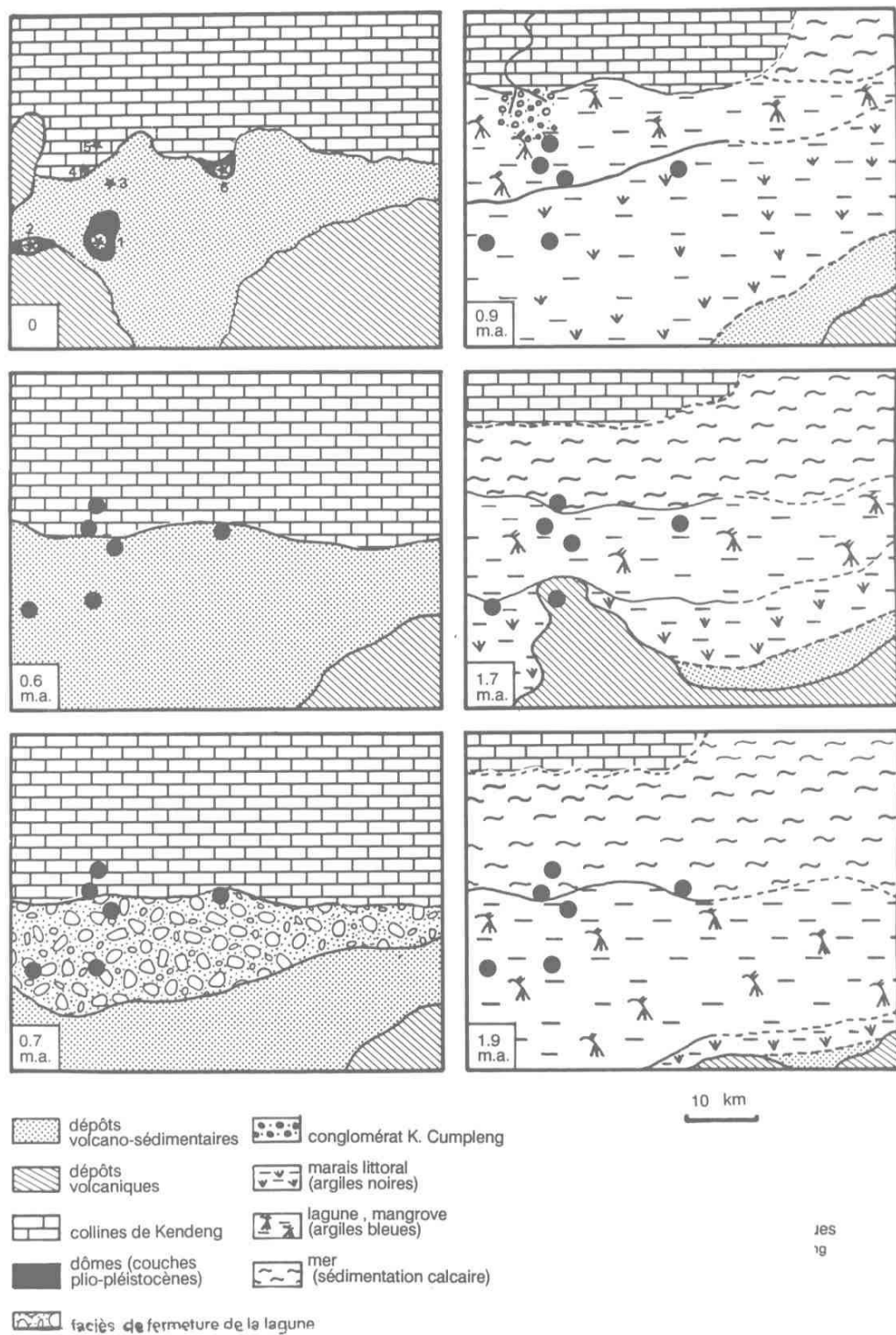


Figure 26.

Représentation schématisée des données paléogéographiques près de Sangiran (1. Sangiran, 2. Simo, 3. Gemolong, 4. Soko, 5. Barong, et 6. Bringinan) (Djubiantono, 1992)

II.3. LE DÔME DE SANGIRAN

II.3.1. Le dôme de Sangiran

Le dôme de Sangiran est donc un anticlinal profondément érodé par la rivière Cemoro, qui est un affluent de la Bengawan Solo. Il a une extension d'environ 8 x 7 km, et dépend administrativement des deux *kabupaten* de Sragen et de Karanganyar.

Le dôme de Sangiran est mentionné de façon précoce dans la littérature (van Es, 1931) pour l'intérêt de ses formations stratigraphiques qui nous informe sur le contenu profond de la dépression de Solo (Figure 27) . Ce n'est que vers le milieu des années 1930 que Ralph von Koenigswald y entreprend des prospections systématiques et découvre le crâne Sangiran 2 (PII), dont la similitude avec celui de Trinil (holotype de l'*Homo erectus* découvert par Dubois) est apparue frappante.

Le mythe relatif aux *balung buto* (cf. Kedung Brubus) marquait depuis longtemps les traditions locales, impliquant une "conservation de fait" qui aida von Koenigswald dans ses recherches. Ces dernières commencèrent par l'organisation de grandes battues permettant la récolte de fossiles, surtout après les grandes pluies.

Le dôme a été l'objet de nombreuses recherches, notamment de la part des équipes de l'Institut de Technologie de Bandung (Sartono, 1982), de l'Université Gajah Mada (Widiasmoro, 1984 ; 1998), du *Geological Survey* de Bandung (Watanabe et Kadar, 1985), ainsi que de plusieurs équipes internationales (par exemple Sémah, 1984; A.-M. Sémah, 1986; Bartstra, 1985) avant que ne s'y développent les travaux menés sous la coordination du *Sangiran Early Man Site Conservation Centre* (Widianto, 2001; Simanjuntak et Budiman, 2011).

Depuis 1996, le dôme de Sangiran est inscrit au Patrimoine Mondial de l'Humanité, ce qui implique une responsabilité particulière pour les chercheurs qui y travaillent de développer une collaboration étroite avec les autorités en charge du site.

Chapitre II : L'histoire des premiers peuplements insulaires au croisement du volcanisme, de la tectonique, du climat et des paysages

Nous verrons plus loin que dans cette optique de développement patrimonial, l'un des objectifs de cette thèse est de permettre la mise en place d'un 'circuit scientifique' dans le quart sud-est du dôme.

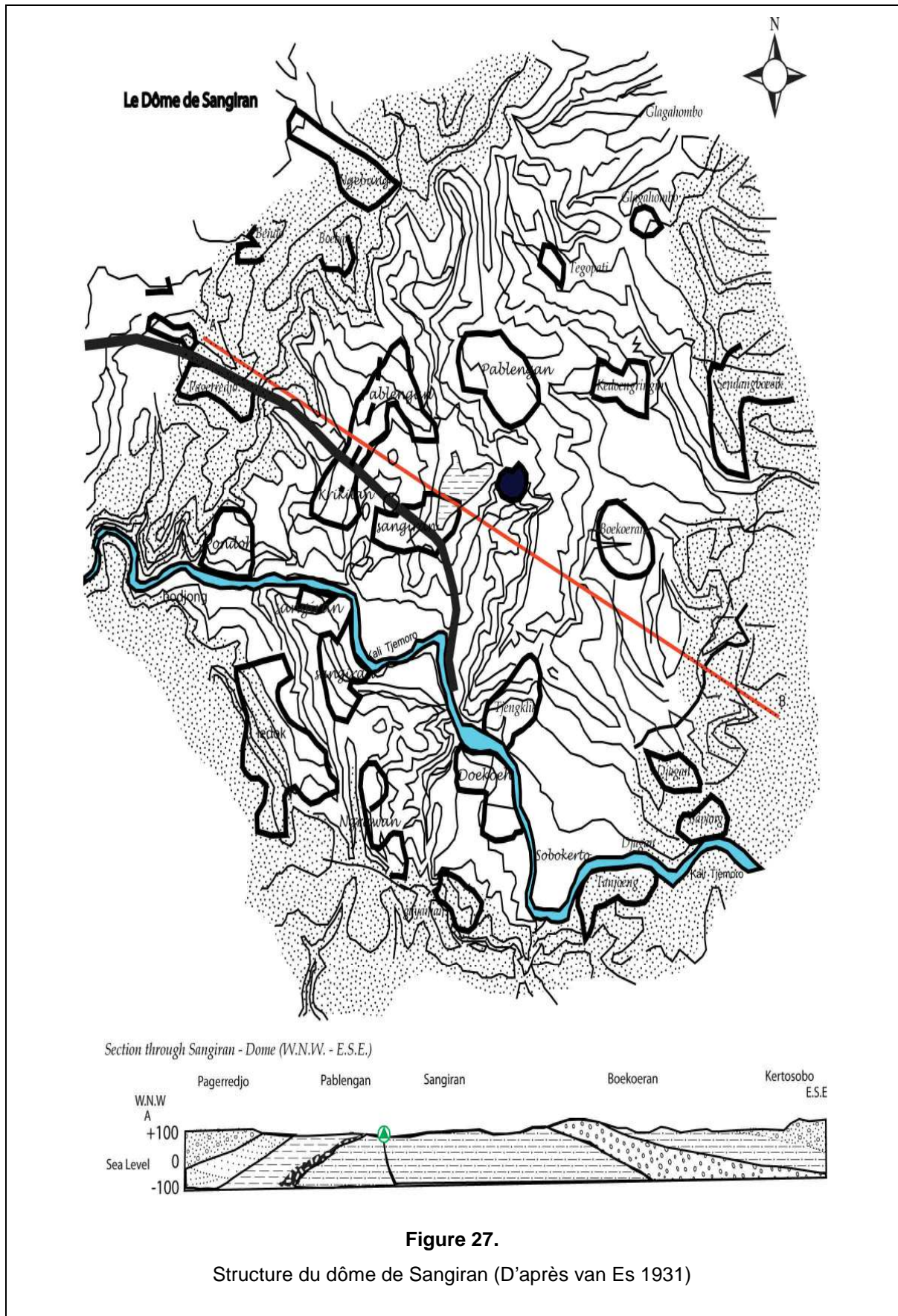


Figure 27.

Structure du dôme de Sangiran (D'après van Es 1931)

II.3.2. La série stratigraphique du dôme

II.3.2.1. Définitions et terminologie

Von Koenigswald "importa" à Sangiran les dénominations stratigraphiques et biostratigraphiques établies dans la partie orientale de Java (Duyfjes, 1936). C'est ainsi que la série stratigraphique étudiée utilisa les termes de Kalibeng, Pucangan, Kabuh, Notopuro (voir Figure 02). Les horizons faunistiques de Djetis, Trinil et Ngandong étant associés aux trois derniers.

Ces dénominations impliquent d'être considérées de façon relative, pour plusieurs raisons.

- Le lien entre le nom des formations et celui des horizons biostratigraphiques est évident, et lié à la situation de Java est. Il est difficile de s'affranchir de cette situation 'historique' qui pourtant est peu adaptée à la région de Solo.
- A Java est, les termes "Pucangan, Kabuh, Notopuro" correspondent à de véritables formations géologiques dont la cartographie et l'extension justifient l'appellation. Mais dans la région de Sangiran, les variations horizontales de faciès sont très importantes, et nous n'avons pas affaire à de véritables 'formations'.
- Les faciès sont très souvent diachroniques: les argiles bleues de mer peu profonde se retrouvent par exemple entre la fin du Pliocène et le Pléistocène moyen: il est donc délicat d'accorder une valeur chronostratigraphique à un faciès.

En conséquence:

- Nous continuerons à utiliser les termes stratigraphiques pour des raisons de clarté.
- Nous les associerons à ceux, locaux, mis en place durant les années 1980 (Watanabe et Kadar, 1985) mais qui maintiennent un concept de formation peu adapté au cas de Sangiran.
- En ce qui concerne les horizons biostratigraphiques, nous ferons référence aux travaux plus récents, qui placent les découvertes de Sangiran dans le cadre défini par de Vos (de Vos 1994 ; de Vos *et al.*, 2007).

II.3.2.2. La série stratigraphique

- Kalibeng supérieur (Puren)

Les dépôts de mer ouverte n'affleurent quasiment pas à Sangiran. Mais les argiles bleues sont largement présentes au centre du dôme. Elles sont postérieures au début du Gélasién, limite marquée à Gemolong par le passage des marnes à globigérines aux argiles bleues.

La régression marine est bien marquée dans les diagrammes palynologiques qui montrent un large développement de la forêt de mangrove, avec la présence de la forêt tropicale humide dans l'arrière-pays (Sémah, 1982).

Les argiles bleues sont surmontées par un calcaire littoral à nombreux fossiles de *Balanus*.

Vers 1.8 million d'années (Sémah, 1984b), l'activité volcanique amène le dépôt d'importants lahars qui vont combler en partie la lagune et constituer des terres émergées. Leur épaisseur est extrêmement variable à Sangiran, et la matrice mélange des éléments continentaux et marins littoraux (ainsi que de rares fossiles de mammifères continentaux).

A la même époque se forment les premiers dépôts d'eau douce (argiles à *Corbicula*) qui marquent la limite avec l'unité suivante.

- Pucangan (Sangiran)

La sédimentation entre les lahars et au-dessus (lorsque la subsidence en a permis le retour) est représentée par le dépôt d'argiles noires plus riches en mollusques d'origine marine à la base et dulçaquicoles dans la partie supérieure (Figure 28). Elle est interrompue par des passées diatomitiques de milieu saumâtre (voire des argiles bleues) qui marquent certainement des transgressions eustatiques et des tufs volcaniques. Les couches de Pucangan se sont déposées entre 1.7 et 0.9 Ma environ (Sémah *et al.*, 2000)

Les reconstitutions paléobotaniques permettent de mettre en évidence d'importants contrastes entre périodes 'glaciaires' et 'interglaciaires' (Tokunaga *et al.*, 1985). Pendant les périodes interglaciaires, la pluviosité est très importante, le climat très humide et chaud et la forêt tropicale humide (Dipterocarpacees, Podocarpacees, Fagacees, fougères arborescentes...) se développe. Le couvert

végétal est très dense, la strate végétale inférieure assez pauvre, la canopée peut atteindre 50 à 60 mètres de hauteur (Sémah, 1984).

Cette forêt se transforme pendant les périodes glaciaires. En effet, des saisons sèches, plus longues, se mettent en place. La nature des associations végétales se modifie avec l'apparition d'une forêt saisonnière, la monsoon forest opposée à la rain forest (*Casuarina junghuniana*-Casuarinacées, *Tectona grandis*-Verbenacée, Fabacées) (Sémah, 1984).

C'est dans cette unité argileuse qu'ont été découverts les plus anciens restes humains de Sangiran. Les faunes sont rattachées aux horizons biostratigraphiques de Satir (von Koenigswald y a retrouvé des restes de *Mastodon* et de *Geochelone*) puis de Ci Saat.

- La zone du Grenzbank

Au sommet de cet ensemble argileux, la sédimentation change pour prendre un aspect conglomératique. Ce « banc-limite », le « Grenzbank » de Von Koenigswald (1940), mélange des éléments marins brisés (mollusques, coraux, balanes), des graviers et des restes de mammifères provenant de l'érosion des collines proches. Il sépare les unités de Pucangan et de Kabuh. Ce faciès caractéristique est contemporain du dernier plissement des chaînes de collines qui encadrent la dépression de Solo, dont il représente en partie les produits d'érosion. Son âge a été estimé à 0.9 Ma. (Figure 29).

- Kabuh (Bapang)

Les séries volcano-sédimentaires de Kabuh sont constituées principalement d'argiles, de tufs, de graviers et de sables à stratification entrecroisée (Figure 30). Elles sont très riches en fossiles et ont livré un très grand nombre d'ossements fauniques ainsi que la majeure partie des restes d'homininés découverts à Sangiran (von Koenigswald, 1940 ; Grimaud-Hervé *et al.*, 1994). La faune (Bouteaux *et al.*, 2007) et la flore (Sémah et Sémah, 2001) indiquent la mise en place de conditions typiques du Pléistocène moyen, avec un milieu ouvert pouvant, dans certains cas, être comparé à une savane. Ces conclusions concordent avec les analyses poussées sur les horizons de paléosols mis en évidence au sein des couches de Kabuh (Brasseur, 2009).

La majeure partie des datations radiométriques donnent un âge remontant au tout début du Pléistocène moyen (vers 0.8 Ma) (Jacob et Curtis, 1971 ; Nishimura *et al.*, 1981 ; Suzuki *et al.*, 1985 ; Saleki 1991). Cependant, certains chercheurs ont analysé un nombre significatif de ponces dans la partie nord du dôme indiquant un âge plus ancien (Pléistocène inférieur) (Larick *et al.*, 2001) qui est encore discuté (probabilité de reprise des ponces à partir d'effluents volcaniques plus anciens).

Peu de collections paléontologiques significatives statistiquement sont disponibles dans les horizons de Kabuh, mais les résultats disponibles rattachent ces couches aux horizons de Trinil puis de Kedungbrubus (de Vos et al, 1982) (notamment en se fondant sur l'apparition du genre *Elephas*).

- Notopuro (*Pohjar*) et formations récentes

Des lahars plus récents, ainsi que des couches volcano-fluviatiles, reposent en discordance sur les couches de Kabuh. Les datations par les méthodes à l'argon effectuées sur des andésites donnent un âge maximal de 150 ka à ces dépôts (Saleki, 1997).

Les couches de Notopuro sont antérieures au bombement du dôme, lui-même suivi de son érosion et des dépôts alluviaux qui datent du début de l'activité de la rivière Cemoro, dont on retrouve encore la trace sur la crête du dôme, notamment dans la région de Ngebung.



Figure 28.

Dépôt d'argiles noires de Pucangan à Bukuran



Figure 29.

Grenzbank, bloc du « banc-limite » à Dayu



Figure 30.
Dépôts volcano-sédimentaires de Kabuh à Pucung

II.3.3. Découvertes paléanthropologiques et archéologiques

II.3.3.1. Les fossiles anthropologiques du Pléistocène inférieur et moyen

Les restes humains découverts à Sangiran sont, pour la plupart, sortis de leur contexte stratigraphique.

De nombreuses dents isolées ont été recueillies, dont certaines en contexte stratigraphique. L'analyse endostructurale interne des dents de Ngebung et Pucung a permis de confirmer leur appartenance à l'espèce *Homo erectus*, et a confirmé que Ardjuna 9 devait être attribué au genre *Pongo* (Zanolli, 2011).

Dans l'unité de Pucangan, ont été mis au jour des restes mandibulaires (Sartono 1964, von Koenigswald 1968, 1973, 1975 ; Kaifu *et al.* 2005) : Sangiran 1b (corps mandibulaire droit avec P3 à M2), Sangiran 6a (fragment de corps mandibulaire avec P3 à M1) , Sangiran 9 (corps mandibulaire sans branches montantes avec M2 et M3 droites et gauches), Sangiran 22 (corps mandibulaire avec toutes les dents sauf les incisives centrales) et des restes crâniens incomplets : Sangiran 4 (arrière crâne et maxillaire), Sangiran 27 (face), Sangiran 31 (arrière-crâne déformé) (Widianto 1993 ; Sartono 1982, Grimaud-Hervé 1998). Tous ces restes humains sont particulièrement massifs. Les dimensions montrent une robustesse, confirmée par l'examen des superstructures qui sont très développées (crêtes d'insertion musculaire, torus transverse occipital).

La mandibule Sangiran 8 (corps mandibulaire avec M3) et le fémur Kresna 11 ont été découverts dans le Grenzbank, pour ne citer que les plus importants. Ce dernier découvert en contexte stratigraphique, montre l'aplatissement antéro-postérieur caractéristique des *Homo erectus* avec une position basse de la largeur minimale (Grimaud-Hervé *et al.*, 1994). L'épaisseur des insertions musculaires analysée à partir des données scanner confirme ce diagnostic (Puymerail, 2011).

Enfin, l'unité de Kabuh a livré de très nombreux restes crâniens et dentaires, les restes post-crâniens étant beaucoup plus rares. Les plus complets correspondent aux calottes crâniennes de Sangiran 2 (PII), Sangiran 10 (PVI), Sangiran 12 (PVII), Sangiran 38, Grogol Wetan et Bukuran et aux crânes pratiquement complets de Sangiran 17 (PVIII) et du Pithécanthrope IX (Figure 31).

Ces hommes fossiles constituent un ensemble homogène, leurs caractères morphologiques sont très proches. La forme de leur crâne est sphéroïde, celui-ci

est allongé, bas, avec une largeur maximale du crâne en position reculée et basse. Les superstructures crâniennes sont marquées : le torus sus-orbitaire, la carène sagittale, les lignes temporales avec un *torus angularis* à l'extrémité de la ligne supérieure, les crêtes mastoïdienne et sus-mastoïdienne, la crête occipito-mastoïdienne et le torus occipital transverse. Leurs bosses pariétales ne sont pas développées et des méplats parasagittaux bordent la carène. La forme du crâne en vue postérieure est donc pentagonale à bords convergents vers le haut. Leur capacité crânienne est en moyenne de 900 cc. La face, conservée sur Sangiran 17, est large et massive. L'espace inter-orbitaire est large, laissant la place au bec encéphalique du cerveau. (Antón, 2003 ; Kaifu, 2008 ; Grimaud-Hervé et Widiyanto, 2000).

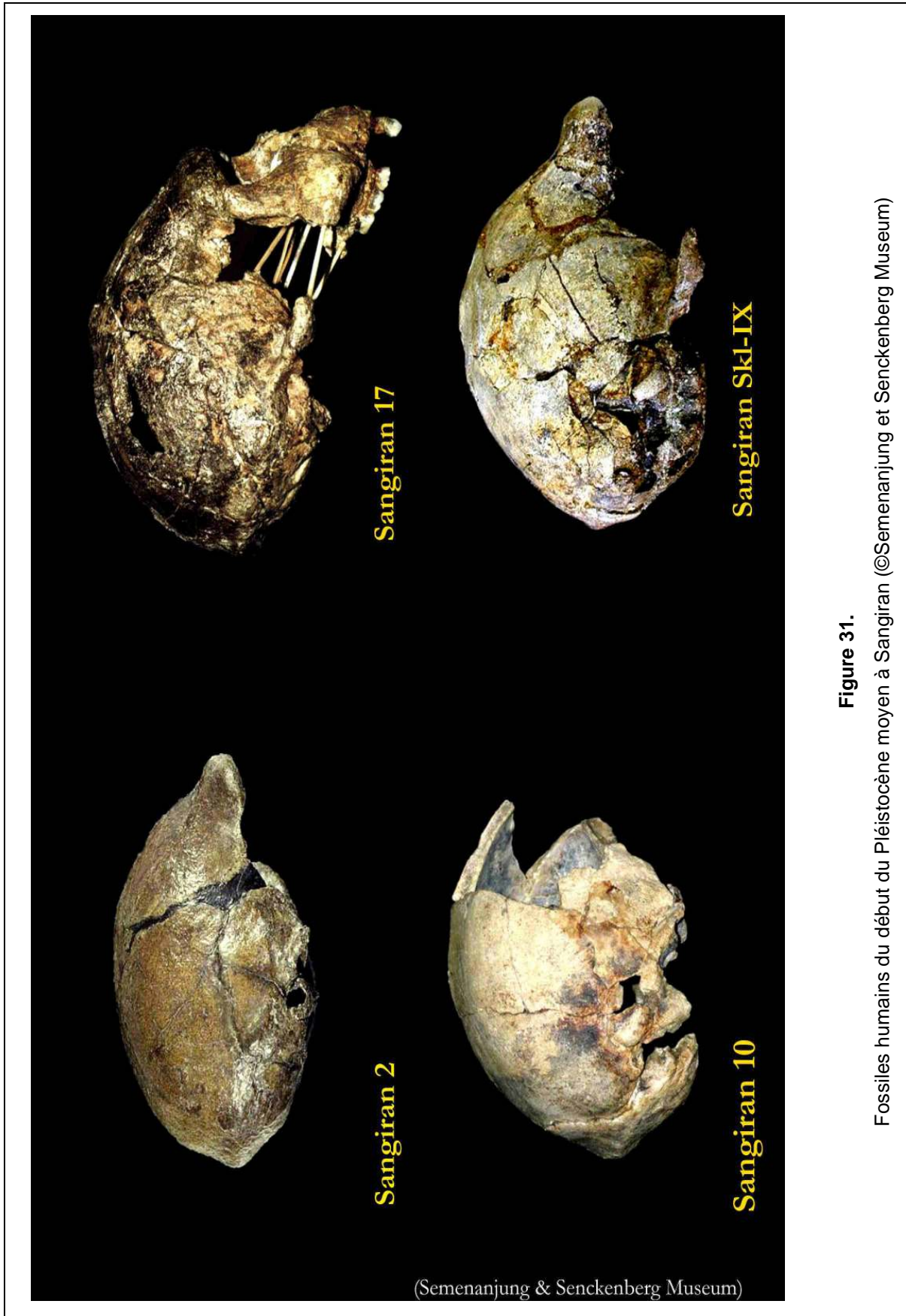


Figure 31.
Fossiles humains du début du Pléistocène moyen à Sangiran (@Semenanjung et Senckenberg Museum)

II.3.3.2. Les découvertes archéologiques à Sangiran

- **Les « éclats de Sangiran »**

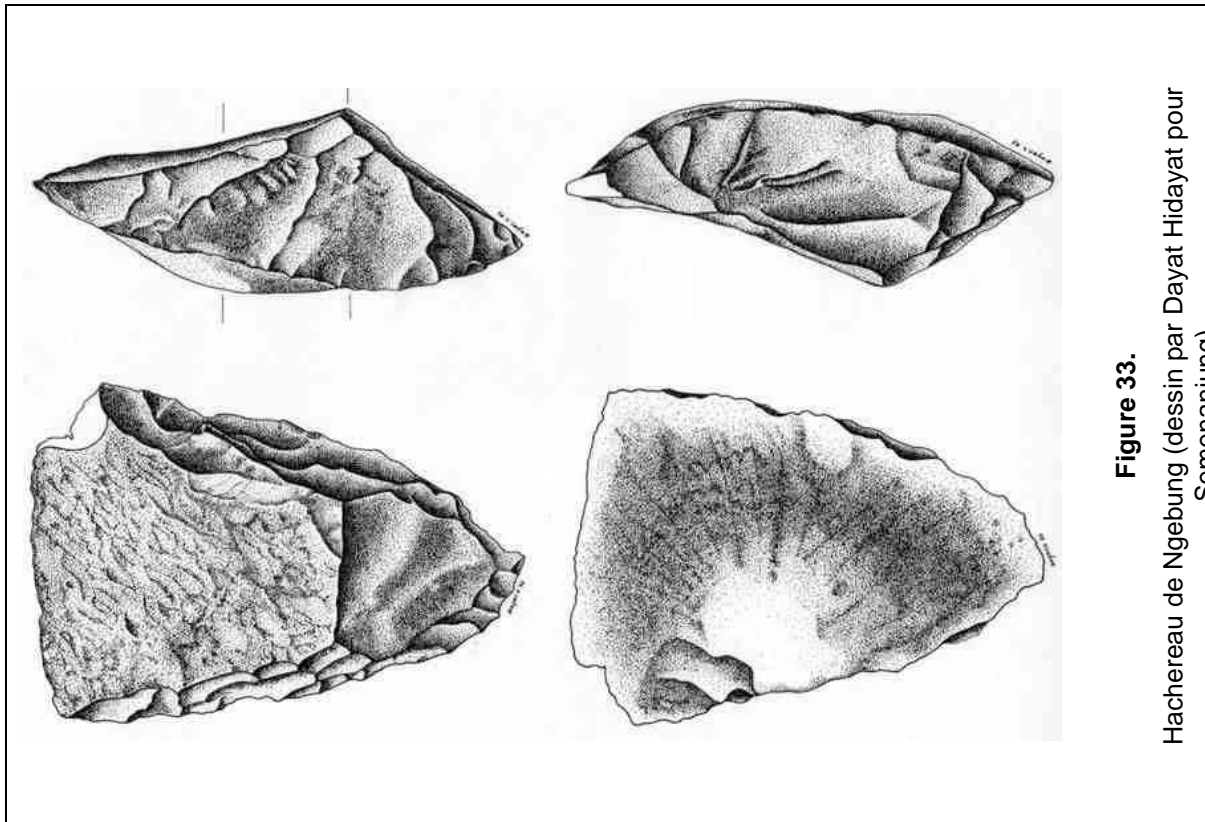
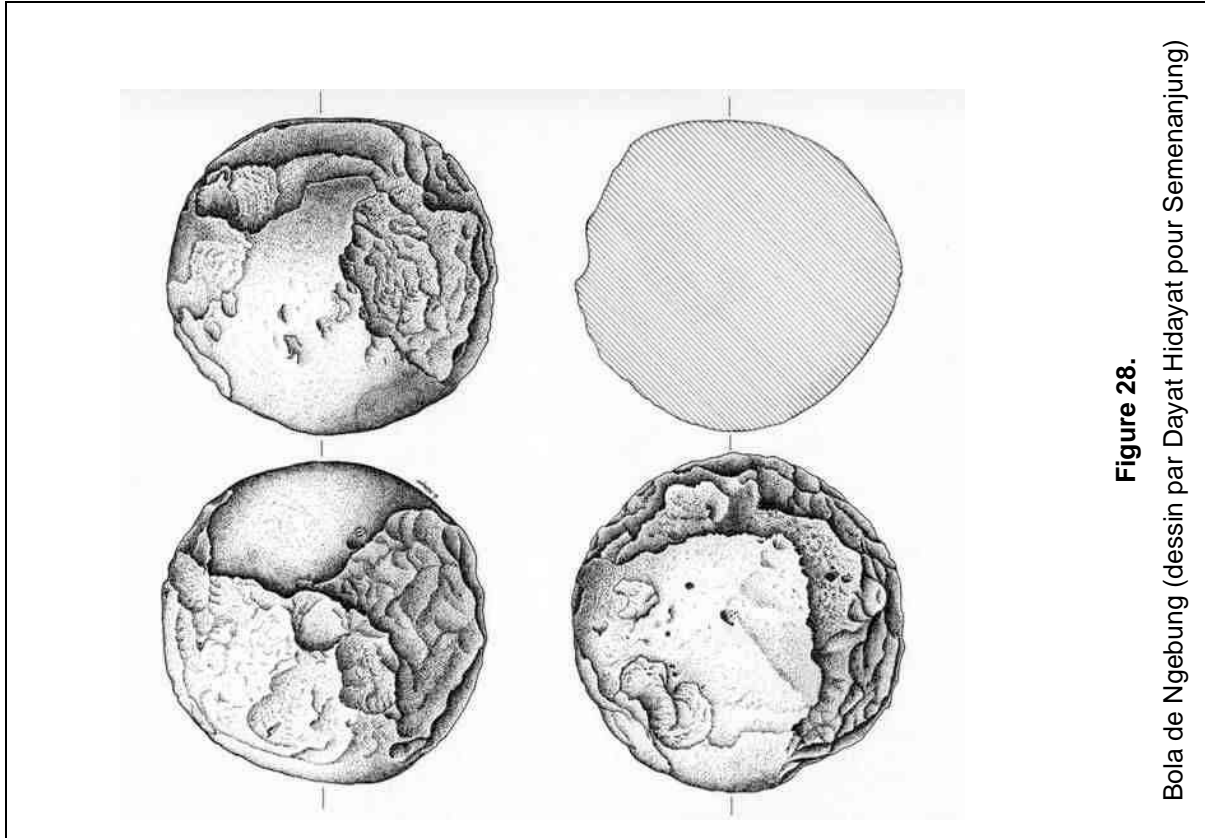
L'industrie des « éclats de Sangiran » découverte et attribuée à *Homo erectus* par Ralph von Koenigswald en 1934 à Ngebung a longtemps été discutée, de nombreuses pièces ayant été retrouvées dans les alluvions récentes de la crête du dôme (voir Figure 06).

Le poli et l'usure des éclats laissent supposer qu'ils ont souvent été transporté (Bartstra 1985, Bartstra et Basoeki 1989). Depuis la fin des années 1980, plusieurs fouilles ont été organisées et ont permis de découvrir ces éclats en place dans les couches de Kabuh (Ngebung) (von Koenigswald, 1936 ; Sémah *et al.*, 1992 ; Simanjuntak et Sémah, 1996) dans le Grenzbank ou même dans la partie supérieure de Pucangan (Dayu) (Widianto *et al.*, 1998 ; Widianto *et al.*, 2001) (voir Figure 07)

- **Autres outillages lithiques**

Les fouilles effectuées à Ngebung (Sémah *et al.*, 1992 ; 2001) ou à Grogolan Wetan (Simanjuntak, 2010) permettent de mieux connaître le mode de vie des *Homo erectus* des couches de Kabuh.

Outre des éclats de Sangiran, le site de Ngebung a livré une association très claire entre les restes des proies des *Homo erectus*, les éclats, et un ensemble lithique de grande taille incluant des galets, polyèdres, sphéroïdes et bola (Figure 32) (Sémah *et al.*, 1992,). Plusieurs pièces plus sophistiquées ont été également découvertes, telles que des hachereaux (Figure 33) et des artefacts de type *horsehoof* (Simanjuntak et Sémah, 1996)



- **Perspectives régionales relatives à l'industrie lithique**

L'étude des sites va permettre d'analyser les sols d'habitat et ouvrent des perspectives très importantes concernant le peuplement de Java au tout début du Pléistocène moyen, lorsque les contacts avec le continent asiatique ont été les plus développés.

En effet, de nombreuses pièces retrouvées à Ngebung et à Grogolan Kulon peuvent être comparées à une tradition acheuléenne typique, ce qui impliquerait que cette dernière a pu diffuser jusque dans les archipels sud-est asiatiques dès cette époque. Une telle hypothèse semble confirmée par la découverte de quelques pièces isolées (et sans contexte stratigraphique) dans le lit de la rivière Ogan à Sumatra sud (Simanjuntak, 2012). Elle est aussi à mettre en regard des découvertes d'artefacts anciens sur l'île de Flores (bassin de la Soa), qui indiquent qu'*Homo erectus*, à cette époque de bas niveaux marins, a pu traverser d'étroits bras de mer (Moore et Brumm, 2007).

Un autre aspect important de l'industrie lithique est celui de la matière première. En effet, tant au sein des éclats de Sangiran que pour les outils de plus forte taille, il s'avère que des roches 'exotiques' ont été utilisées.

La petite taille des 'éclats de Sangiran' permet de mettre en cause le transport fluvial : les petits galets de calcédoine ou de jaspe (venus probablement des montagnes du Sud) ne permettraient pas aux Hommes de fabriquer de grands éclats.

Mais le cas est tout autre pour les pièces massives, souvent façonnées sur des quartzites, quartz, ou andésites d'une bien meilleure qualité que celle que l'on peut récolter dans les lahars avoisinants. C'est ainsi que R.P. Soejono (1982) avait déjà découvert à Ngebung un chopper sur roche métamorphique.

L'étude détaillée de cette matière première, la recherche des gîtes potentiels (par exemple les collines de Djiwo pour le quartz) nous donnent des informations sur les distances parcourues par les *Homo erectus* au tout début du Pléistocène moyen.

CHAPITRE III

La zone étudiée :

Le transect Dayu - Pucung

III.1. LE GRENZBANK ET LES COUCHES DE KABUH A SANGIRAN

III.1.1. Historique des recherches

III.1.1.1. Une approche simplifiée à l'origine

Le modèle original des recherches, orienté vers la compréhension de la succession stratigraphique du dôme de Sangiran, impliquait une classification simple qui s'est révélée peu compatible avec le développement des connaissances sur la région.

Les premiers travaux de van Es (1931) ont porté exclusivement sur la géologie, et c'est lui qui publia la première carte géologique de Sangiran. Cette dernière a été une référence pour von Koenigswald (1940) lorsqu'il a défini les unités litho- et biostratigraphiques majeures du dôme de Sangiran. Toutefois, cette dernière définition est fondée sur un référentiel géographiquement très différent mis en place par les géologues néerlandais de la période coloniale.

Le *Grenzbank* fut défini par von Koenigswald en sa qualité de *limite* (*grenz* en Allemand) et non d'unité stratigraphique propre. Ceci est à l'origine d'une prise en compte de marqueur chronostratigraphique 'parfait' qui a finalement empêché de considérer réellement le faciès sédimentaire, son éventuelle diachronie ou même ses variations latérales. La possibilité d'une origine simplement diagénétique du Grenzbank n'a que très rarement été évoquée, malgré son évidence : il n'est pas incongru de rencontrer, au niveau du contact entre une série argileuse (Pucangan) et un massif sableux (Kabuh) une zone d'accumulation au ciment carbonaté.

La même situation s'est produite pour les études traitant des couches de Kabuh, considérées :

- comme une véritable 'formation' géologique,
- mais surtout comme une unité stratigraphique continue, quasiment tout au long du Pléistocène moyen, ce qui semble a priori peu compatible avec la nature des dépôts. Il apparaît évident que les couches sont discontinues,

que de fortes phases érosives se sont produites, et que la série a été l'objet d'une accumulation beaucoup plus grande que celle que nous pouvons observer aujourd'hui.

III.1.1.2. Historique des travaux sur le Grenzbank et Kabuh

Après van Es et von Koenigswald, plusieurs travaux ont porté sur le Grenzbank. Nous rappellerons ceux de Sudijono (in Watanabe et Kadar, 1985), de Prihandoko (1994) et de Brasseur (2009). Les recherches archéologiques ont pour la plupart été menées par Widiyanto *et al.* (2006) qui a découvert de nombreux 'éclats de Sangiran' dans le Grenzbank.

En ce qui concerne les couches de Kabuh, nous trouvons principalement les analyses sédimentologiques réalisées par Lizon-Sureau (1979), les nombreux travaux de l'équipe indonésienne et japonaise (Watanabe et Kadar, 1985), les travaux paléopédologiques de Bettis *et al.* 2004 et de Brasseur (2009), puis les travaux stratigraphiques et archéologiques des équipes indonésienne et française (voir par exemple Sémah *et al.*, 1992). Ces recherches se complètent par les descriptions accompagnant la publication de fossiles d'hominidés (Widiyanto, 1993 ; Widiyanto *et al.*, 2001b ; 2003 ; 2011).

Les résultats obtenus, dont nous en rappellerons certains, portent sur les faciès, sur les successions, mais apportent surtout un éclairage particulier sur les variations au niveau de la dynamique des dépôts. En ce qui concerne les couches de Kabuh, les découvertes archéologiques et paléopédologiques ont considérablement élargi notre vision des paléoenvironnements à Sangiran au tout début du Pléistocène moyen, en démontrant notamment que des milieux propices à la mise en place et à la conservation de sols d'habitat avaient pu exister au sein d'une série qui apparaît à l'origine comme purement alluviale.

III.1.2. Variations régionales et latérales, corrélations

III.1.2.1. Variations régionales et latérales du Grenzbank

- **Un Grenzbank individualisé**

Les affleurements les plus caractéristiques du Grenzbank correspondent à une série conglomératique bien cimentée dont le contenu caractérise des apports d'origines diverses. Ce faciès du Grenzbank est particulièrement développé dans le quart nord-ouest du dôme de Sangiran (Figure 34). Cependant, il existe aussi dans d'autres endroits, où le conglomérat peut contenir en outre des restes de troncs d'arbre fossilisés.

L'interprétation de Djubiantono et Sémah (1991) impliquant la présence des produits d'érosion précoce des reliefs des collines de Kendeng et des montagnes du sud après leur dernier plissement apparaît cohérente avec les observations de terrain.

Le sommet des couches de Pucangan près de Ngebung, est surmonté par une série conglomératique et argileuse de plusieurs mètres d'épaisseur très riche en carbonates, souvent fortement indurée, qui mêle éléments d'origine marine (fragments de coquilles, foraminifères) et d'eau douce. Le dépôt en milieu d'eau douce est attesté par la présence en grand nombre de fossiles de *Corbicula* emballés dans une pâte carbonatée (élément qui indique la pénécotemporanéité du dépôt et de la cimentation) (Figure 35). Ces bancs conglomératiques contiennent des fragments de roches issues des collines de Kendeng ainsi que des restes d'horizons pédogénétiques provenant selon toute vraisemblance de l'incision des horizons supérieurs de Pucangan (Brasseur 2009). La série du Grenzbank à Ngebung se termine par plusieurs mètres de sables calcaires inclus dans une matrice argileuse et carbonatée.

Ces bancs conglomératiques et sablo-argileux ont livré de nombreux fossiles de mammifères et d'hominidés, l'horizon faunistique rattaché étant celui de Trinil.



Figure 34.
Grenzbank de Ngebung (©Semenanjung 2005)

- **Un Grenzbank préfigurant les alluvions de Kabuh**

Le second faciès du Grenzbank correspond plutôt (Brasseur, 2009) à la mise en place des conditions environnementales de la plaine alluviale des alluvions de Kabuh (Figure 36).

Ce second faciès est largement répandu dans la partie méridionale et orientale du dôme. Les apports liés aux collines de Kendeng sont quasiment absents. Les éléments exprimés se partagent entre roches d'origine volcanique et roches issues des montagnes du sud, en proportion différente selon les couches.

- **Autres configurations et interprétation**

Plus qu'une limite, le Grenzbank doit ainsi être considéré comme un ensemble de faciès et aussi comme une période de transition.

Dans les endroits où il marque un apport synorogénique, il a érodé les couches supérieures de Pucangan, dont il peut le cas échéant remanier des éléments (Figure 37). Cette caractéristique implique que le Grenzbank peut être en certains endroits (par exemple Pagerejo) entièrement absent.

Il est fréquent que le Grenzbank se présente sous forme de lentilles conglomératiques au sein d'une série qui comprend des passées argileuses (comparables à Pucangan) parfois épaisses de plusieurs mètres.

Enfin, il ne faut pas intégrer au Grenzbank les simples bancs conglomératiques cimentés par la circulation phréatique des carbonates, ils représentent en fait des alluvions de Kabuh.



Figure 35.

Dépôt des fossiles de *Corbicula* (©Semenanjung 2011)



Figure 36.

Grenzbank préfigurant les alluvions de Kabuh (©Semenanjung 2011)



Figure 37.
Pucangan supérieure érodée (©Semenanjung 2011)

III.1.2.2. Variations régionales et latérales des couches de Kabuh

La puissance des couches de Kabuh varie considérablement d'un point à l'autre du dôme de Sangiran. Watanabe et Kadar (1985) ont proposé la mise en corrélation de plusieurs des couches tufacées majeures rencontrées dans le dôme. Il semble cependant que les interruptions fréquentes (et parfois brutales) de ces dépôts volcaniques (liées aux phénomènes érosifs omniprésents au sein des couches de Kabuh), ainsi que l'extension limitée en largeur des lits des cours d'eau qui les ont mis en place, rendent ces corrélations à longue distance parfois problématiques.

La série de Kabuh n'est pas exclusivement constituée de sables, graviers et tufs. La base est souvent marquée par des couches argileuses ou cendreuses compactées, qui ont pu, après le dépôt du Grenzbank, constituer une paléomorphologie entaillée par la suite par les cours d'eau. C'est par exemple le cas à Ngebung, où les six premiers mètres des couches de Kabuh sont constitués d'argiles issues de l'altération de cendres. Cette série a ensuite été entaillée par les dépôts plus sableux d'une rivière, et c'est la matrice sablo-argileuse de cette dernière qui a permis de conserver, sur la paléo-berge du cours d'eau, les traces du passage des *Homo erectus* (Figure 38).

Il est difficile de distinguer l'action due au le climat et au volcanisme en ce qui concerne la nature des séquences sédimentaires de Kabuh. Le contraste que nous venons de mentionner, entre une sédimentation fine et une sédimentation grossière, peut être dû à une recrudescence du volcanisme ou à une différence dans la nature des produits éruptifs. Il peut tout aussi bien être lié à un changement dans le couvert végétal, l'ouverture du paysage entraînant l'érosion plus facile d'un matériel grossier qui se dépose dans la dépression.



Figure 38.
Argile compactée (©Semenanjung 2011)

III.1.2.3. Datations

Les datations absolues sur le Grenzbank sont rares. Seul Saleki (1997) a tenté une approche combinée par les séries de l'uranium (U/Th) et la Résonance Paramagnétique Electronique (RPE) sans obtenir de résultats concluants.

Les études paléomagnétiques (Semah, 1984) montrent

- au niveau du Grenzbank une inversion dans le sens inverse direct ;
- mais aussi, dans certaines coupes, la présence de couches inverses à la base des couches de Kabuh.

Ainsi, il est probable que la transition Matuyama / Brunhes soit, au moins par endroits, postérieure au début du dépôt des couches de Kabuh, et que le Grenzbank se soit déposé durant une période allant de l'épisode de Jaramillo jusqu'à la fin de la période de Matuyama.

Les datations par les méthodes à l'argon ont été réalisées en plusieurs endroits dans les couches de Kabuh, et donnent des résultats assez groupés vers 0.8 Ma. A Ngebung (Saleki, 1997) la méthode a été appliquée sur des ponces et sur des grains isolés d'amphiboles issus des couches tufacées (dont on peut penser qu'elles sont pénécotemporaines des éruptions). Les résultats obtenus sur ce site sont confirmés par l'analyse Résonance Paramagnétique Electronique (RPE) de grains de quartz bipyramidés d'origine volcanique, et sur la datation combinée U/Th-RPE de l'émail de dents de grands herbivores (Sémah *et al.*, 2011).

Un problème chronologique, déjà évoqué, se pose par contre à Bapang, où plusieurs ponces ont livré un âge du Pléistocène inférieur, allant parfois jusqu'à 1.5 Ma (Bettis *et al.*, 2009). Seules des ponces ont été datées, et il y a donc possibilité de reprise d'effluents volcaniques plus anciens, voire de ramonage de cheminée volcanique par une éruption. Cependant, nous ne pouvons exclure l'hypothèse d'une diachronie régionale des séries de Kabuh au sein même du dôme de Sangiran.

III.1.2.4. Conclusion relative à l'intérêt de l'étude

Ces questions relatives aux corrélations et aux datations montrent bien que les recherches sur l'évolution spatiale et chronologique des dépôts au sein du dôme de Sangiran sont encore loin d'être terminées :

- Les interprétations sont encore fortement marquées par le modèle chronostratigraphique ancien.
- Il reste très difficile de placer les sites relatifs aux découvertes les uns par rapport aux autres, sauf si l'on considère les datations absolues dont le pouvoir de résolution est (selon les sites) limitée.
- L'évaluation de la durée séparant deux séries ou séquences sédimentaires est rendue difficile par les phénomènes d'érosion (voire de lacune de sédimentation) qui les ont affectées.
- L'évaluation de la durée de dépôt de certaines séquences (voire des durées selon les zones concernées du dôme) est encore aujourd'hui impossible.

Notre étude concerne le quadrant sud-est du dôme, dont nous avons souligné à plusieurs reprises qu'il contrastait avec la partie nord-occidentale. L'un de ses objectifs demeure simple mais pourra ouvrir la voie vers une meilleure compréhension spatio-temporelle des phénomènes qui se sont produits, en mettant en relation plusieurs sites importants découverts au long du transect Dayu-Pucung.

III.2. L'INTÉRÊT DU TRANSECT DAYU-PUCUNG

III.2.1. La Rivière (*Kali*) Pucung

La zone de Pucung appartient administrativement à la Kabupaten de Karanganyar, la Kecamatan (district) de Gondangrejo, et à la Kelurahan (commune) de Dayu. Géographiquement, ce site est localisé dans la partie SSE du dôme de Sangiran (Figure 39).

La rivière (*kali*) Pucung est un petit affluent de la Kali Cemoro (Figure 40). Son cours occupe une position particulière dans le réseau hydrographique du dôme de Sangiran. En effet, elle ne recoupe pas l'ensemble de la structure mais seulement son flanc SSE. La partie étudiée du cours de la rivière Pucung débute à Dayu dans les argiles de Pucangan, et s'étend sur environ 1,5 km vers le Sud-Est, le cours étant quasiment parallèle à celui de la Kali Cemoro qui passe par le centre du dôme plus au Nord. La kali Pucung ne rejoint la Cemoro que beaucoup plus loin au sud-est, après l'inflexion de son tracé vers le sud près du village de Duwet.

Du fait de la position du cours de la kali Pucung, nous pouvons déduire qu'elle suit à peu près la direction structurale du flanc sud-est du dôme dans la zone étudiée.



Figure 39.
Situation de la Kali Pucung (©Semenanjung 2011)

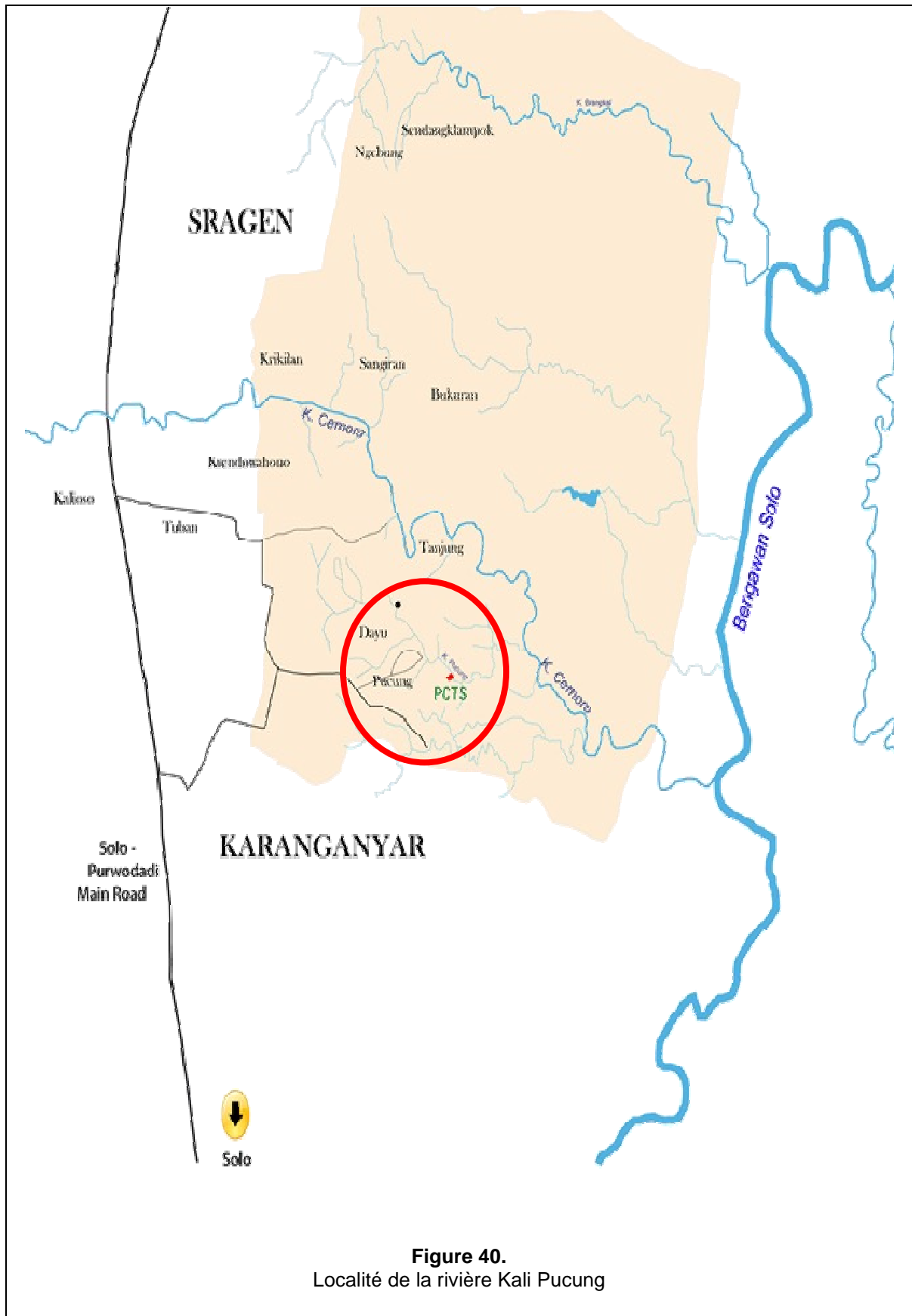


Figure 40.
Localité de la rivière Kali Pucung

III.2.2. Les principaux sites stratigraphiques, paléontologiques et archéologiques

Le transect étudié est une zone très importante dans le dôme de Sangiran. Plusieurs fossiles et sites y ont été découverts depuis les années 1960, plus spécialement le long du cours de la rivière Pucung : c'est à Pucung notamment qu'a été découvert le fameux Pithécanthrope VIII.

III.2.2.1. Les fouilles de la zone de Dayu

Deux fouilles ont été réalisées par H. Widiyanto (2001 ; 2006) au sein des couches les plus anciennes qui affleurent le long du transect (Figure 41). La première a été réalisée dans les bancs conglomératiques du Grenzbank, décrits par les auteurs comme présentant un ciment sparitique, incluant des fragments d'ossements fossiles, mais globalement de couleur sombre, principalement du fait de la présence de nombreux graviers de roches ignées et de pisolithes ferrifères. C'est la première fois que des artefacts ont été découverts in situ dans le Grenzbank.

La seconde fouille a cherché à atteindre des horizons plus profonds. Elle a été réalisée à droite du lit de la rivière. Elle a atteint les lentilles conglomératiques du Grenzbank, qui surmontent une série argileuse (grise et noire selon les endroits) de plusieurs mètres d'épaisseur. A sa base, est apparue une couche détritique plus grossière dans laquelle ont été recueillis des artefacts, que les auteurs attribuent aux couches de Pucangan avec un âge de plus d'1 Ma.

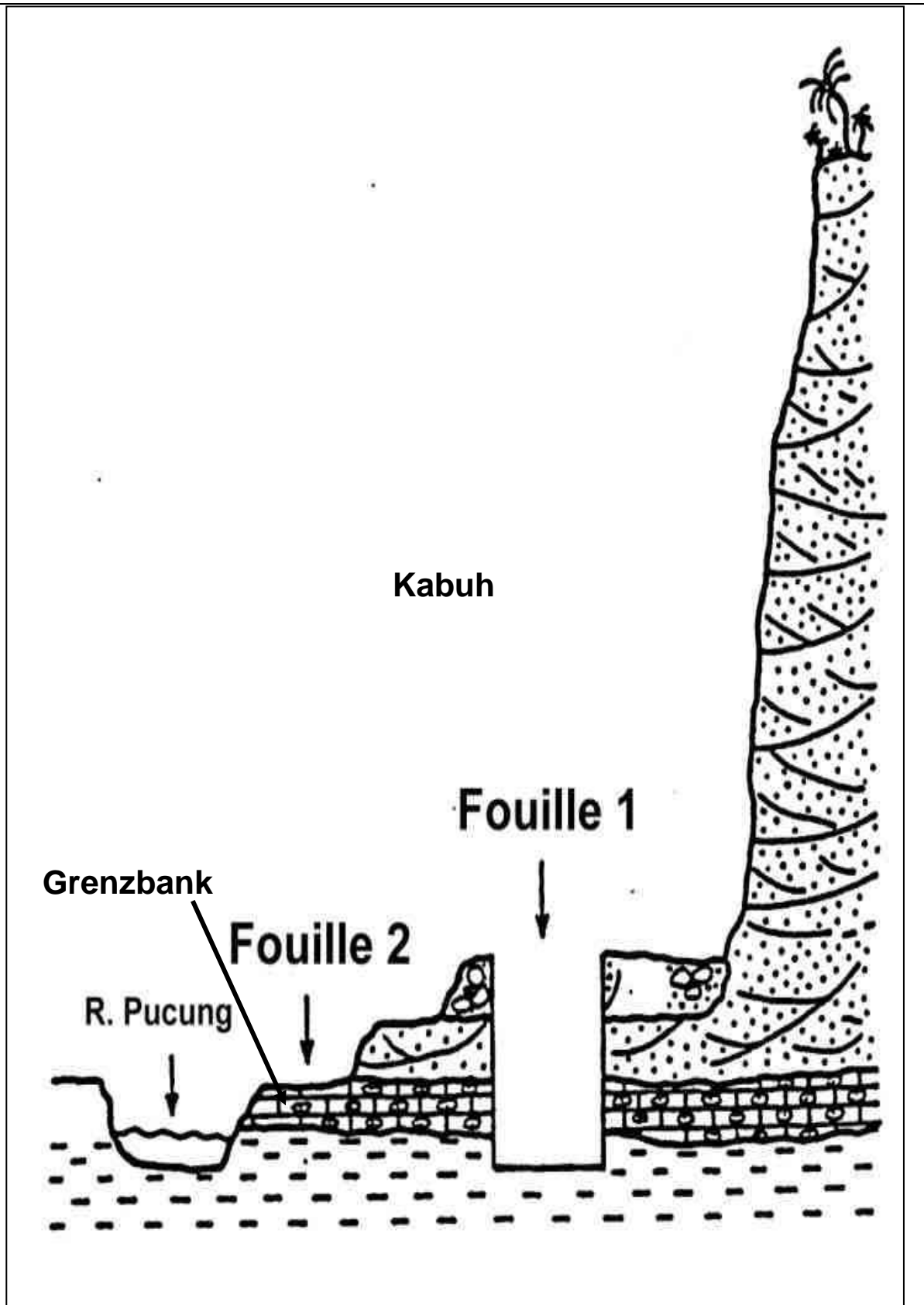


Figure 41.

Coupe des fouilles de H. Widiyanto dans le Grenzbank (Widiyanto, 2001 : 160)

III.2.2.2. Le site du Pithécantrope VIII (Sangiran 17)

Le fossile Sangiran 17 a été découvert à Pucung par Tukimin en 1969, puis transmis par Toto Marsono à S. Sartono (1972). Il est actuellement conservé par F. Aziz au Musée de Bandung. Ce fossile est le premier à permettre d'observer les os du maxillaire et de la face (plus complet en cela que celui de Sangiran 4, plus ancien), ce qui a permis à H. Widiyanto de le prendre pour modèle dans la reconstitution effectuée en 2011 par E. Daynès (exposée au Musée de Sangiran).

Trois fragments manquants du crâne avaient été récoltés par la suite sur le site par Toto Marsono. Ils ont été longtemps conservés par lui avant qu'il ne décide de les donner, quelques années avant son décès, à T. Djubiantono, A.-M. et F. Sémah. Ces fragments sont aujourd'hui conservés par H. Widiyanto au musée de Sangiran. Ils ont été virtuellement associés au fossile principal grâce à l'imagerie médicale (travaux d'A. Balzeau) en attendant une réunion espérée de l'ensemble du fossile (Figure 42).

Un ensemble de trois tranchées stratigraphiques ont été réalisées par l'équipe indonésienne et japonaise à la fin des années 1970 sur le lieu de découverte de Sangiran 17 afin d'en préciser la stratigraphie (voir Watanabe et Kadar, 1985 pp. 89-90).

III.2.2.3. Tranchées et fouilles intermédiaires entre les villages de Dayu et de Pucung

Plusieurs autres études ont été menées le long du transect :

- Une tranchée d'observation a été réalisée par T. Simanjuntak à droite de la rivière, dans les niveaux supérieurs au Grenzbank.

Près du site PCTS, nous relevons :

- Des fouilles paléontologiques réalisées par T. Jacob (non publiées).
- La découverte de dents humaines isolées, qui ont été étudiées par la suite par Zanolli (2012). Dans la même zone, Brasseur (2009) signale la présence d'ossements de *Bibos palaeosondaicus* (déterminé par A.-M. Moigne) sur une surface paléopédogénétique développée lors de l'assèchement de la rive d'un lac alimenté par des courants fluviaux assez forts.

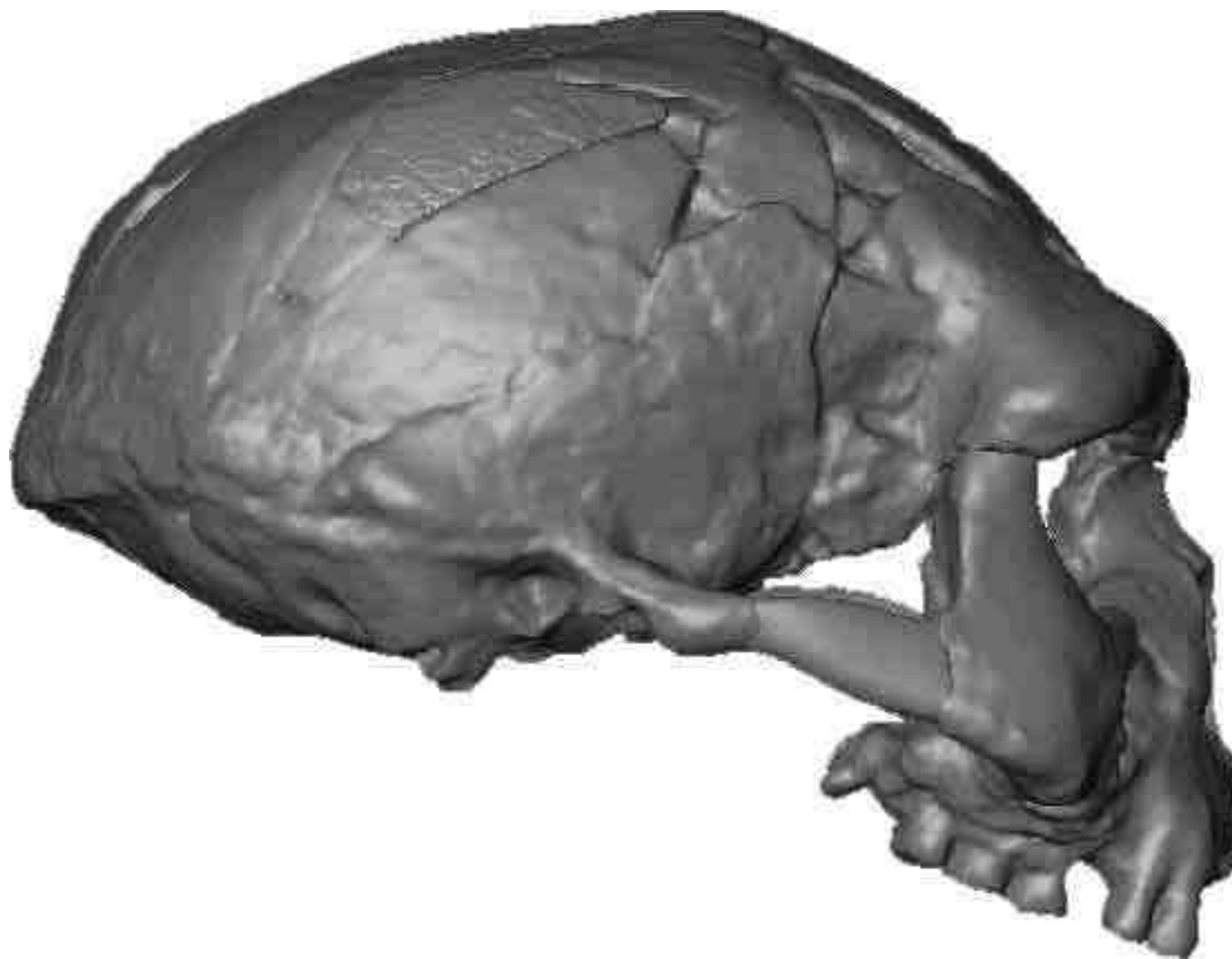


Figure 42.

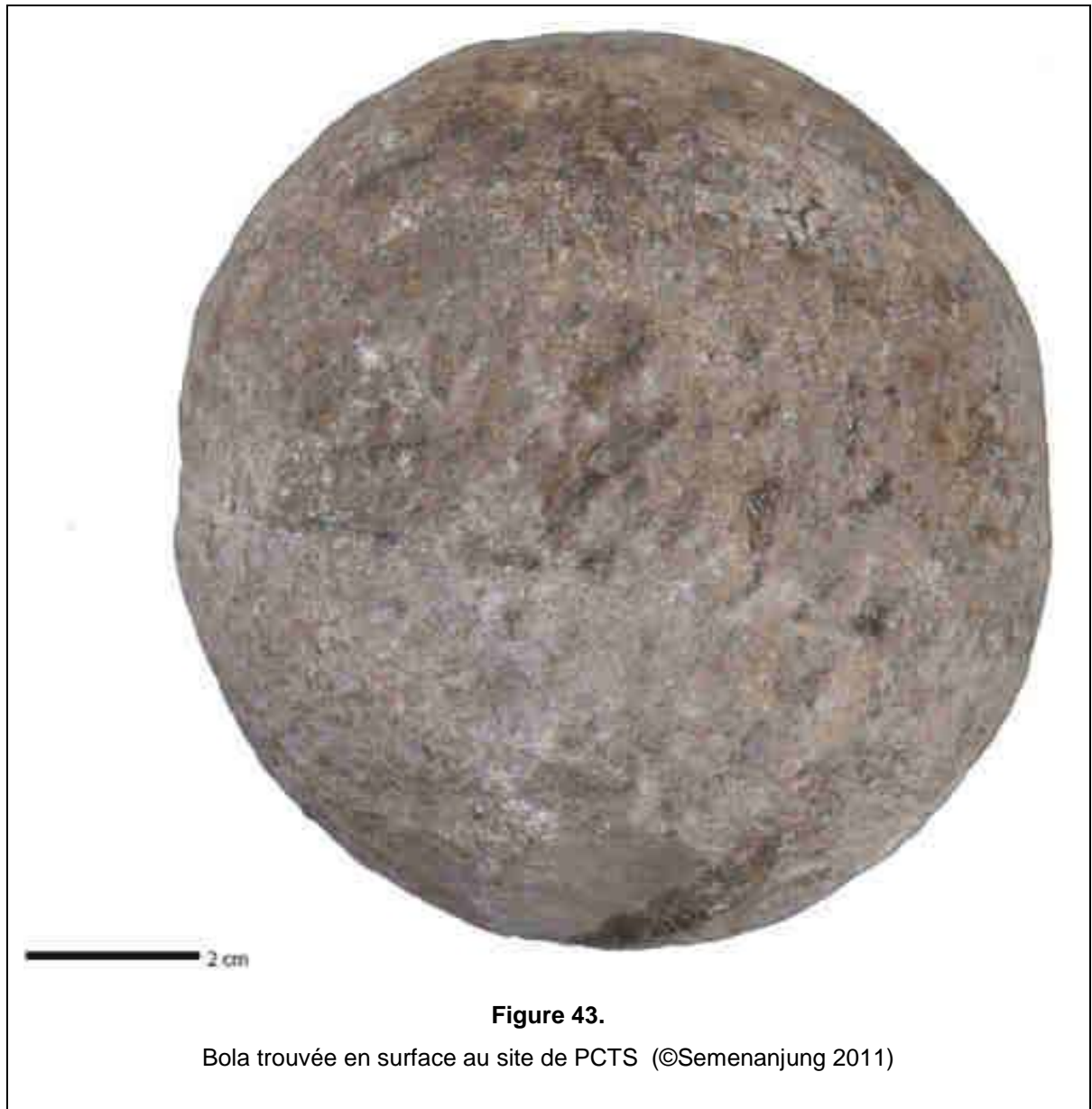
Image virtuelle du crâne Sangiran 17 reconstitué, d'après Balzeau, MQPI

III.2.3. Le site PCTS

L'étude du site PCTS était prévue de longue date dans le cadre de la coopération franco-indonésienne. Plusieurs fossiles avaient en effet été découverts par l'érosion et par les paysans sur le site, ainsi qu'une concentration relativement importante de bolas (Figure 43).

Cette localité apparaissait donc comme :

- Soit un sol d'occupation archéologique conservé (d'après la nature des découvertes fortuites qui y avaient été faites), ce qui impliquait de mettre en évidence les facteurs qui avaient pu conduire à cette préservation ;
- Soit un sol archéologique détruit par l'érosion, ce qui impliquait de rechercher l'ensemble des caractéristiques de la mise en place des dépôts afin d'émettre des hypothèses sur l'histoire du site.



III.2.4. L'intérêt de l'étude du transect Dayu-Pucung

Des observations faites ci-dessus découlent à la fois l'intérêt mais aussi la difficulté de l'étude entreprise.

- Les découvertes majeures effectuées dans cette zone incluent les plus anciens artefacts retrouvés dans le dôme de Sangiran, ainsi que le fossile le plus complet d'*Homo erectus* provenant des couches de Kabuh.
- Les autres découvertes paléontologiques et archéologiques démontrent le potentiel de cette zone pour y entreprendre de nouvelles recherches.
- Les faciès sont relativement variés pour la partie inférieure de la stratigraphie (zone du Grenzbank) comme pour les couches de Kabuh. Ces dernières semblent mêler des faciès « classiques » tels que les séquences volcano-fluviatiles à stratification entrecroisée, mais aussi des couches argileuses et tufacées d'apparence extrêmement compacte, qui ont pu pour certaines être déposées dans un environnement lacustre.
- La présence relativement abondante d' « éclats de Sangiran » (dans le Grenzbank ou dans le lit de la rivière) ou de graviers de nature pétrographique comparable (calcédoine, jasper etc.) montre que la sédimentation a été influencée par les apports venant des montagnes du sud de Java (transport important qui n'est pas masqué par la seule production des volcans).

Il semble donc important de rechercher d'abord la position stratigraphique relative de chacun des sites évoqués plus haut en suivant la coupe dégagée par la rivière Pucung, mais aussi en étudiant les coupes visibles latéralement le long des petits affluents de la rivière ou le long des cheminements et falaises.

Cette opération n'est pas facile, et est nouvelle pour les études réalisées dans le dôme de Sangiran, où la plupart des travaux se concentrent sur des sites isolés du fait de la difficulté du terrain. Afin de pouvoir observer au mieux les couches, nous avons privilégié la saison humide pour les travaux de terrain.

Ensuite, nous devons trouver des arguments pour comprendre la dynamique générale de mise en place des séries du Grenzbank et de Kabuh dans la zone Dayu-Pucung.

Chapitre III : La zone étudiée : le transect Dayu-Pucung

Enfin, il faut espérer que le cadre général, débuté dans ce travail, pourra aider le développement de recherches futures, particulièrement en ce qui concerne la géochronologie permettant la comparaison avec les autres parties du dôme de Sangiran.

III.3. APPROCHE DE TERRAIN

III.3.1. Prospection

Les prospections de terrain ont suivi un calendrier sur trois périodes : 2009, 2010 et 2012, pendant la saison humide. En effet, les conditions érosives permettent une meilleure observation des faciès le long du cours de la rivière et sur les flancs de la vallée.

Cependant, la situation de terrain n'est pas facile le long du transect, car beaucoup de terrains sont cultivés ou plantés de jeunes arbres (Figure 32).

Ceci implique très fréquemment, sur l'ensemble du dôme de Sangiran, de nombreux points aveugles dans la zone observée. Les glissements de terrain sont également fréquents, notamment dans le cas de couches sableuses meubles recouvrant des séquences plus compactes (Figure 33).

Certaines campagnes ont eu une orientation topographique, d'autres ont plutôt cherché à détailler les caractères structuraux, et d'autres enfin ont été orientées vers le repérage des faciès et des coupes les plus caractéristiques

A cette activité de terrain, se sont ajoutées les trois campagnes de fouilles, réalisées en collaboration avec les équipes du Muséum national d'histoire naturelle, du *Pusat Penelitian Arkeologi Nasional* et du *Balai Pelestarian Situs Manusia Purba Sangiran*.



Figure 44.

I Situation générale de terrain de transect Dayu-Pucung (©Semenanjung 2011)

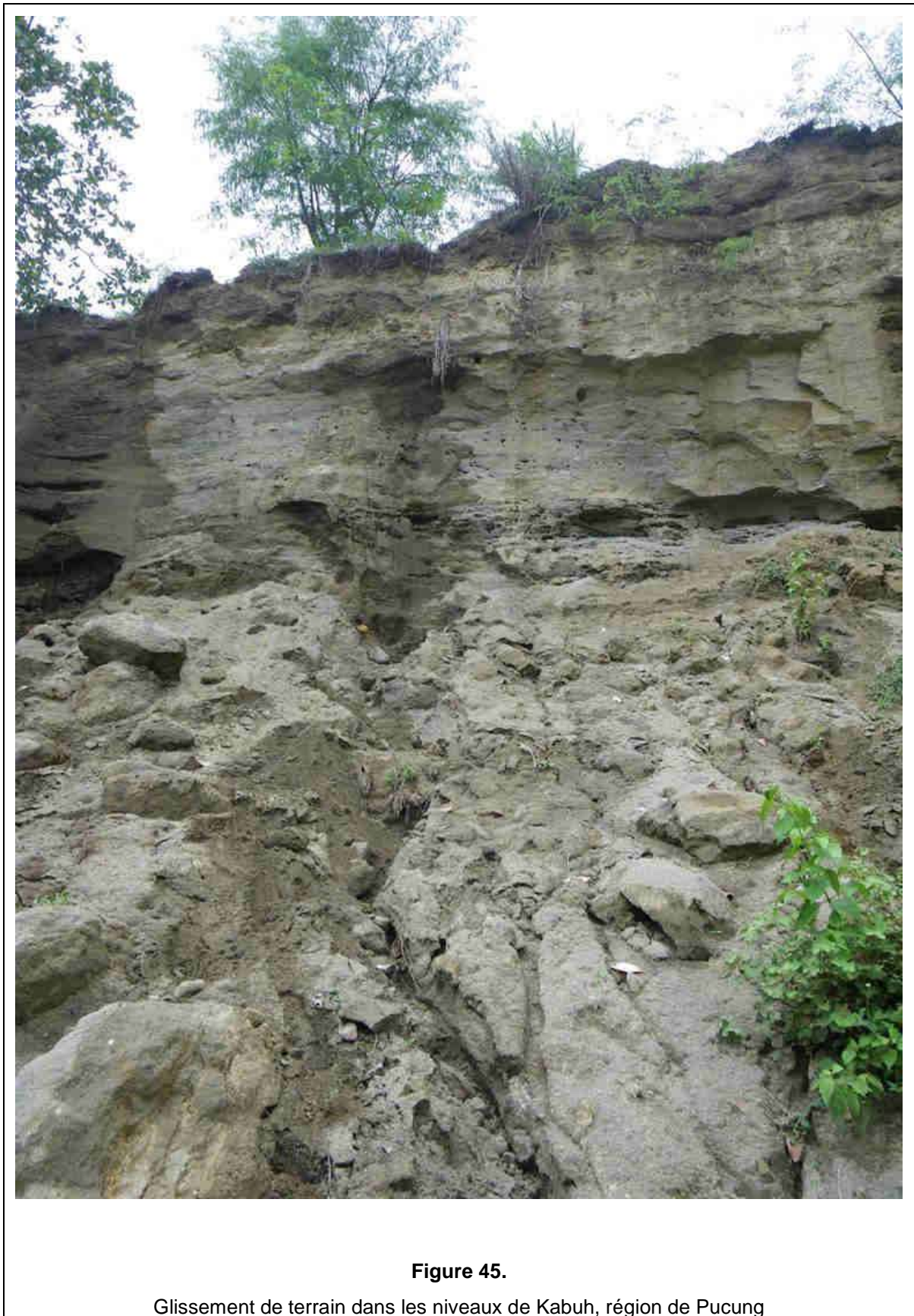


Figure 45.

Glissement de terrain dans les niveaux de Kabuh, région de Pucung

III.3.2. Les outils cartographiques utilisés

Les principaux documents utilisés pour mettre en place notre support topographique sont :

III.3.2.1. La feuille SB 49-15 de l'armée US

La carte de référence topographique est celle, éditée à plusieurs échelles allant du 1/25 000^e au 1/250 000^e datant de la fin de la Seconde Guerre Mondiale et réalisée par le service cartographique de l'armée des USA.

Cette carte a été surtout fondée sur des relevés de photographies aériennes complétés sur le terrain. Elle inclut à ce titre plusieurs erreurs, par exemple sur la localisation exacte des hameaux, auxquelles il faut faire attention lors des repérages. De plus, il ne faut pas oublier que durant plus d'un demi-siècle, de nombreux hameaux ou groupes d'habitation ont bougé, et que le dessin du lit des cours d'eau a également subi des modifications notables (Figure 46).

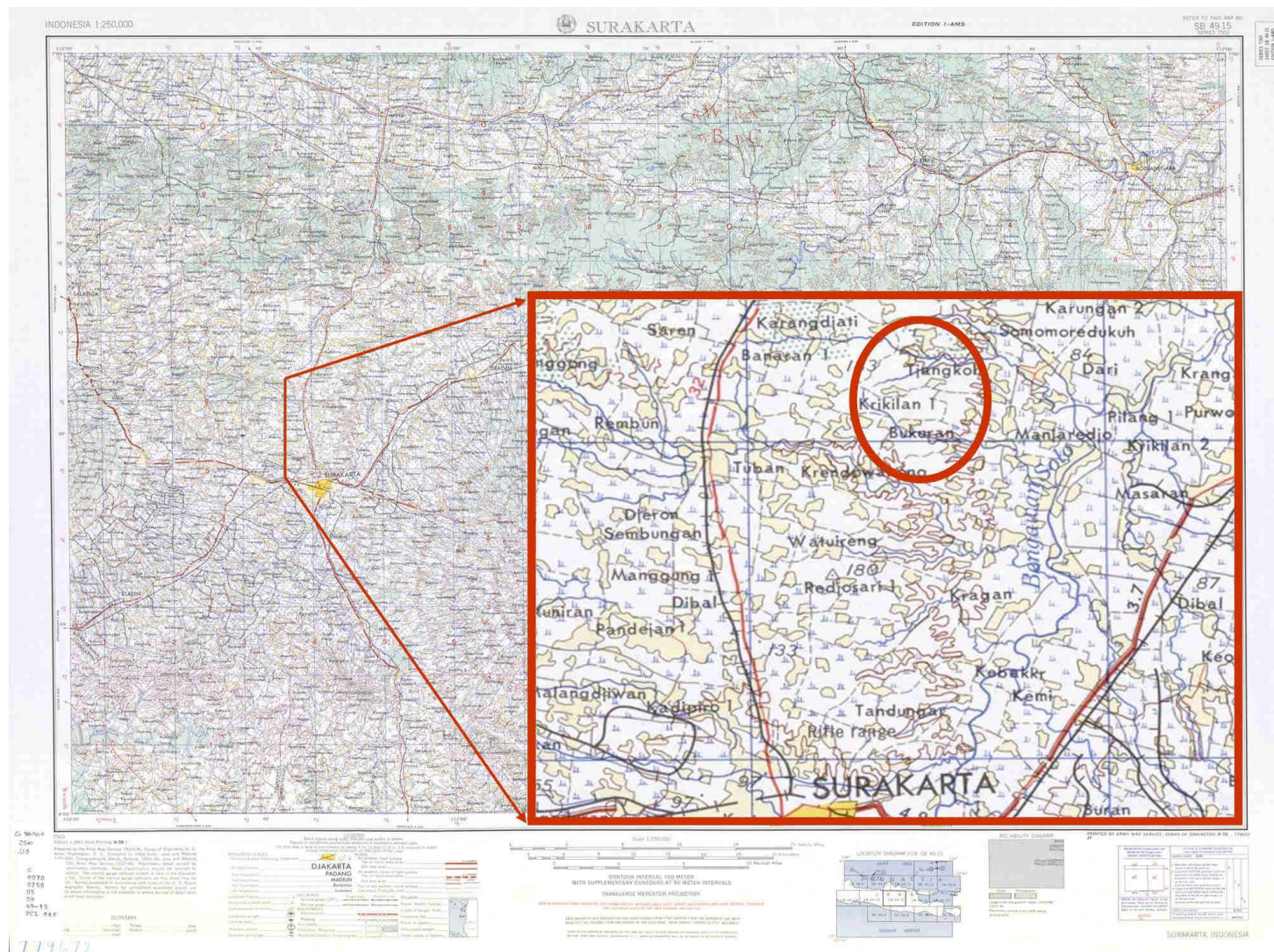


Figure 46.

I Situation générale de terrain de transect Dayu-Pucung (©Semenanjung 2011)

III.3.2.2. La carte du site du Patrimoine Mondial

Dans le cadre de la nomination du Site de Sangiran au Patrimoine Mondial de l'Humanité, le Ministère de la Culture et du Tourisme, avec le Centre National de Coordination des Relevés Topographiques (*Bakosurtanal*) et l'Université de Gajah Mada ont établi une carte mise à jour au 1/ 25 000^e.

Ce document est fondé sur les relevés photogrammétriques réalisés en 1993-94 par la compilation de photographies aériennes au 1/ 50 000^e, complétés par des relevés de terrain réalisés en 1996 (Figure 47).

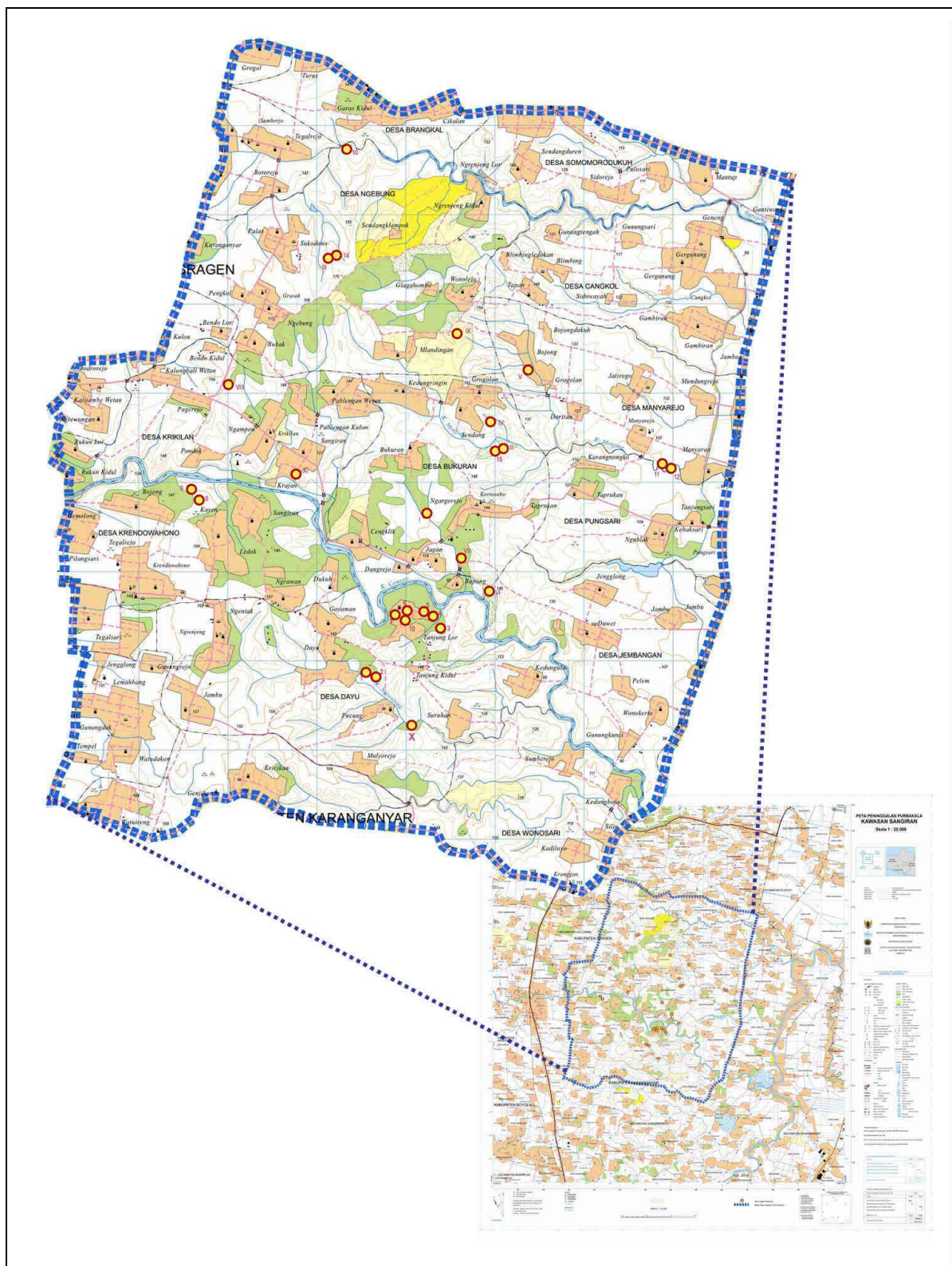


Figure 47

Carte du site du Patrimoine Mondial de Sangiran (©BPSMP Sangiran 2012)

III.3.2.3. Les cartes géologiques

Nous avons, bien entendu, utilisé les cartes géologiques anciennes publiées par van Es (1931) (voir Figure 27, chap. II), von Koenigswald (1940) (Figure 48) et Watanabe et Kadar (1985) (Figure 49, toutes trois étant liées par une histoire commune et se complétant mutuellement (les données qui y figurent sont très proches).

La feuille 'officielle' de Salatiga (Ref. 1408-6) au 1/100 000^e a été publiée par le *Bakosurtanal* en 1975. Elle permet de situer le dôme de Sangiran dans son contexte général mais n'apporte que très peu de précisions à l'échelle très détaillée de notre étude (Figure 50).

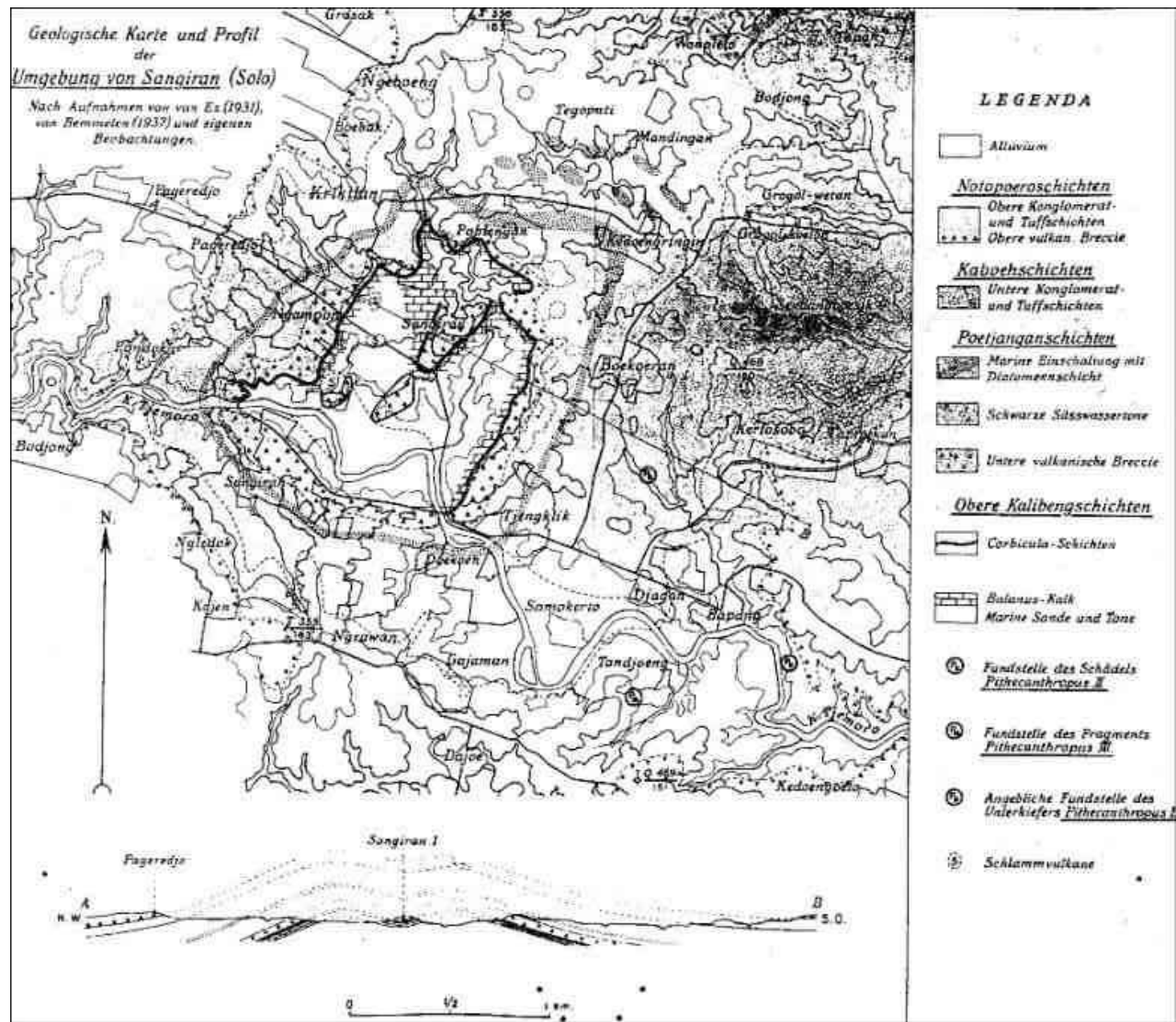


Figure 48.

Carte géologique de Sangiran (par von Koenigswald, 1940)

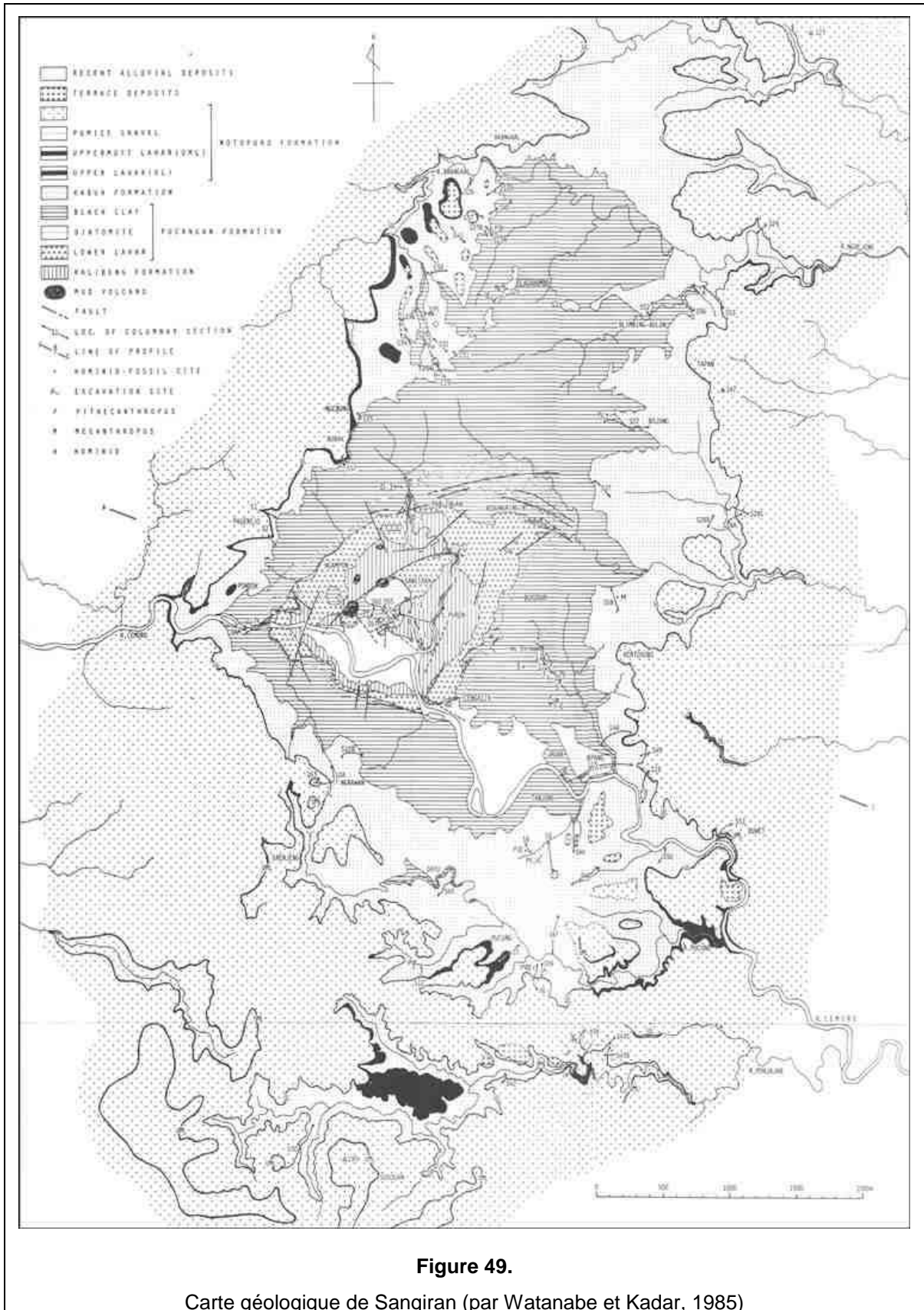


Figure 49.

Carte géologique de Sangiran (par Watanabe et Kadar, 1985)

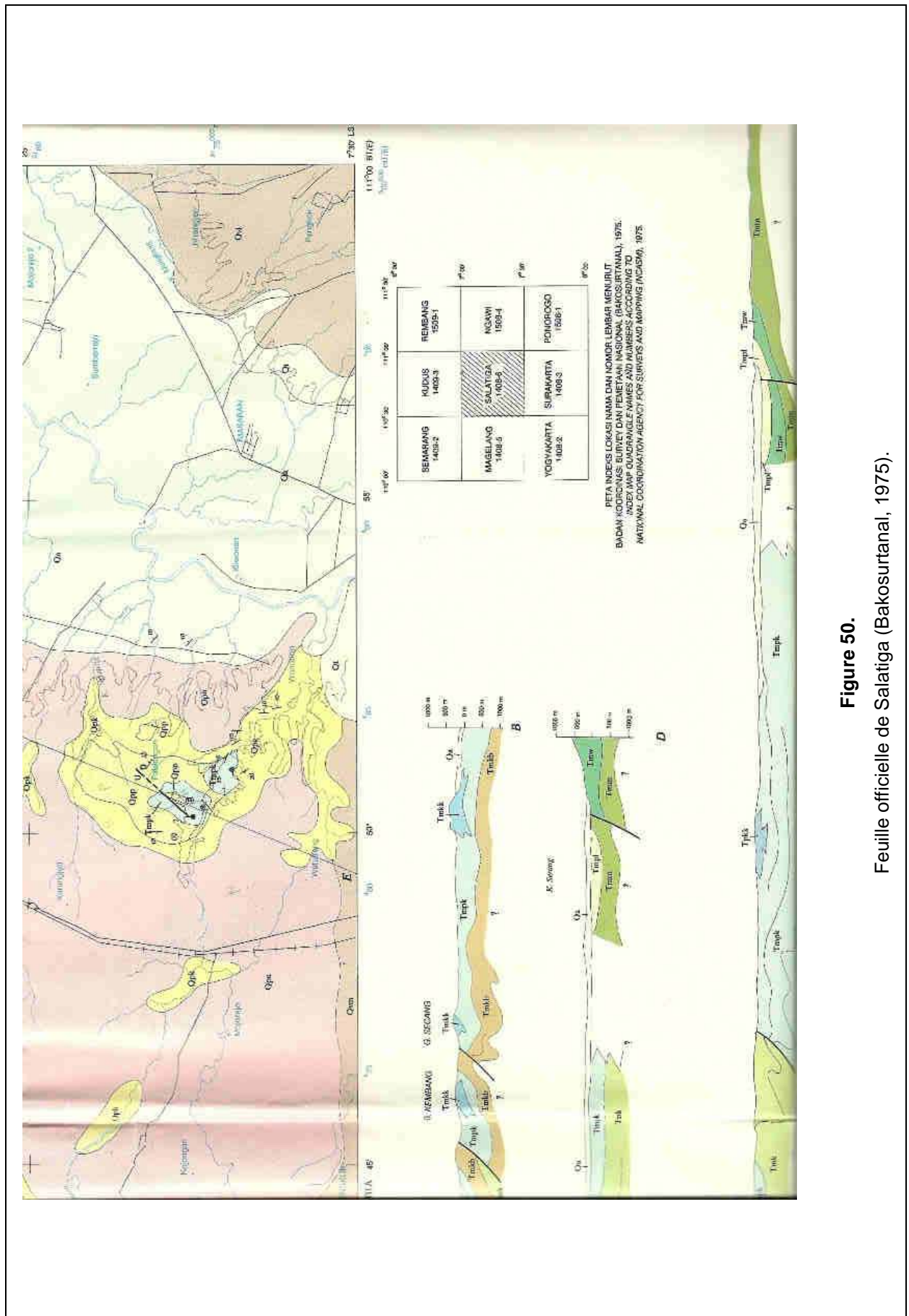


Figure 50.
Feuille officielle de Salatiga (Bakosurtanal, 1975).

III.3.2.4. Autres documents de base

Nous avons naturellement utilisé aussi les documents cartographiques disponibles *on line*, notamment par l'intermédiaire de GoogleEarth®. La qualité disponible actuellement en ce qui concerne les photographies satellites dans la zone étudiée permet une résolution comprise entre 10 et 20 m (Figure 51).

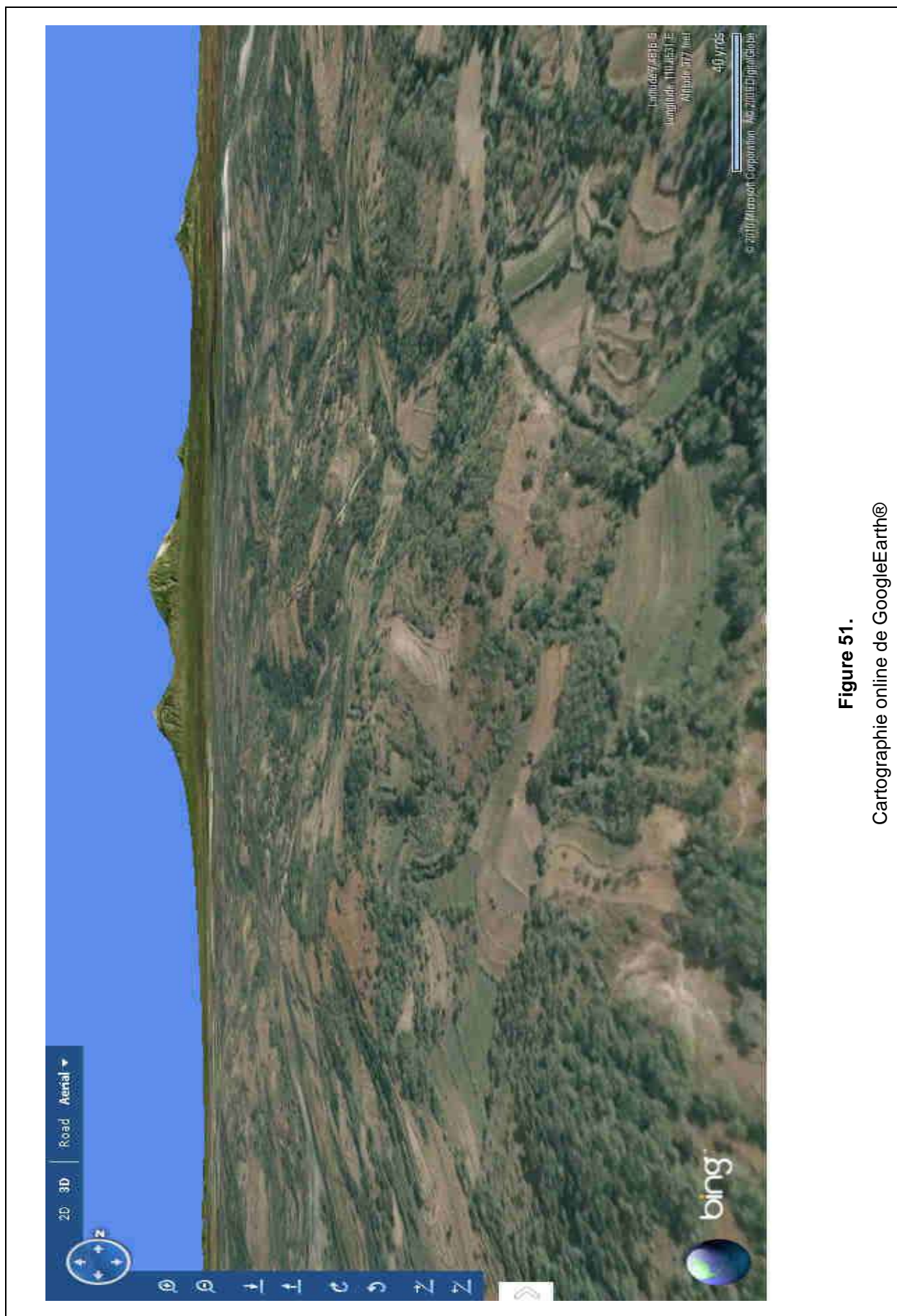


Figure 51.
Cartographie online de GoogleEarth®

III.3.2.5. Mesures

Les données topographiques de base ont été collectées :

- Sur la base d'informations cartographiques liées aux documents cités plus haut, incluant des bases de données auxquelles nous avons eu accès.
- Grâce à des relevés (GPS, mesures de distance et d'altitude avec station totale ou manuellement).
- Grâce à des campagnes de relevés à la station totale.

III.3.3. Les caractères structuraux

Nous avons vu que le cours de la kali Pucung suivait naturellement la pente externe du dôme dans cette partie SSE du dôme de Sangiran, ce qui est un très bon repère pour une approche structurale.

Nous avons aussi pris comme référence les cours des ruisseaux affluents de la kali Pucung et les chemins de traverse qui conduisent à la rivière depuis les hameaux : avec leur pendage limité, ces coupes donnent un aperçu complémentaire précieux.

Les relevés de pendage sont très difficiles dans cette zone, comme d'ailleurs dans l'ensemble du dôme de Sangiran, qui présente en général des séries plastiques : il est difficile de savoir si une pente repérée a une réelle valeur structurale, si elle est affectée par la plasticité des couches (dans ce cas, il y'a souvent une sous évaluation du pendage) ou si elle est liée à une simple structure sédimentaire (il arrive souvent que l'on observe des pendages naturels forts).

Afin d'accorder une valeur à un pendage, il est nécessaire de travailler en même temps, dans une même zone et à plusieurs échelles :

- **L'échelle de la couche**

Lorsque la rivière dégage un plan structural qui ne semble pas affecté par la morphologie originelle de la surface de dépôt, le pendage peut être mesuré directement, grâce à une planchette matérialisant la surface, une boussole à niveau permettant de repérer la direction de l'horizontale du plan, et un clinomètre qui mesure l'angle et la direction du pendage relativement à l'horizontale (Figure 52).

- **L'échelle plurimétrique**

Lorsque la rivière ou un de ses affluents dégage une partie de coupe significative, le relevé de trois points relatifs à un même contact stratigraphique dans l'espace permet de calculer un pendage (Figure 53).

Deux points, situés le long du même contact et sur le même affleurement, sont localisés par une orientation azimutale (la ligne stratigraphique dégagée), une distance le long du contact, et une différence de hauteur. Un troisième point dans l'espace, relevant du même niveau stratigraphique, est repéré selon un azimuth

perpendiculaire à l'orientation précédente. On mesure sa distance ainsi que la différence de hauteur par rapport à l'un des deux points précédents.

Le calcul trigonométrique est plus complexe, mais il permet une évaluation du pendage plus significative, car il implique un volume de sédiment beaucoup plus important. Ces calculs de pendage sont donc certainement les plus représentatifs de ceux que nous avons faits.

- **L'échelle du cours de la rivière**

Lorsqu'elle suit de façon relativement précise la pente du dôme, la kali Pucung recoupe certains contacts stratigraphiques en dessinant assez précisément l'horizontale du plan structural dans son lit. Si une 'dalle' est dégagée en aval, ceci peut permettre :

- De mesurer l'azimuth de l'horizontale du plan structural.
- De pointer un lieu en aval où affleure ce même contact et, dans ce cas, mesurer la distance (perpendiculaire à l'horizontale du plan) et la différence de hauteur : on peut alors facilement calculer le pendage.



Figure 52.

Mesure du pendage à l'échelle de la couche



Figure 53.

Mesure du pendage à l'échelle plurimétrique

III.3.4. Reconnaissance des faciès et objectifs cartographiques

Il n'est pas possible de réaliser un ensemble de relevés structuraux cohérents en une seule campagne, ils doivent être faits à chaque fois qu'apparaît une zone ou un affleurement favorable, en fonction de l'érosion ou des arrachements de terrain.

Ce travail de prospection cartographique et structurale est aussi très important pour progresser dans la reconnaissance des faciès sédimentaires que l'on retrouve au long du transect Dayu-Pucung, entre la zone du Grenzbank et les couches de Kabuh.

III.4. LA CARTE DE DAYU-PUCUNG ET SA SIGNIFICATION

Ce travail nous permet de proposer plusieurs documents, encore temporaires, qui concernent le dôme de Sangiran et le transect étudié entre Dayu et Pucung.

III.4.1. Documents topographiques 2D et 3D

III.4.1.1. Carte du dôme

Le premier document est une représentation tridimensionnelle des contours dans le dôme de Sangiran. Il permet de localiser correctement le transect Dayu-Pucung dans le contexte du dôme.

Cette carte nous permet surtout de tracer un profil topographique entre les deux zones mentionnées dans cette thèse (Ngebung au NNW et Pucung au SSE) qui donne une meilleure compréhension topographique générale. Cette dernière met en évidence le contraste entre la morphologie de la crête du dôme (suivant les endroits) et en particulier l'aspect probablement 'ennoyé' des plissements qui affectent cette dernière dans la région de Pucung (Figure 54).

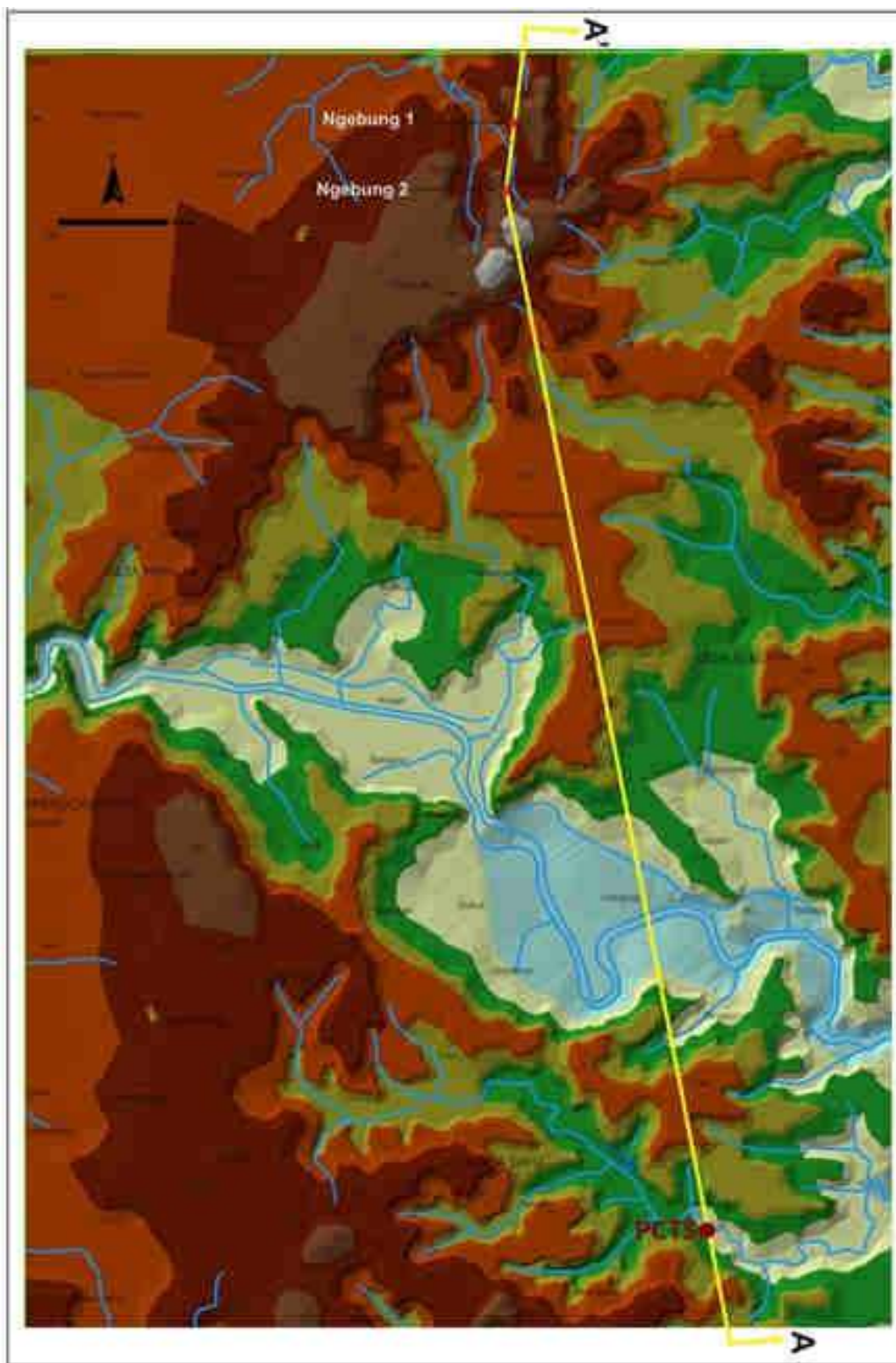


Figure 54.

Représentation 3D. A. Carte du dôme de Sangiran; B. Profil topographique zone de Pucung (A) à Ngebung (A').

III.4.1.2. Carte du transect

Une carte comparable a été établie le long du transect étudié Dayu-Pucung, au long d'une dénivellation du cours de la kali Pucung que nous pouvons évaluer à environ 30 m. Ce document met correctement en évidence les contrastes topographiques entre les collines et les cours d'eau. Il souligne aussi l'importance des surfaces susceptibles d'être inondées lors des périodes de crue : le cours de la kali Pucung peut régulièrement atteindre une hauteur de plus de 2,5 m et se déverser largement dans les champs avoisinants (Figure 55).

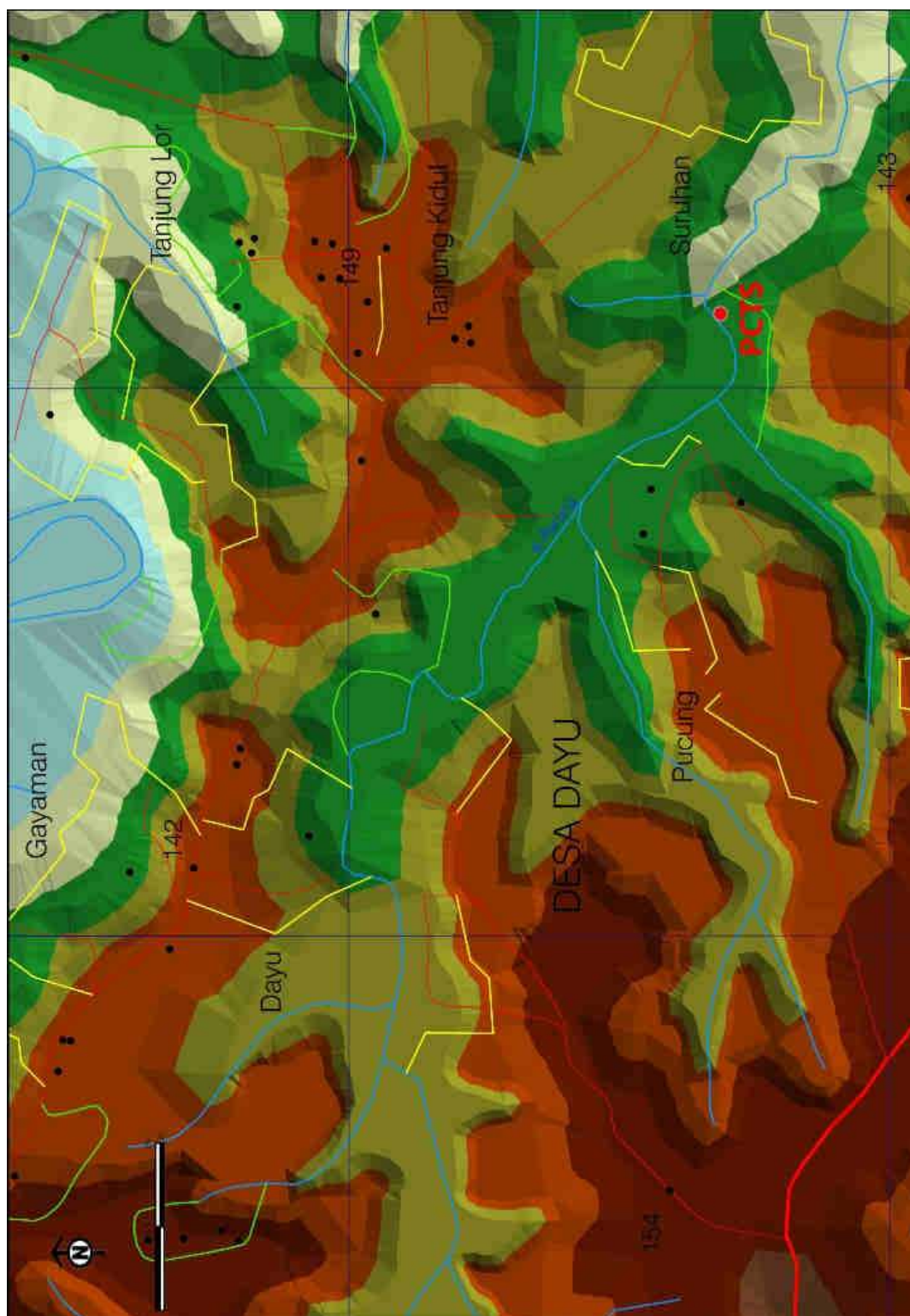


Figure 55.

Carte topographique 3D du transect Dayu-Pucung

III.4.1.3. Le site PCTS

- Vue panoramique

Nous avons tenté de développer une vue panoramique de la position du site PCTS fouillé vis-à-vis du cours de la kali Pucung sous trois angles différents (Figure 56).

- Vue topographique

La Figure 57 représente une carte tridimensionnelle plus détaillée du site PCTS, détaillant sa position en relation avec la kali Pucung. Cette carte est associée à deux transects topographiques que nous avons relevés à l'aide d'une station totale. Ces derniers montrent à la fois le contraste topographique de la zone, et aussi sa sensibilité à l'érosion. Le site PCTS est en effet attaqué par cette dernière à la fois par les crues de la rivière mais aussi, toujours pendant la saison des pluies, par les arrachements observés sur les collines sableuses qui l'entourent.

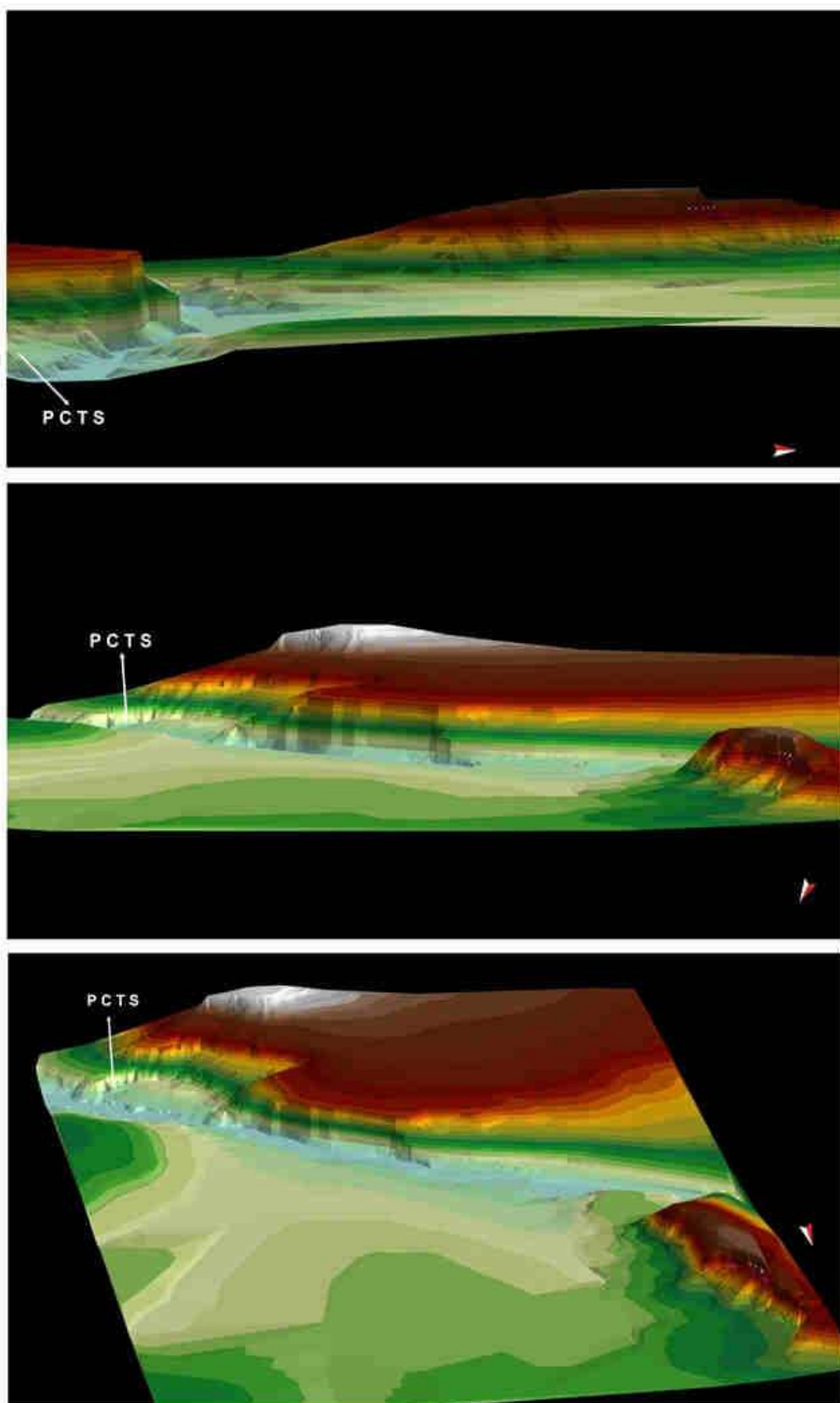


Figure 56.

Profil en vue panoramique 3D du site PCTS sous trois angles différents

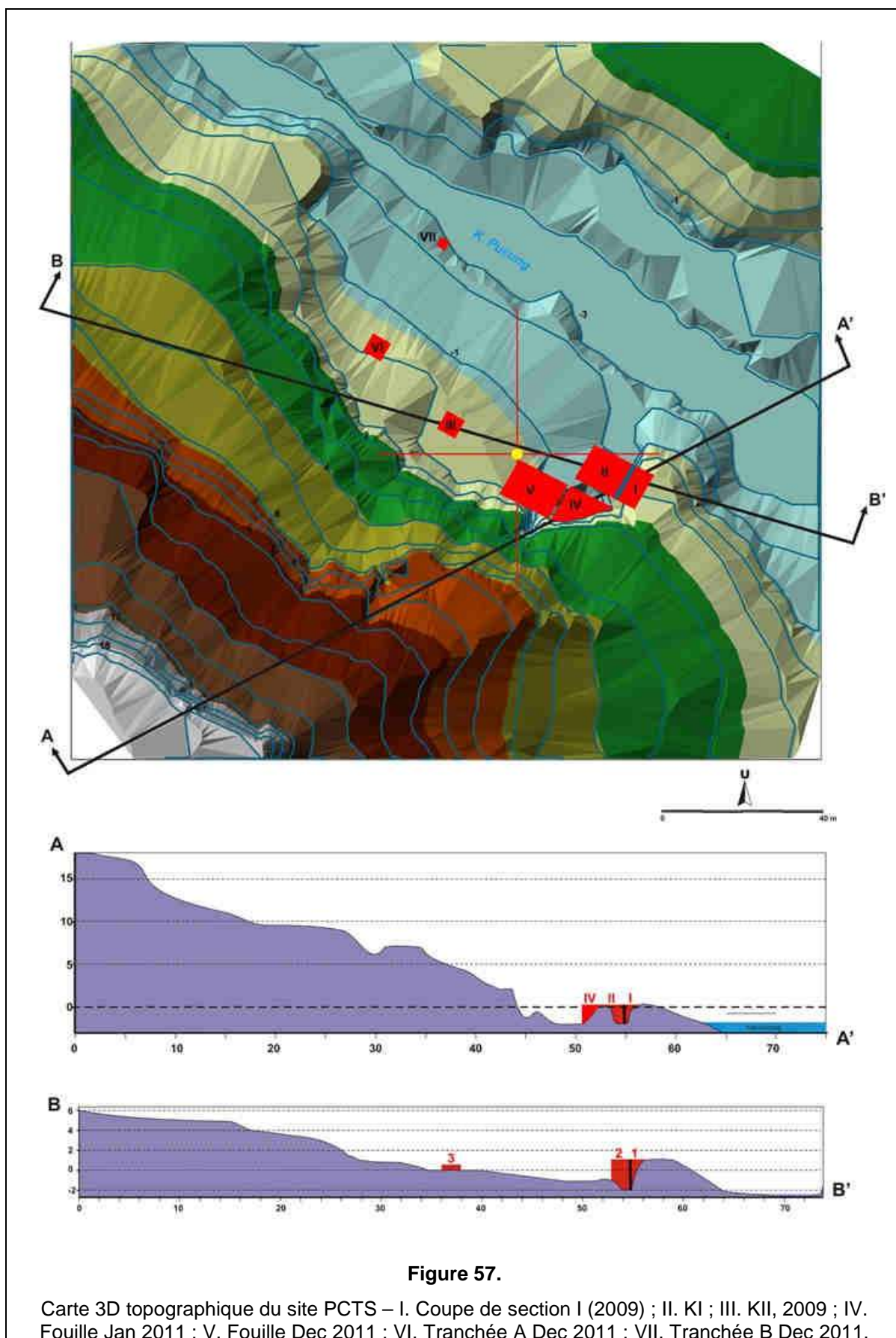


Figure 57.

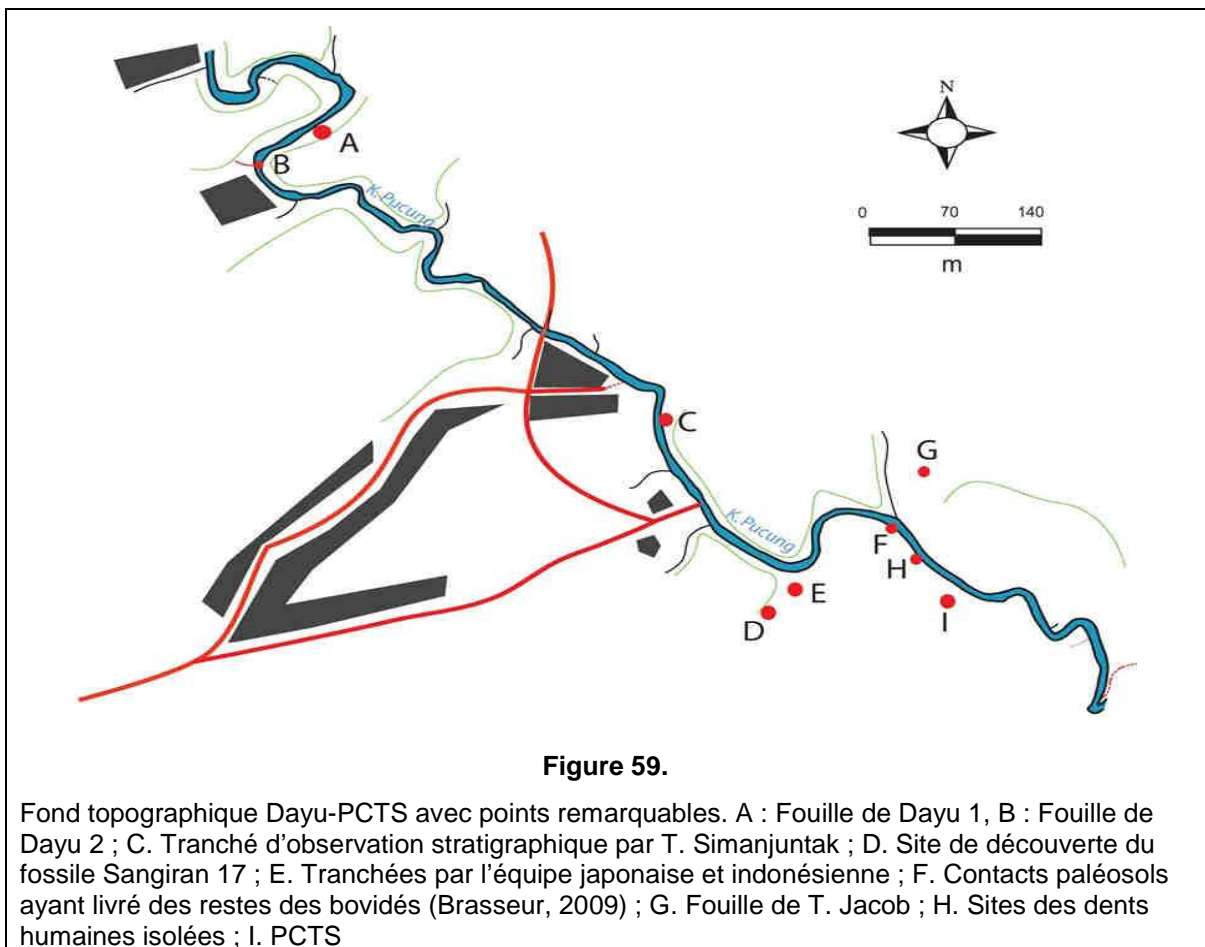
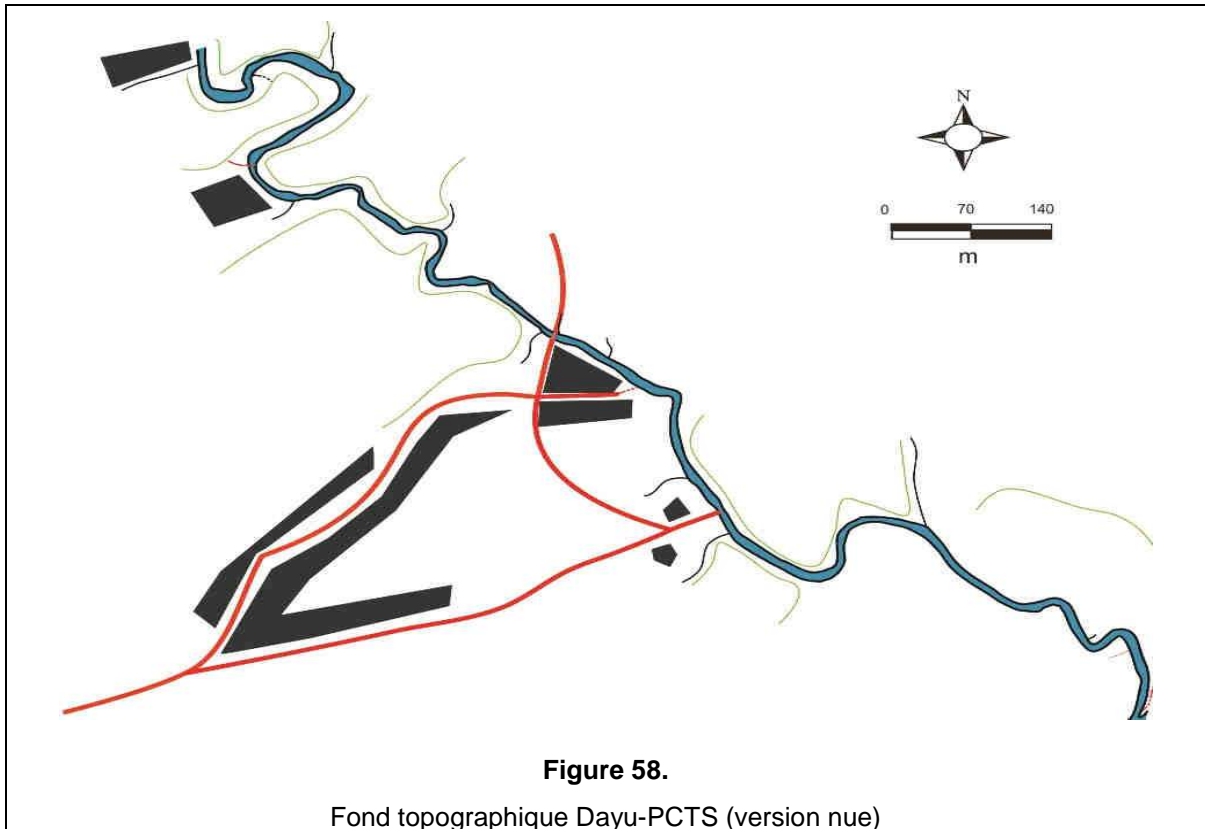
Carte 3D topographique du site PCTS – I. Coupe de section I (2009) ; II. KI ; III. KII, 2009 ; IV. Fouille Jan 2011 ; V. Fouille Dec 2011 ; VI. Tranchée A Dec 2011 ; VII. Tranchée B Dec 2011.

III.4.2. Fond topographique de travail

L'ensemble des relevés et documents topographiques nous ont permis de préparer un fond topographique simplifié de travail, dont l'usage est multiple.

Ce fond permet en effet de pointer aisément tout nouveau site ou fossile découvert. Il sera repris plus loin comme support des données géologiques et structurales liées à notre travail.

Nous en présentons deux versions sur les Figures 58 et 59: la version nue, mais aussi une carte permettant de repérer les sites et points remarquables liés à notre travail. Cette carte inclut les zones d'habitat actuelles et les principales voies de circulation entre elles.



III.5. ASPECTS STRUCTURAL ET GÉOLOGIQUE

III.5.1. Profil structural

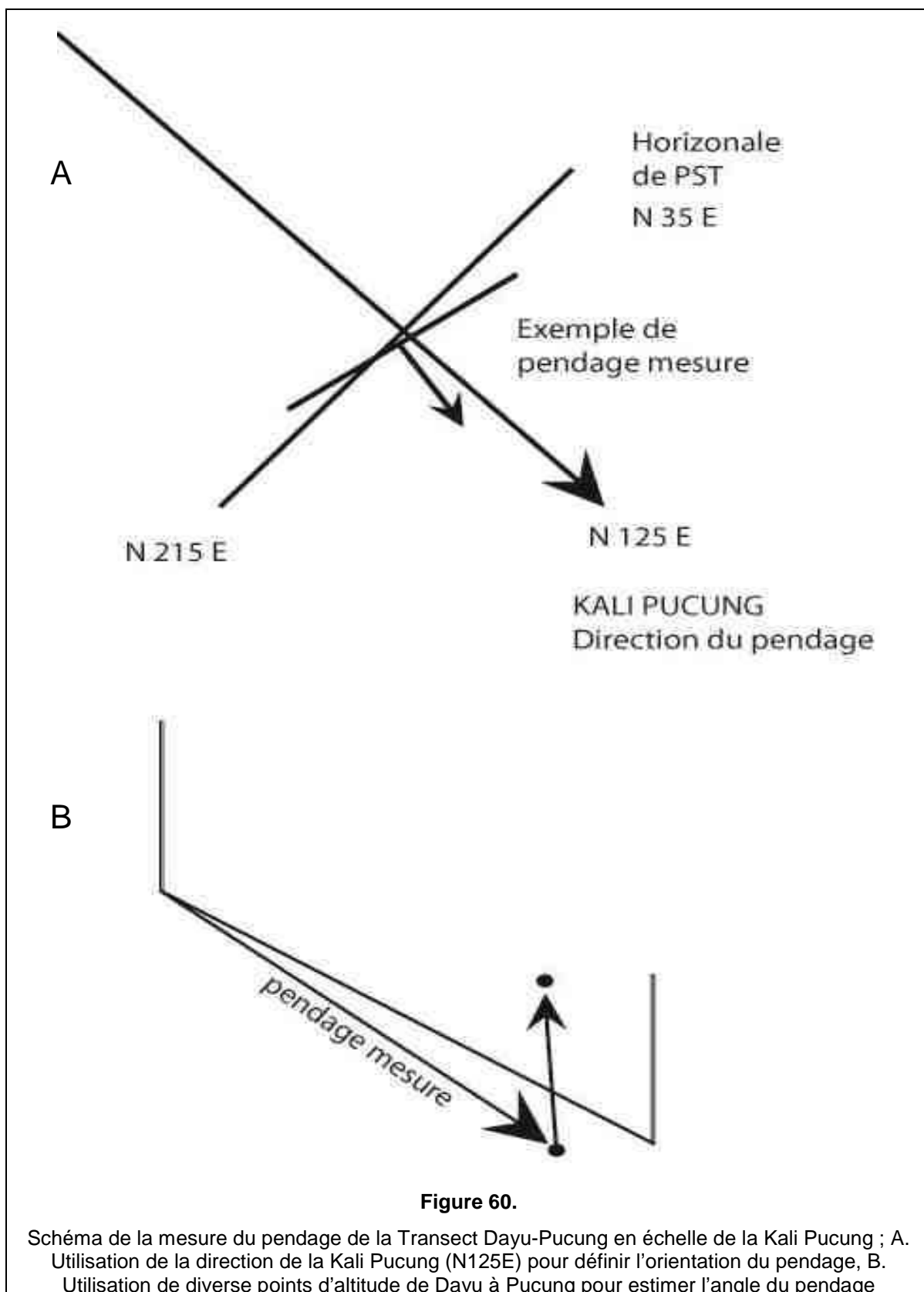
III.5.1.1. Calcul des pendages

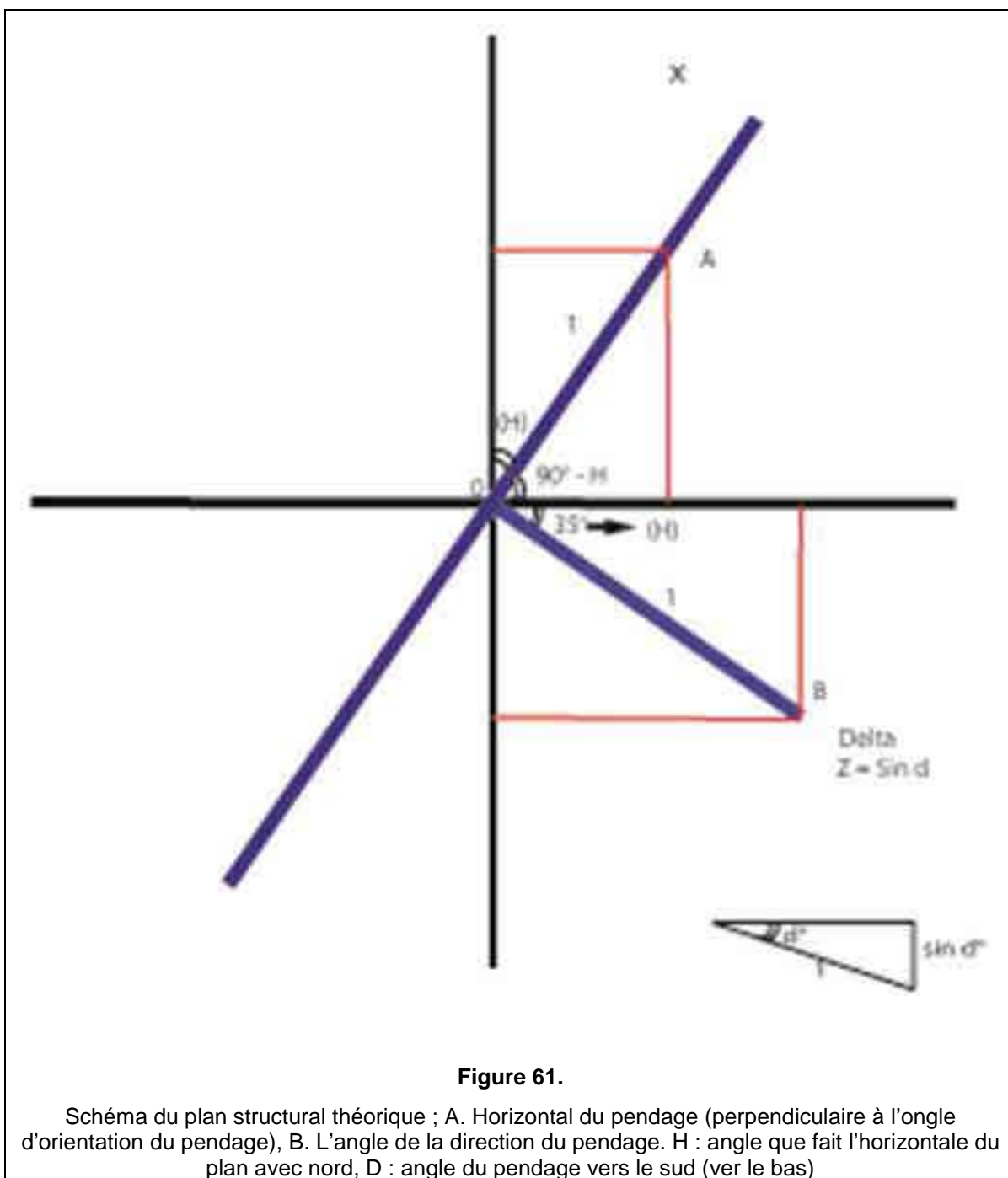
Les mesures de pendage ont montré une grande dispersion. Cette dispersion n'est pas étonnante si nous considérons la nature des couches et la pauvre qualité des affleurements. Cependant, notre travail demande à ce que le transect Dayu – Pucung soit étayé par un cadre structural.

Dans le cadre de notre étude, une trentaine de mesures ont été réalisées. Ceci, compte tenu des handicaps rencontrés, ne constitue pas une population statistique suffisante pour résoudre le problème.

Nous avons donc tenté une approche selon les principes suivants :

- Nous considérons, ce qui semble raisonnable, que le cours de la kali Pucung indique correctement la direction structurale : l'azimut du pendage est donc fixé vers le SE, et la ligne indiquée sur la Figure 60 est orientée dans la direction N125E.
- Nous créons un ensemble de Plans Structuraux Théoriques (PST) définis par l'horizontale structurale (N35E/N215E) et, pour chacun, par un vecteur orienté N125E dont le pendage vers le bas varie entre 0° et 35° (Figure 61).
- Pour presque tous les points mesurés, le plan structural trouvé sera différent de l'ensemble des PST créés : en effet, il existe une variation entre l'horizontale mesurée et l'horizontale fixée pour tous les PST.
- Chacun des pendages mesurés est matérialisé par un point dans l'espace, situé à l'extrémité d'un vecteur de pendage d'une seule unité de longueur.
- Nous calculons trigonométriquement la distance de ce point à chacun des PST considérés.
- La valeur de pendage retenue sera celle du PST dont la distance au point mesuré sera minimale.





III.5.1.2. Résultats et interprétation

Les résultats sont donnés dans le tableau de la Figure 62. Ils montrent (à trois exceptions près) que le PST le plus proche de la valeur mesurée présente un pendage inférieur à 15°, le plus souvent compris entre 2° et 7°.

L'application de cette méthode demandera bien sûr de réaliser des campagnes de mesures plus exhaustives.

Cependant, nous pouvons déjà distinguer le long du transect Dayu-Pucung trois zones dont le pendage semble différent :

- **Zone 1** : aux alentours du site PCTS, une zone de pendage maximum, évalué entre 7° et 9°. Cette zone correspond aux faciès sableux des couches de Kabuh.
- **Zone 2** : au niveau du village de Pucung, un pendage compris entre 4° et 6°. Cette zone correspond aux faciès compactés, d'apparence argileuse, de la partie inférieure des couches de Kabuh.
- **Zone 3** : proche du site de Dayu, un pendage plus faible, compris entre 2° et 3°. Cette zone correspond aux couches basales de Kabuh et au Grenzbank, présentant de façon récurrente des bancs concrétionnés.

Ces résultats sont synthétisés sur la Figure 63.

d (point mesuré)	D (Angle proche de PST)
d1b	9
d2a	7
d2b	7
d3	2
d9	3
d10	6
d11	5
d13	2
d14	5
d15	4
d16	3
d17	9
d18	5
d19	5
d20	2
d21	2
d22	4
d27	7
d5	2
d25	2
d26	2
d4	5
d6	5
d7	2

Figure 62.

Résultats des calculs des pentages

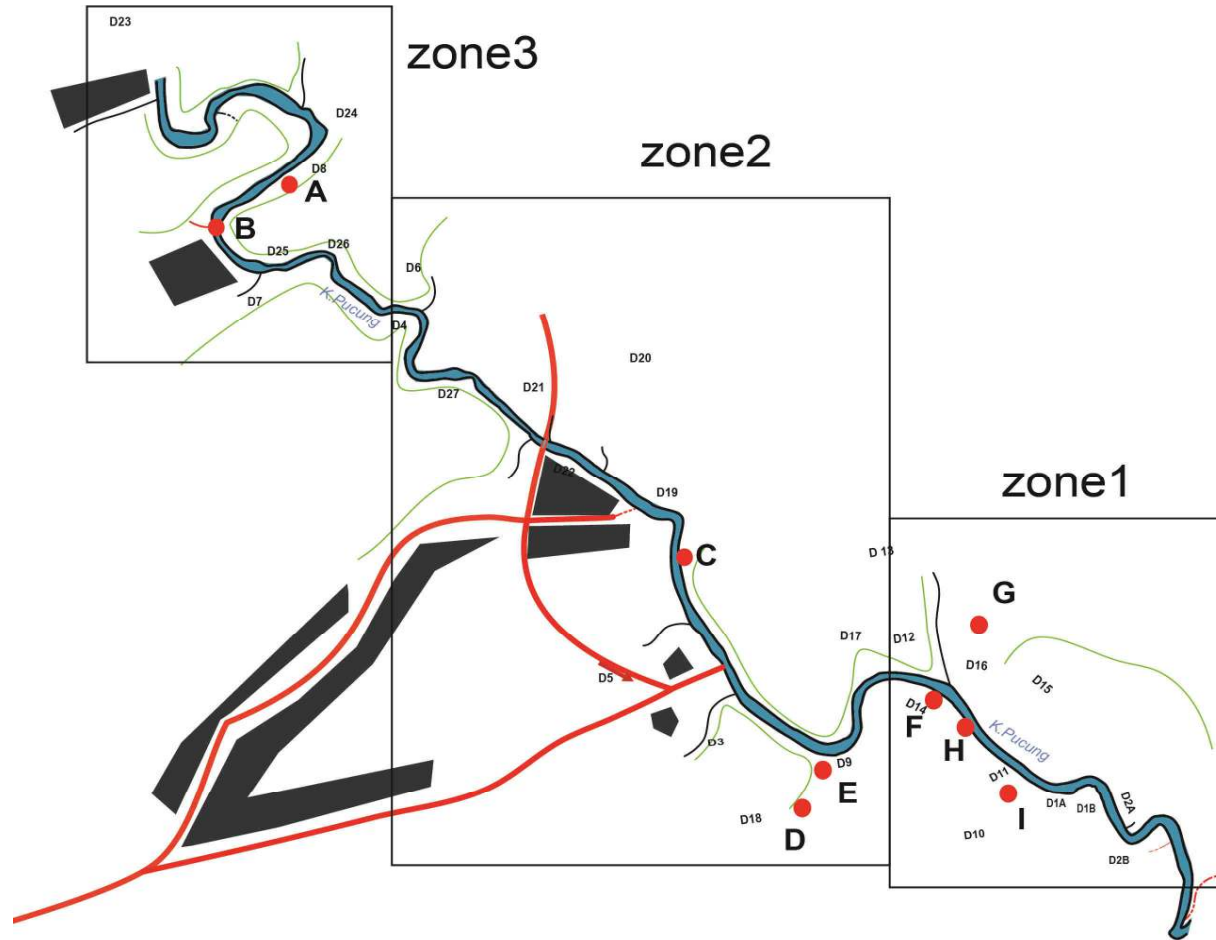


Figure 63.

Différentes zones de pentages définies le long du transect Dayu-Pucung. Zone 1 : zone de pentage maximum, évalué entre 7° et 9° ; Zone 2 : au niveau du village de Pucung, un pentage compris entre 4° et 6° ; Zone 3 : un pentage plus faible, compris entre 2° et 3° .

III.5.2. Profil géologique

III.5.2.1. Préparation du profil

Nous avons reporté sur le fond topographique de travail les principaux changements de faciès repérés le long du transect Dayu-Pucung depuis les derniers niveaux des couches de Pucangan qui affleurent à Dayu jusqu'aux niveaux sableux de Kabuh tels que nous les retrouvons à Pucung.

Cette ébauche de carte géologique nous sera utile par la suite pour indiquer la position des sites et des coupes stratigraphiques étudiées.

Associées aux résultats structuraux, ces informations nous permettent de présenter un profil vertical du transect suivi par la kali Pucung, et aussi de dresser un log stratigraphique schématique de la coupe qui s'étend d'une extrémité à l'autre du transect.

III.5.2.2. Intérêt du profil

Ce profil nous permet d'estimer l'épaisseur stratigraphique totale séparant les sites archéologiques de Dayu et de PCTS à environ 59 mètres .

Une première conclusion liée à ce profil géologique est d'avoir permis de situer stratigraphiquement, les uns par rapport aux autres, les principaux sites paléontologiques et archéologiques liés au transect Dayu-Pucung (Figure 64):

- Site de découverte des plus anciens artefacts dans les couches terminales de Pucangan (Widianto, 2006).
- Site de découverte des artefacts du Grenzbank (fouilles de H. Widianto, 2001).
- Site de découverte du fossile Sangiran 17 et tranchées réalisées par l'équipe japonaise et indonésienne (Watanabe et Kadar, 1985).
- Tranchée d'observation stratigraphique réalisée par T. Simanjuntak (non publiée).
- Contacts stratigraphiques et paléosols ayant livré des restes de bovidés (découverts par Brasseur, 2009).
- Site des dents humaines isolées retrouvées dans la kali Pucung (Zanolli *et al.*, 2012).

Chapitre III : La zone étudiée : le transect Dayu-Pucung

- Fouilles réalisées par T. Jacob (non publiées).
- Site archéologique PCTS.

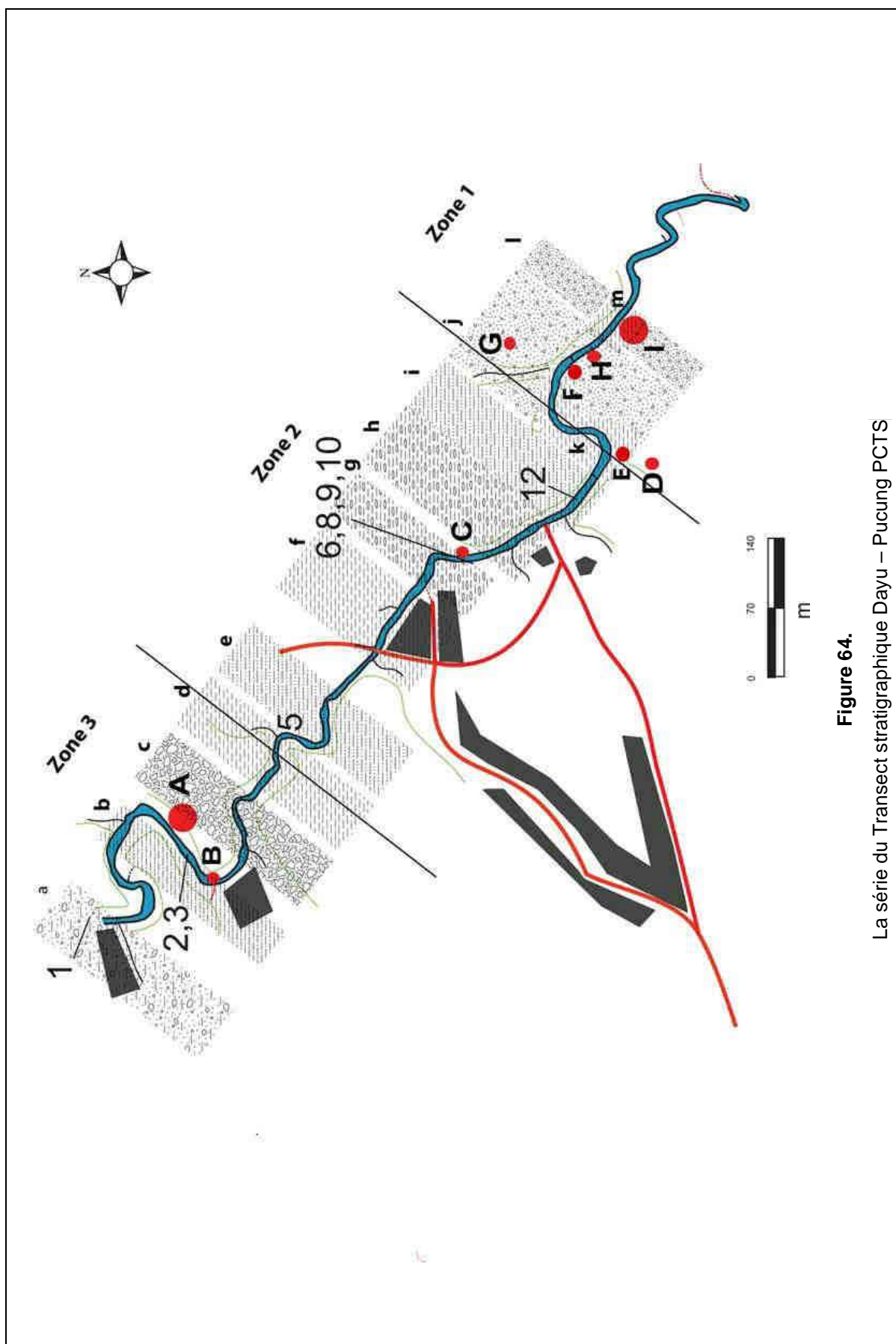


Figure 64.
La série du Transect stratigraphique Dayu – Pucung PCTS

CHAPITRE IV

Les faciès sédimentaires
Choix, relevé et observation
des coupes stratigraphiques étudiées
et des sites fouillés

IV.1. LES PRINCIPALES SÉRIES SÉDIMENTAIRES

IV.1.1. La série stratigraphique du transect

Les grandes lignes de l'évolution stratigraphique ont été décrites dans le chapitre précédent, pour d'illustrer le cadre topographique et structural qui a été construit.

Nous allons maintenant essayer de préciser l'évolution générale des faciès tout au long le long du transect Dayu-Pucung, afin de mieux situer les différents sites étudiés dans le cadre de l'évolution paléoenvironnementale qui a conditionné la zone SSE du dôme de Sangiran entre la fin du Pléistocène inférieur et le début du Pléistocène moyen. Pour cela, nous allons décrire plus précisément les affleurements liés à la carte géologique synthétique du cours de la rivière Pucung (voir Figure 64).

IV.1.2. La série de la zone structurale 3

(1) La série commence par des argiles noires contenant de petits nodules carbonatés de la taille de graviers. Elles sont suivies par des argiles sableuses claires plus ou moins oxydées. Ces deux faciès peuvent représenter, soit les toutes dernières couches de Pucangan, soit les premiers faciès érosifs liés au Grenzbank, mais ils sont plus anciens que les affleurements caractéristiques du Grenzbank.

(2) Puis, des blocs de type Grenzbank apparaissent. Ils se répartissent en trois catégories, suivant leur granulométrie, qui peut être grossière, moyenne ou fine. Certains contiennent des fragments d'ossements fossiles. Ces blocs sont très cimentés et sont d'épaisseur variable mais réduite (environ 20-30 cm). Nous avons observé au moins trois couches comprenant de tels blocs, qui affleurent dans la rivière sur 50 à 100m.

(3) Cette zone typique du Grenzbank est surmontée par des sables grossiers oxydés, avec un ciment carbonaté peu cohérent. Aucun fossile n'y a été retrouvé.

(4) Vient ensuite une zone sableuse dont la matrice est à dominance argileuse, souvent bleutée à noire, suivant le degré d'évolution des composés métalliques. Ces argiles contiennent des éléments carbonatés, qui peuvent constituer des nodules pluricentimétriques.

IV.1.3. La série de la zone structurale 2

(1) Cette zone débute par des couches argileuses avec des concrétions carbonatées plus rares, voire des niveaux totalement dépourvus de carbonate. La couleur est variable, de gris clair à sombre ou noir.

(2) Viennent ensuite des horizons sableux grossiers avec de nombreuses ponces de taille centimétrique, le plus souvent très altérées.

(3) Ces sables sont recouverts par des argiles grises contenant des nodules pluricentimétriques carbonatés dont la taille décroît vers le haut de la séquence,

(4) qui évoluent progressivement vers des couches argileuses noires à concrétions carbonatées de forme très irrégulière, à nombreuses pointes, sans doute d'origine pédogénétique.

(5) Des tufs argileux bruns à beiges surmontent cette couche. Ils semblent très étendus le long de la rivière (les affleurements sont distribués sur environ 200 m) et nous y avons individualisé près d'une quinzaine de couches. Les différences entre les couches sont liées à la granulométrie, certaines des couches étant plus sableuses. Le contenu en verre volcanique plus ou moins altéré est important.

IV.1.4. La série de la zone structurale 1

(1) La série débute par une couche sableuse grossière oxydée assez compacte qui contient des ponces centimétriques altérées.

(2) Une couche tufacée blanche à beige recouvre les sables,

(3) elle-même recouverte par des sables grossiers très compactés,

(4) puis à nouveau par des tufs de couleur claire,

(5) recouverts par des tufs à nodules calcaires de petite taille.

(6) Les couches suivantes, au nombre de quatre, sont des tufs toujours de couleur très claire.

(7) On arrive ensuite à une couche de sable assez meuble, contenant des fossiles,

(8) elle-même surmontée d'une couche de tuf blanc-beige qui représente la base stratigraphique du site PCTS.

(9) Viennent ensuite les couches sableuses (avec blocs de tuf à la base), horizon fouillé du site PCTS, oxydées à la base, grise et plus meubles au sommet,

(10) recouvertes par une nouvelle couche de tuf beige,

(11) puis encore par des sables.

IV.1.5. Interprétation générale

Le transect sur lequel nous travaillons s'étend sur plus d'un kilomètre le long de la kali Pucung (en suivant la ligne structurale) : l'évolution décrite demeure donc indicative, puisqu'elle place en succession stratigraphique des segments de coupe qui se sont déposés en des endroits divers dans la zone étudiée.

Quelques points importants peuvent être notés à ce stade :

- La limite entre les séries de Pucangan et du Grenzbank apparaît progressive à Dayu. Nous voyons la mise en place de séquences érosives au sein des argiles, qui s'étendent sur plusieurs mètres d'épaisseur.
- Le Grenzbank lui-même ne représente pas un banc-limite unique à Dayu. Il se présente sous la forme de couches riches en blocs cimentés (apport important de carbonates), mais d'épaisseur réduite. Ces couches sont liées à des phénomènes de transport alluvial de compétence variable, comme le montre la granulométrie des blocs (graviers et/ou sables).
- Une dynamique comparable à celle du Grenzbank semble se prolonger dans les couches suivantes, où nous retrouvons des sables fluvatiles plus ou moins cimentés, ainsi que des argiles très sableuses.
- Une véritable transition apparaît ensuite avec la mise en place de couches sablo-tufacées très compactes, qui affleurent sur une partie importante du transect Dayu-Pucung. Ces couches contiennent souvent des concrétions ou nodules carbonatés, et certaines semblent avoir été soumises à une pédogénèse (émersion ?). Les horizons sont souvent de lithologie (et de

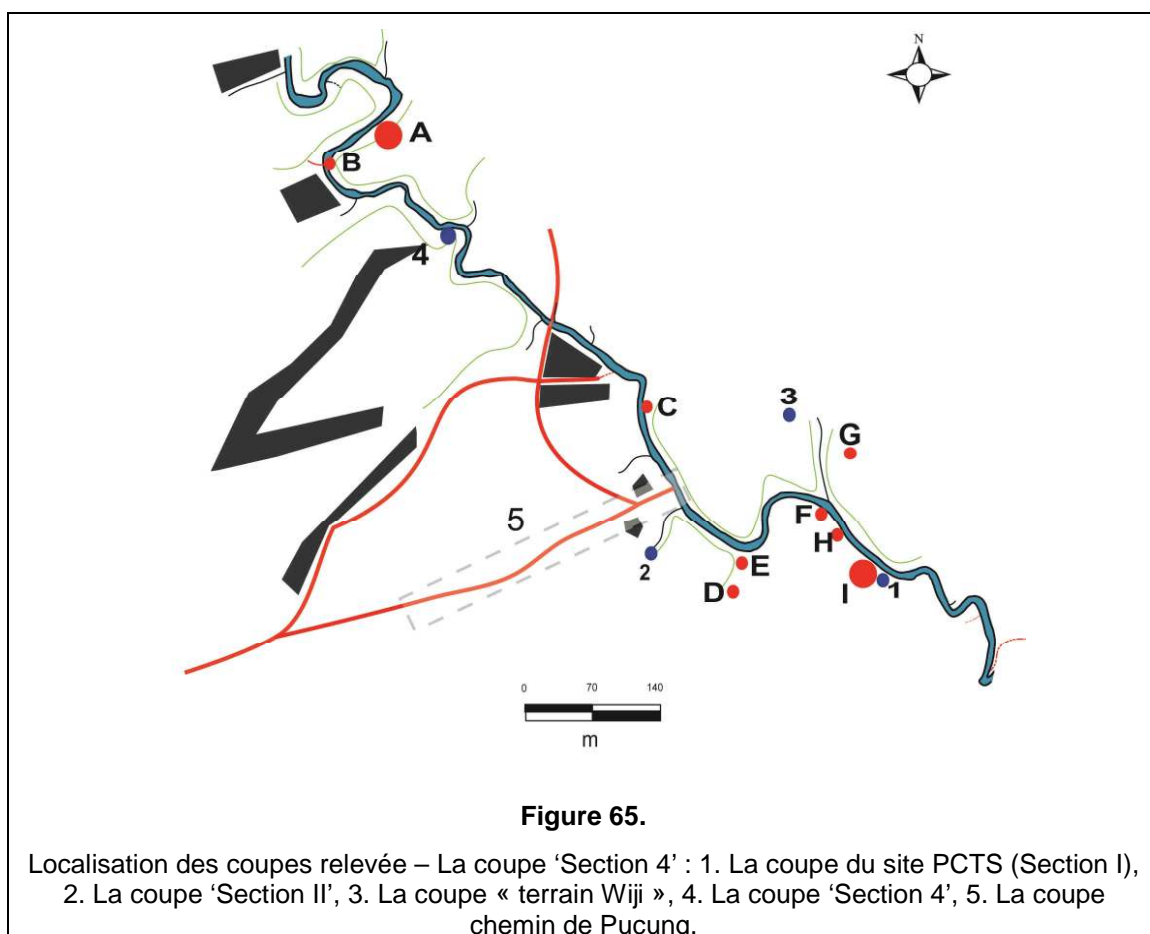
contenu) comparable, mais nous pouvons les distinguer (limites claires) sur le terrain. Il est probable que ces couches puissent être attribuées à des périodes de forte activité volcanique, séparées par des stases, des érosions et parfois des pédogénèses.

- Les séquences sableuses de la série de Kabuh apparaissent assez tard dans la série stratigraphique. Elles sont séparées par le dépôt de tufs.
- Ces séries sableuses témoignent d'une forte érosion fluviale, mais semblent a priori (grano-classement apparent, figures de sédimentation, contenu pétrographique), très liées à une importante activité volcanique.
- Ce sont ces sables, et le plus souvent leur partie basale, qui livrent les fossiles et les artefacts. C'est le cas sur le site PCTS, et cela semble être aussi le cas sur le site de découverte du fossile humain Sangiran 17.

Il faut enfin mentionner, près de la limite entre les zones structurales 1 et 2, la présence sur la rive gauche de la kali Pucung d'une véritable terrasse alluviale de la rivière, qui culmine à 5 mètres environ au-dessus du lit. Cette terrasse est liée à l'incision de la kali Pucung. Elle comprend de nombreux blocs andésitiques frais, sans doute érodés des lahars et brèches de Notopuro.

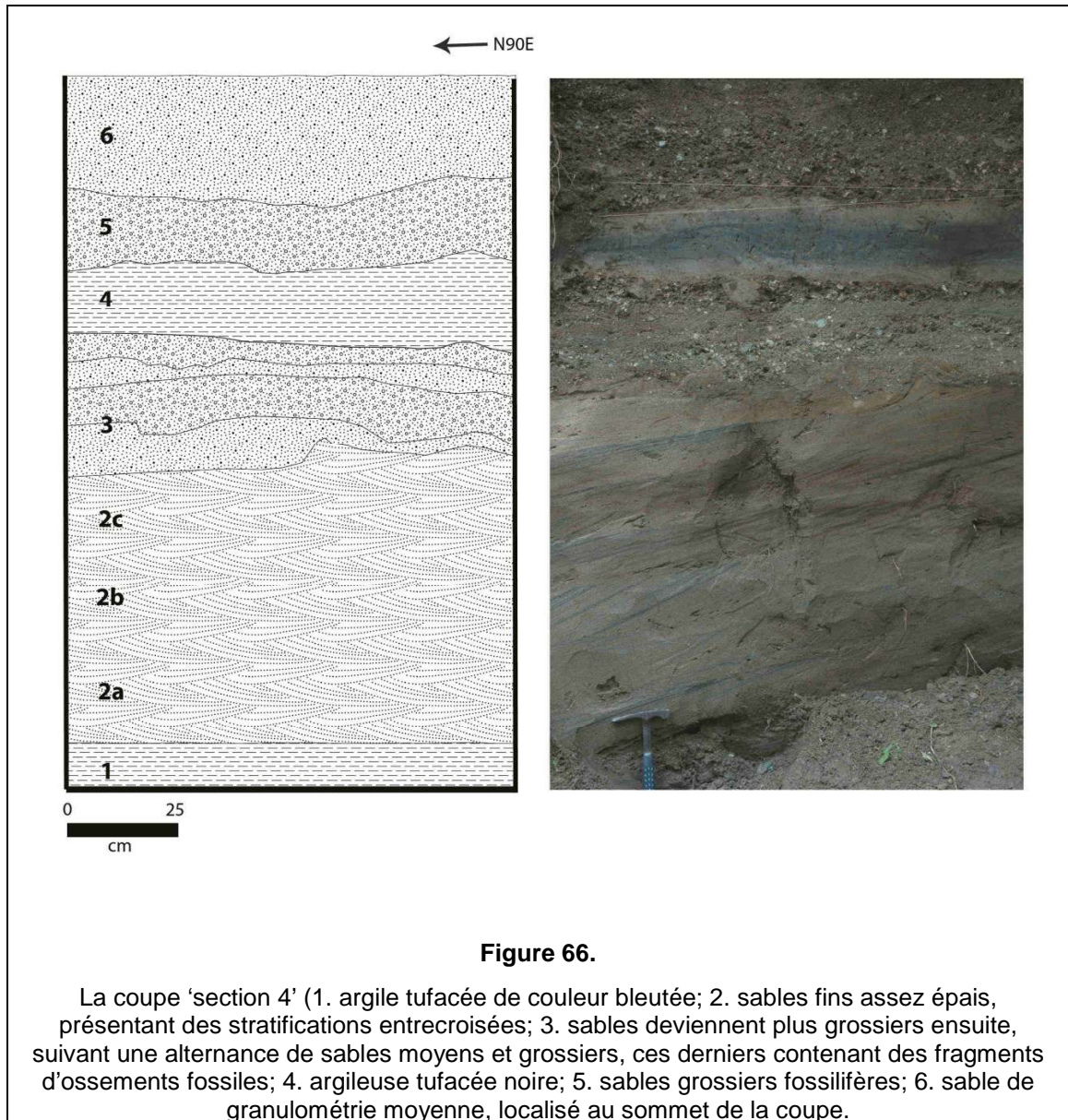
IV.2. LES COUPES SÉLECTIONNÉES ET LEUR ÉCHANTILLONNAGE

Plusieurs coupes ont été sélectionnées afin de nous permettre de commencer à détailler la dynamique des dépôts le long du transect Dayu - Pucung (Figure 65).



IV.2.1. La coupe 'section 4'

Cette coupe se situe sur la rive droite de la rivière Pucung, à environ 150 m du site de fouilles de Dayu en suivant la direction structurale (Figure 66). L'épaisseur considérée est de l'ordre de 2 m. Stratigraphiquement, elle se situe dans la partie



finale de la zone structurale 3, elle est donc postérieure à la zone dont la dynamique sédimentaire est rattachée au Grenzbank.

Nous considérons cette coupe comme représentative des tous premiers faciès clairement rattachés à la série de Kabuh dans la zone étudiée.

- A la base, dans le lit de la rivière, nous observons une couche argileuse tufacée de couleur bleutée,
- Recouverte par une couche sableuse fine assez épaisse, présentant des stratifications entrecroisées.

- Puis, les sables deviennent plus grossiers ensuite, suivant une alternance de sables moyens et grossiers, ces derniers contenant des fragments d'ossements fossiles.
- Une couche argileuse tufacée noire coiffe cette série sableuse sur 25 cm d'épaisseur.
- Elle est recouverte par des sables grossiers fossilifères.
- Un sable de granulométrie moyenne est localisé au sommet de la coupe.

8 échantillons (indiqués sur la (Figure 55) ont été prélevés le long de cette coupe.

IV.2.2. La coupe 'chemin de Pucung'

Cette coupe est relevée perpendiculairement au cours de la rivière, le long de la falaise sédimentaire entaillée par le chemin qui relie le hameau de Pucung au cours d'eau (Figure 67). Son épaisseur totale est d'environ 30 m. Il n'y a pas eu de campagne d'échantillonnage.

- La coupe débute à la rivière par les tufs argileux contenant des concrétions calcaires irrégulières, qui disparaissent vers le haut de la couche.
- On trouve ensuite une argile sableuse très compacte qui présente vers le haut une apparence prismatique avec des lignes oxydées, avec des sables grossiers oxydés au sommet, incluant des quartz volcaniques bipyramidés et des fragments d'ossements fossiles.

Ce premier ensemble témoignerait d'une pédogénèse assez poussée.

- On trouve ensuite une série tufacée sableuse assez compacte incluant des fragments de tuf,
- Recouverte par des sables grossiers avec des ponces oxydées et altérées, ainsi que des fossiles,
- Puis, des tufs argileux bruns ou oxydés qui contiennent de gros blocs de tufs brisés vers le sommet.
- Des sables fins oxydés à stratification entrecroisée les recouvrent,
- Suivis de tufs argileux jaunes,

- De sables grossiers à graviers et fragments d'ossements fossiles,
- de sables tufacés compacts,
- et de tufs à nodules sombres altérés (organiques ?).
- On trouve ensuite une série sableuse grossière oxydée compacte dont la granulométrie devient plus fine au sommet
- Suivie de tufs argileux clairs
- Et de sables fins noirâtres,
- Et des tufs blancs à jaunâtres en arrivant aux premières maisons du hameau de Pucung.
- De nouveaux sables de granulométrie moyenne apparaissent ensuite,
- Des tufs gris-jaunes,
- Passant à une couleur nettement plus oxydée vers le haut (jaunâtres puis orangés-roses)
- Enfin, un sable de granulométrie moyenne, verdâtre, contient des ponces altérées,
- Recouvert par une argile tufacée jaunâtre
- Et enfin, par une couche bréchique jaunâtre, contenant des andésites et des ponces.

Cette coupe épaisse semble offrir à terme un important potentiel car elle apparaît assez complète vers le haut. Elle couvre une partie des séries de la zone structurale 2 ainsi que de la zone structurale 1. Elle semble être recouverte (au niveau de la couche bréchique) par des niveaux assimilables aux séries de Notopuro/Pohjajar.

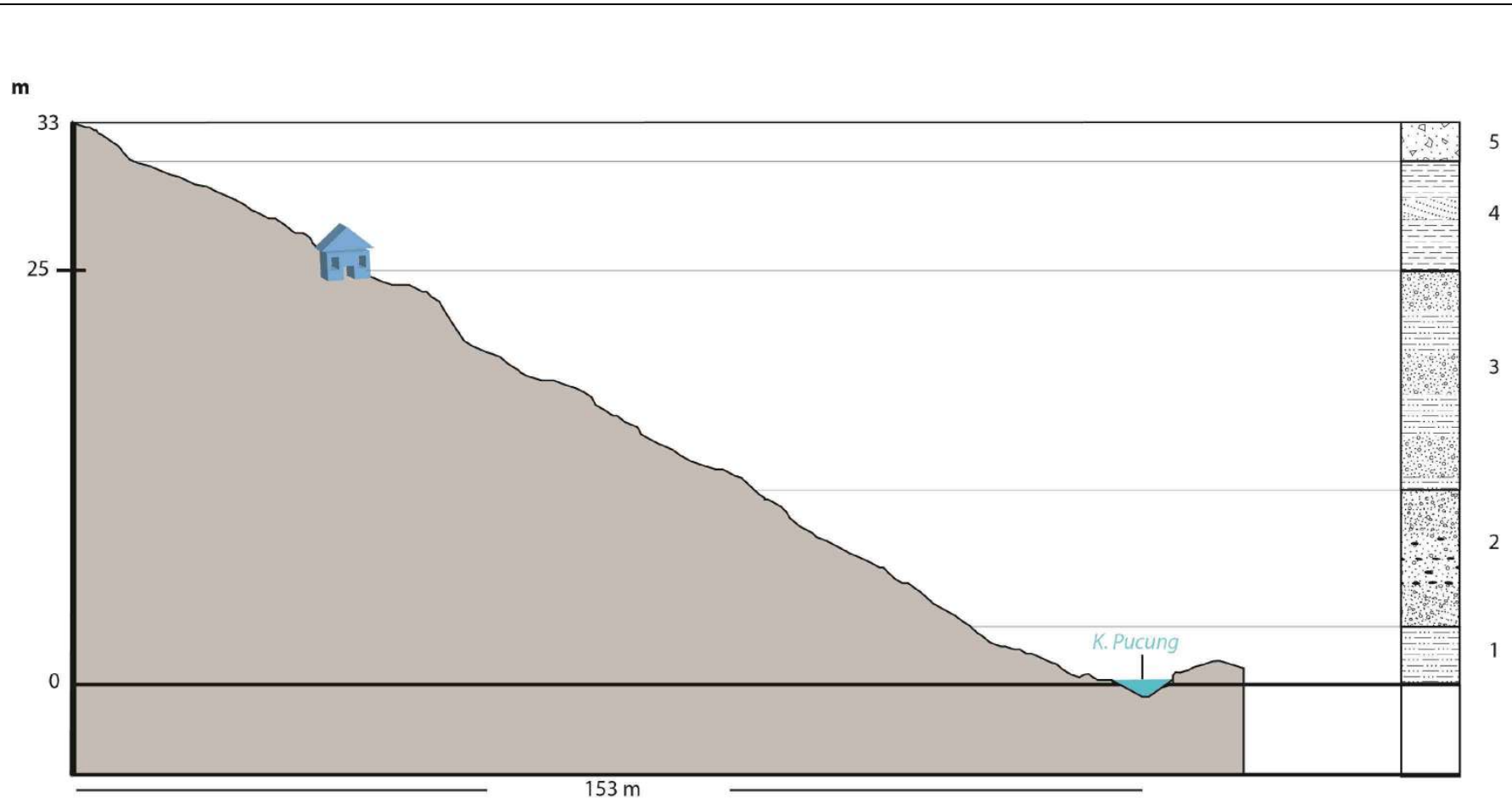


Figure 67.

Stratigraphie de la coupe de 'Chemin de Pucung' – 1. ensemble de couches argileuses ; 2. Ensemble de sables grossiers oxydés ;3. ensemble de sables meubles avec tufs ; 4. Ensemble des couches de tufs et sables; 5. couche bréchique.

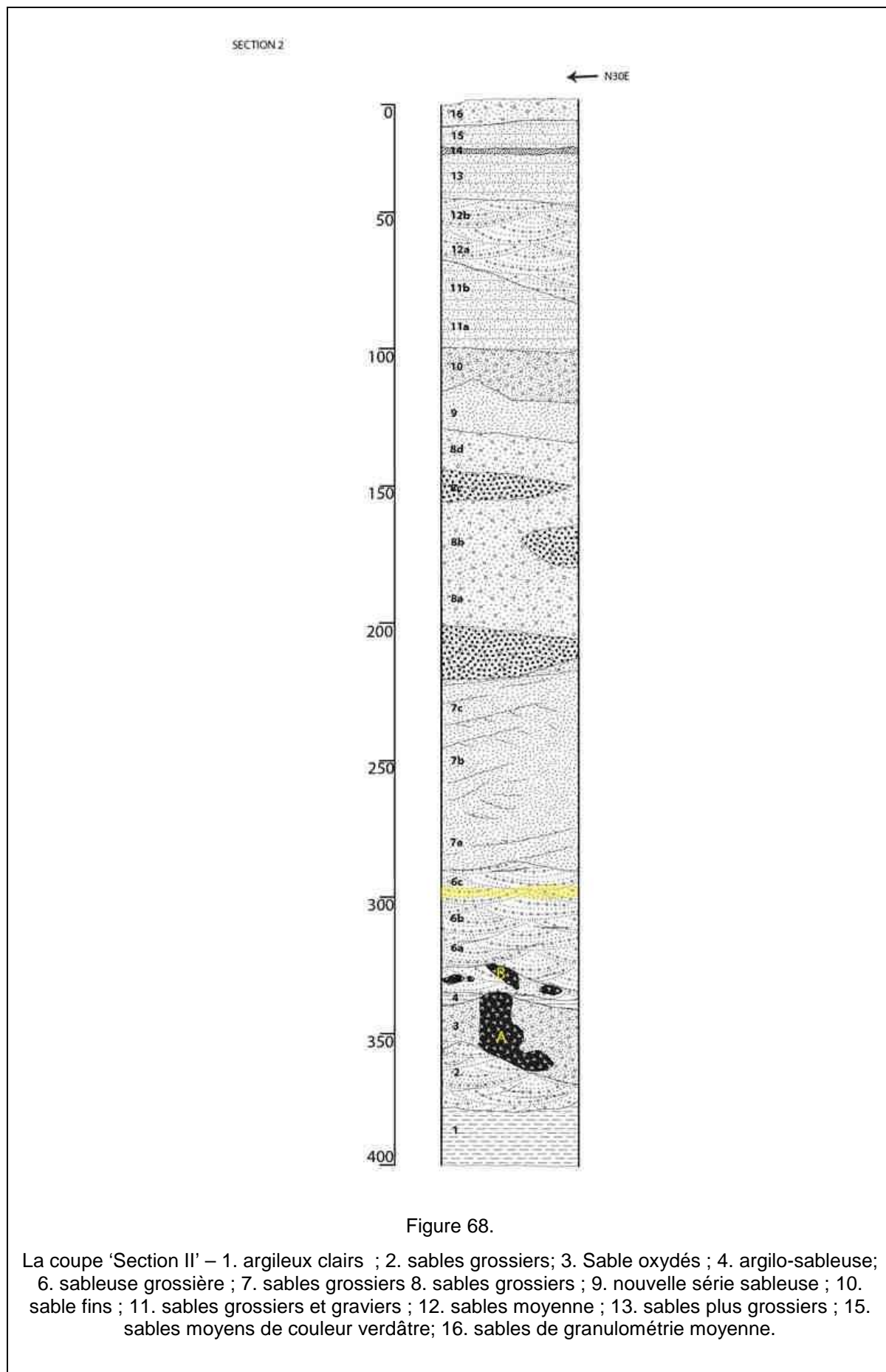
IV.2.3. La coupe 'section 2'

Cette coupe se situe au sein de la zone structurale 2 et a été relevée le long d'un petit ruisseau affluent vers la kali Pucung sur la rive droite (Figure 68). Elle représente 4 m d'épaisseur.

- Elle débute par des dépôts argileux clairs stériles,
- Surmontés par des sables grossiers à stratification entrecroisée,
- Lesquels sont oxydés et contiennent vers le haut des blocs de tuf blanc parfois de grande taille et des fragments d'ossements fossiles.
- Une passée argilo-sableuse termine cette séquence (5 à 7 cm).
- Une nouvelle séquence sableuse grossière apparaît, comprenant des fragments de tufs peu épais, parfois transportés, mais de taille restreinte (7 cm environ).
- Puis, nous trouvons une séquence assez épaisse de sables grossiers à stratification entrecroisée contenant des graviers de tuf transportés. Des lignes d'oxydation jaune sont fréquentes dans cette séquence, qui est également fossilifère.
- Ces sables grossiers passent à une épaisse couche de sables plus fins, toujours à stratification entrecroisée, qui apparaissent stériles.
- Une nouvelle série sableuse, alternant les passées grossières et de granulométrie médiane se situe au-dessus. Nous y trouvons des lentilles grossières qui incluent des graviers de tuf de forme aplatie (1 à 2 cm) : ces lentilles sont fossilifères.
- Une couche de sable fins homogènes recouvre cette série,
- Puis, une nouvelle couche de sables grossiers et graviers (incluant des graviers de tuf),
- Recouverte par une lentille assez épaisse de sables de granulométrie moyenne,
- Et une lentille assez épaisse de sables plus grossiers à stratification entrecroisée.

- La partie supérieure de la coupe est composée d'une couche de sables moyens de couleur verdâtre sans fossiles, interrompue par une fine couche de graviers noirs très oxydés.
- La couche sommitale est représentée par des sables stériles de granulométrie moyenne, contenant un nombre limité de graviers.

26 échantillons ont été prélevés le long de cette coupe, auxquels s'ajoutent deux échantillons de blocs de tufs.



IV.2.4. La coupe 'terrain Wiji'

Cette coupe entre dans la zone structurale 1, incluse dans les séries à dominance sableuse de Kabuh, et représente une dizaine de mètres d'épaisseur sur la rive gauche de la kali Pucung (Figure 69).

Elle repose, si nous nous référons au transect de la rivière, sur des couches tufacées jaunes très compactes, au sommet desquelles ont été découverts les fossiles de bovidé décrits par Brasseur (2009), voir Chapitre III).

- A la base, se trouve une série sableuse fine meuble stérile,
- Recouverte par des tufs argileux blancs (couche fine, environ 20 cm)
- Puis des sables de granulométrie moyenne
- Et une nouvelle couche peu épaisse de tuf.
- Des sables grossiers apparaissent ensuite, avec des fossiles et des graviers de tuf. Cet horizon a livré des bolas.
- Il est recouvert par des tufs clairs
- Puis, une nouvelle séquence sableuse grossière avec des graviers argileux, des fossiles et des bolas.
- De nouveaux tufs se déposent ensuite
- Recouverts au sommet de la colline par une épaisse séquence de sables de granulométrie moyenne avec des graviers argileux (Figure 70) et des fossiles de dimension très réduite, d'aspect assez oxydé (rougeâtre).

L'influence du volcanisme semble importante dans cette série, puisque nous avons retrouvé (mais malheureusement sans localisation stratigraphique précise) des ponces non altérées de très grande taille (Figure 71). De même, une tectite brisée de plusie (Figure 72).

Section 7

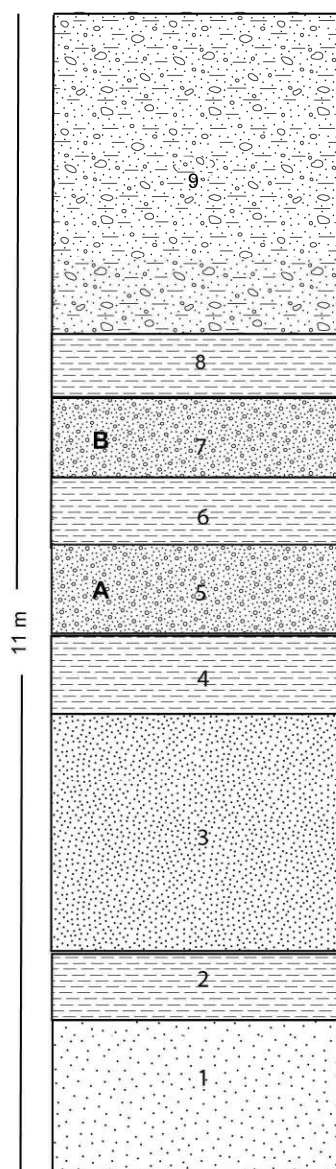


Figure 69.

Stratigraphie de la coupe « Terrain de Wiji » (1. Sable, fine, stérile; 2. Tuf/ argile blanche; 3. Sable, moyenne; 4. Tuf/ argile blanche; 5. Sable, grossier, avec des graviers d'argile, fossiles et bola; 6. Tuf/ argile blanche; 7. Sable, grossier, avec des graviers d'argile, fossiles et bola; 8. Tuf/ argile blanche; 9. Argilo-sableuse, moyenne, des petite cailloux)



Figure 70.

Gravier argileux de « Terrain de Wiji »



Figure 71.

ponce non altérées de « Terrain de Wiji »



Figure 72.

Tectite de « Terrain de Wiji »

IV.2.5. La coupe du site PCTS (voir chapitre IV.3., Figure 73)

Nous verrons plus loin (partie IV.3.) en détail les coupes relevées et les échantillons prélevés à l'occasion des travaux développés sur le site PCTS. Nous présentons ici l'aspect stratigraphique général de la série stratigraphique sur le site et dans son contexte immédiat.

Comme la précédente, cette série fait partie de la zone structurale 1 et est dominée par les séries sableuses fossilifères. En regard de la coupe précédente, nous pouvons partir des tufs argileux jaunes présents dans la rivière. Ces derniers sont recouverts par des argiles (fossiles de bovidé mentionnés plus haut). En allant vers l'aval en direction du site PCTS, on rencontre une première série sableuse fine, d'où proviennent très probablement les dents humaines isolées décrites par Zanolli *et al.* (2012).

Ces sables sont eux-mêmes très fossilifères juste en amont du site PCTS.

Ils sont recouverts par une nouvelle séquence tufacée et cendreuse très compactée, qui affleure dans la rivière au niveau du site.

C'est au-dessus que se trouvent les séquences sableuses fossilifères et contenant les artefacts. Ces dernières débutent par des sables grossiers très oxydés, contenant de nombreux blocs et galets de tuf, l'ensemble formant une couche assez dure.

Ces sables deviennent plus homogènes et de granulométrie moyenne au-dessus. Ils présentent une stratification entrecroisée et des couches brisées de tuf assez fine.

L'ensemble de la série sableuse est fossilifère, mais les découvertes archéologiques et ossements à cassures fraîches sont plutôt concentrés dans la partie inférieure, celle qui remanie de nombreux blocs et galets de tuf argileux.

Une nouvelle couche tufacée surmonte le site de PCTS, avant de rencontrer de nouvelles alternances sableuses et tufacées massives en allant vers le sommet de la colline.

IV.3. LA FOUILLE DU SITE PCTS ET LES COUPES STRATIGRAPHIQUES ASSOCIÉES

IV.3.1. Le site de PCTS et sa protection

Sur la rive droite de la kali Pucung, le site PCTS culmine à environ 2 m au-dessus du cours de la rivière (Figure 73). Il représente un terrain d'environ 30 x 30 m sur lequel l'érosion a dégagé l'ensemble des couches surmontant la série sableuse fossilifère de base.

Ceci permet une fouille relativement aisée (le couvert sédimentaire des couches les plus intéressantes est faible), mais laisse le site très vulnérable à l'érosion.

Nous avons donc entrepris, dès la campagne 2011, la construction d'une protection le long de la berge (Figure 74), ancrée dans les tufs compactés qui affleurent dans la rivière. Cette construction permet de limiter les effets de l'érosion durant les périodes de crue, et conforte le rôle de maintien joué par les jeunes tecks plantés par le propriétaire du terrain. De plus, elle permet de supporter un petit abri pour les fouilleurs, le matériel, et la signalisation du site, qui joue un rôle dans sa protection.

Du côté de la colline, les éboulements de la partie la plus meuble de la série sableuse sont fréquents. Ils impliquent un important travail de dégagement du pied de la falaise lors de chacune des campagnes de fouille, ainsi que la protection des couches sableuses grossières de la base (les plus riches) par une couche de ciment permettant de définir la limite entre couches en place et terrains éboulés. Cette couche de ciment permet aussi de faciliter l'écoulement des eaux de ruissellement venues de la colline vers la rivière (Figure 75).

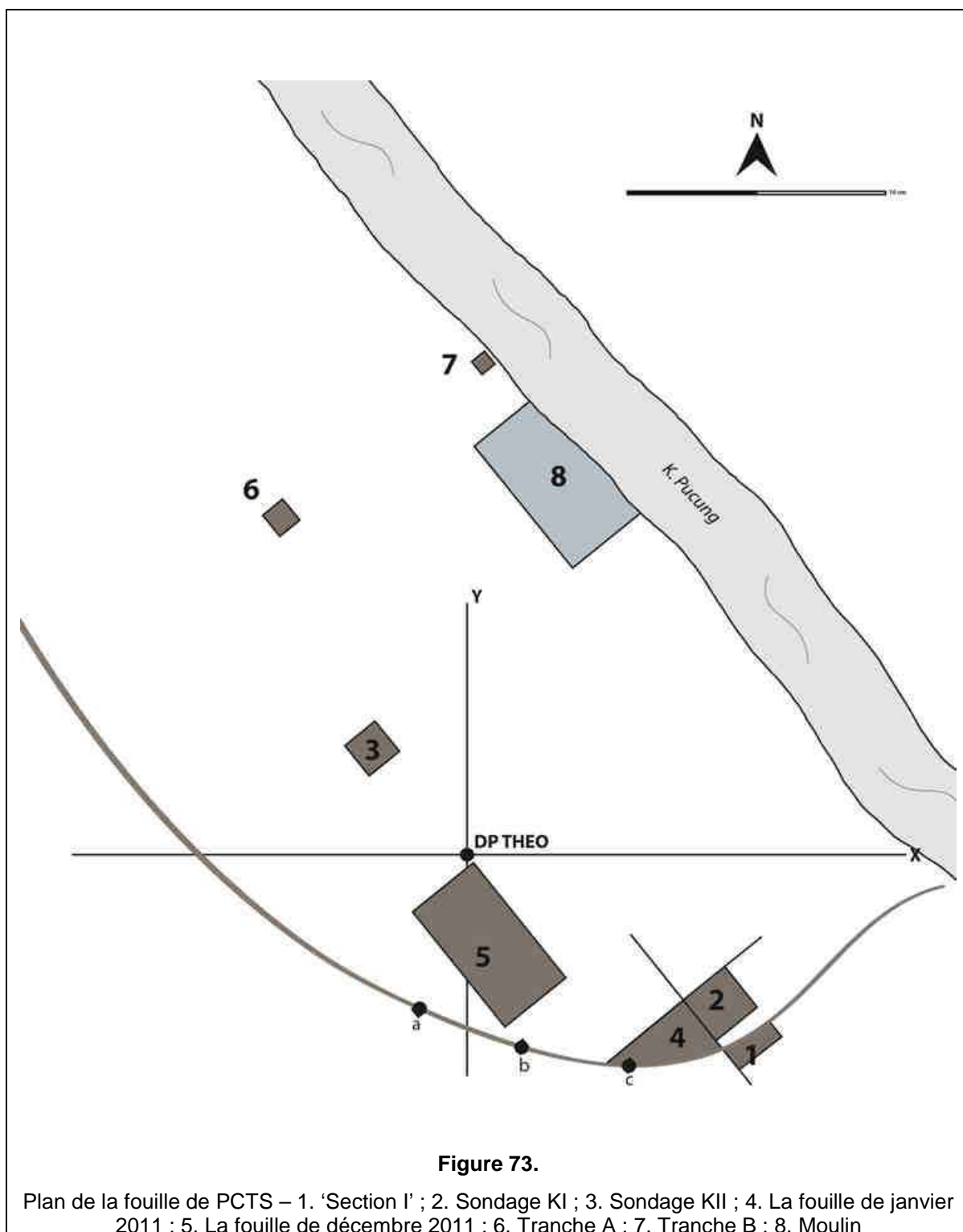




Figure 74.

Protection sur le berger de la rivière



Figure 75.

Protection sur les couches de la fouille

IV.3.2. La campagne de terrain 2009

La première campagne a été conduite vers la fin de l'année 2009 en deux étapes. A cette époque, seule la découverte fortuite de bolas et de fossiles était connue, et il était important d'expertiser la valeur stratigraphique du site.

IV.3.2.1. Stratigraphie

Une première coupe a été dégagée et relevée sur la petite falaise qui limite le terrain vers l'aval. Cette coupe (Figure 76) s'étend sur 3 m. d'épaisseur.

- Elle débute par les sables grossiers fossilifères, oxydés, comprenant de nombreux blocs de tuf.
- Ces sables sont recouverts par une série plus fine, assez meuble, à stratifications entrecroisées très marquées. Les petites lentilles de sable très grossier sont fréquentes. On remarque, au moins à deux reprises, des lits de blocs de tuf irréguliers et assez frais qui peuvent correspondre au dépôt, puis au remaniement presque immédiat de couches de cendres déposées par surcharge de la rivière juste après une éruption.
- La couche sableuse présente une granulométrie moyenne vers le sommet, avant de passer à des tufs argileux.

Durant le dégagement de la coupe, les fossiles sont apparus plutôt concentrés dans la partie basale, avec quelques découvertes jusqu'à mi-hauteur dans les petites lentilles les plus grossières.

19 échantillons ont été prélevés le long de cette coupe.

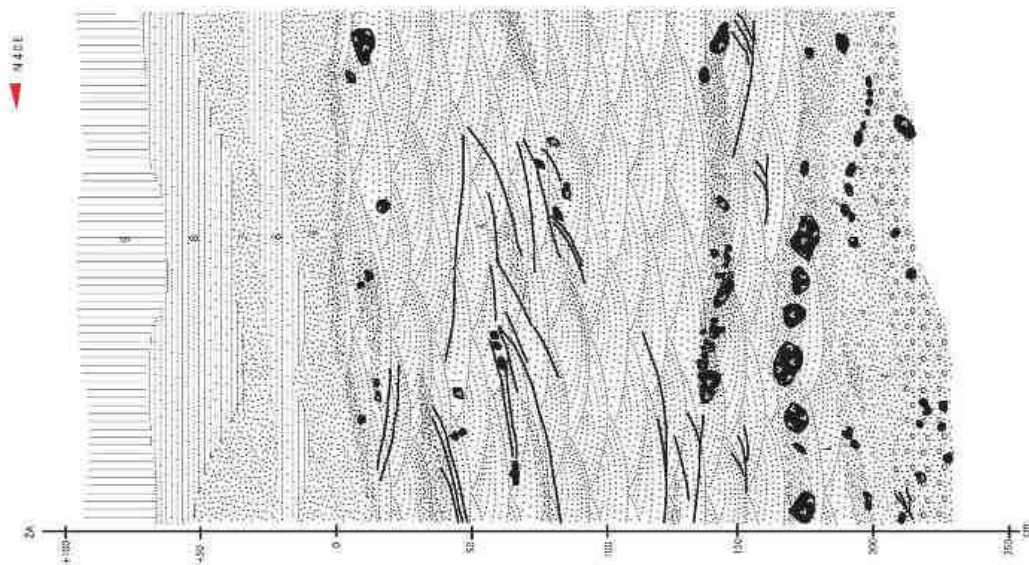


Figure 76.
La coupe de 'Section I' - A : sables grossiers, B : sables fins, C : sables

IV.3.2.2. Archéologie

La couche fossilifère étant localisée de façon verticale, les premiers sondages ont eu pour objectif d'en préciser l'extension et le cas échéant les variations latérales.

- **Le sondage K1**

a une largeur de 2 m, et s'étend jusqu'à la falaise aval ('section 1), interrompu par le ruisseau d'écoulement vers la rivière.

Il a livré plusieurs fossiles et deux bolas (Figure 77).

La coupe a été prolongée sur le côté NE en profondeur, ce qui permet d'intégrer à son dessin le sommet de la couche tufacée à la base des sables grossiers. L'accumulation combinée de restes fossiles et archéologiques ainsi que de blocs de tufs est illustrée sur la (Figure 78).

- **Le sondage K2**

Avait pour objectif de tester la continuité de la couche archéologique vers le nord-ouest. La dimension du sondage est de 1,5 m x 1,5 m. Les couches fossilifères apparaissent sous les sables remaniés où sont plantés les jeunes tecks, à une profondeur de l'ordre de 1,5 m. Leur épaisseur est inférieure à 1 m, avant d'atteindre la couche tufacée (Figure 79). Ce sondage a confirmé l'extension des niveaux fossilifères, en livrant notamment deux bolas et une dent humaine (Figure 80).



Figure 77.
Bola du sondage KI



Figure 78.

L'accumulation combinée de restes fossiles, archéologiques et de blocs de tufs

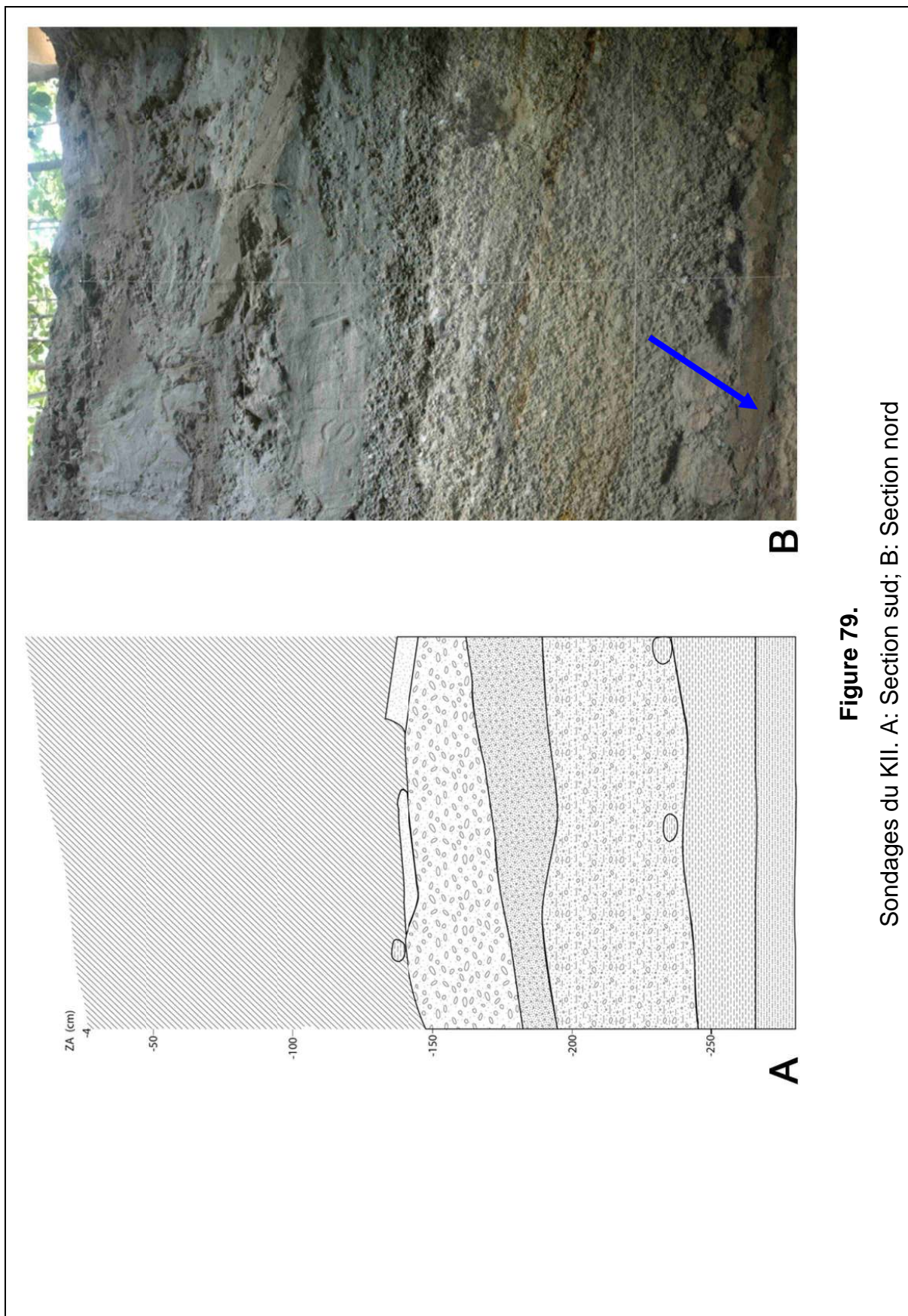


Figure 79.
Sondages du KII. A: Section sud; B: Section nord

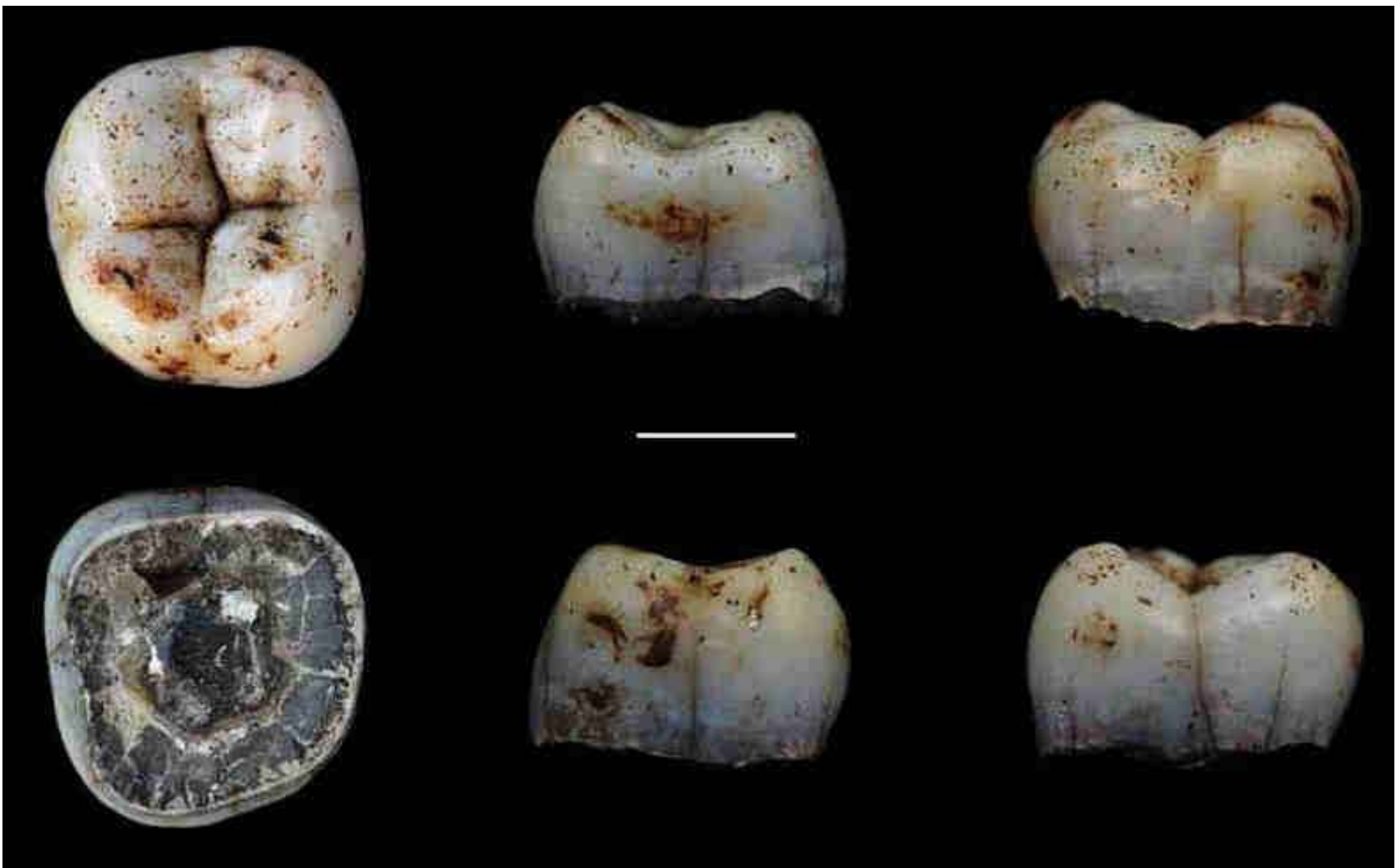


Figure 80.
Dents du sondage KII - M2 inférieur, gauche, permanente.
Vues occlusale, buccale, distale, linguale, mésiale (échelle = 2cm) (Zanolli, 2011).

IV.3.3. La campagne de terrain de janvier 2011

La campagne de terrain de janvier 2011 s'est concentrée dans la partie sud-ouest du site, afin de poursuivre le dégagement de couches érodées par les eaux de ruissellement. En effet, la surface d'érosion atteint ici les couches archéologiques.

La surface étudiée recouvre environ 12 m², et n'a pas pu être fouillée en totalité. Durant la saison des pluies de fin 2012, le ruissellement a dégagé le bas de la falaise et un crâne de bovidé (*Bubalus paleokarabau*) est apparu, il dû être dégagé en urgence (Figure 81).

Parmi les découvertes remarquables figure une micro-bola en quartzite (Figure 82).

La surface de la fouille est donc irrégulière (Figure 83), et deux coupes ont été relevées (Figures 84 et 85).

La plus proche du sondage KI montre bien les couches basales grossières qui surmontent les tufs.

La seconde illustre le passage, vers le haut, à des sables plus meubles qui s'éboulent très facilement lors de la saison des pluies. Ces couches meubles sont remarquables par la nature entrecroisée et peu consolidée des structures sédimentaires, qui évoquent dans leur morphologie un dépôt de nuées ardentes. (Figure 86).



Figure 81.

Crâne de bovidé (*Bubalus paleokerabau*) (©Semenanjung 2011)



Figure 82.

Micro-bola en quartzite (©Semenanjung 2011)

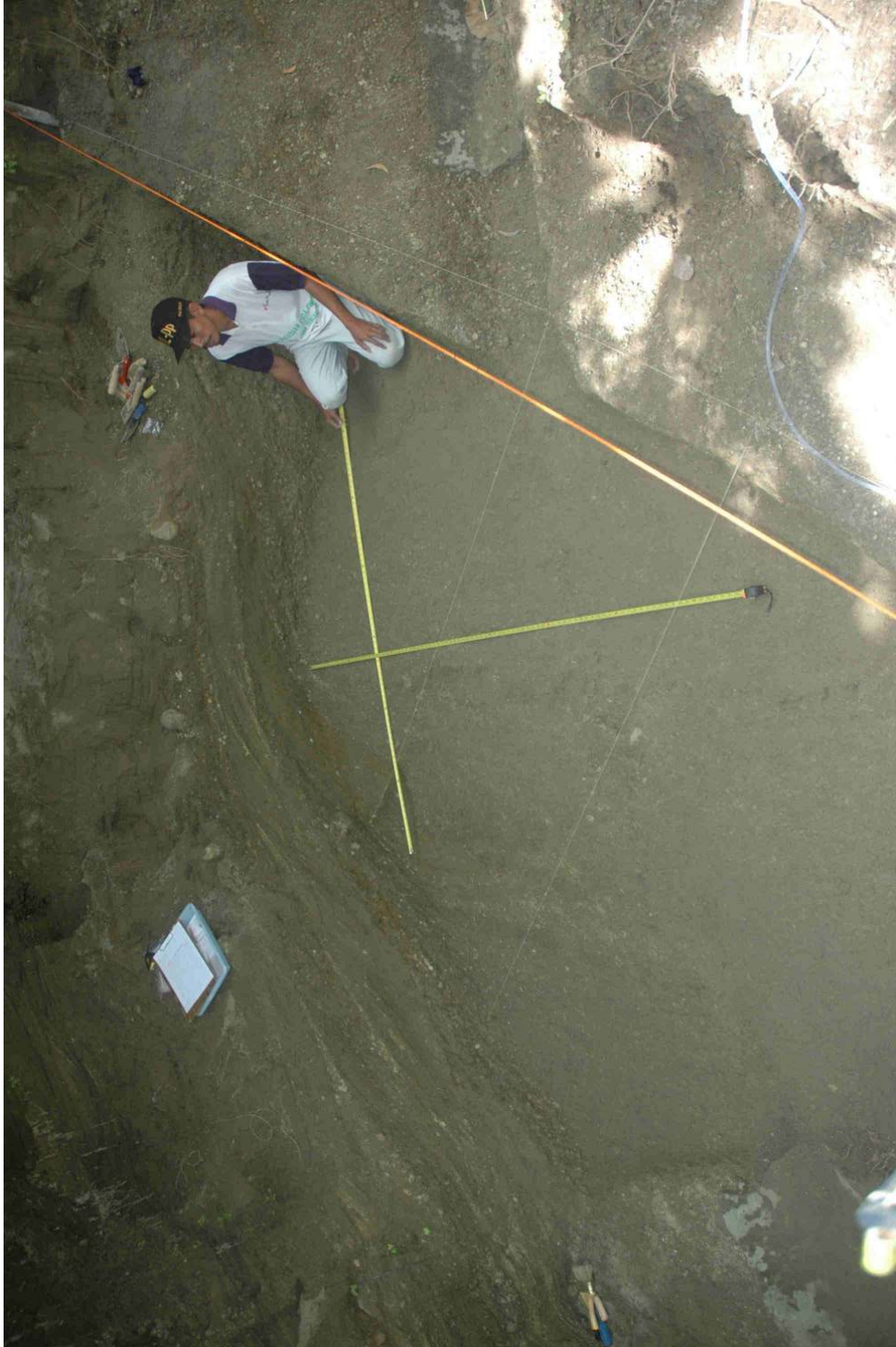
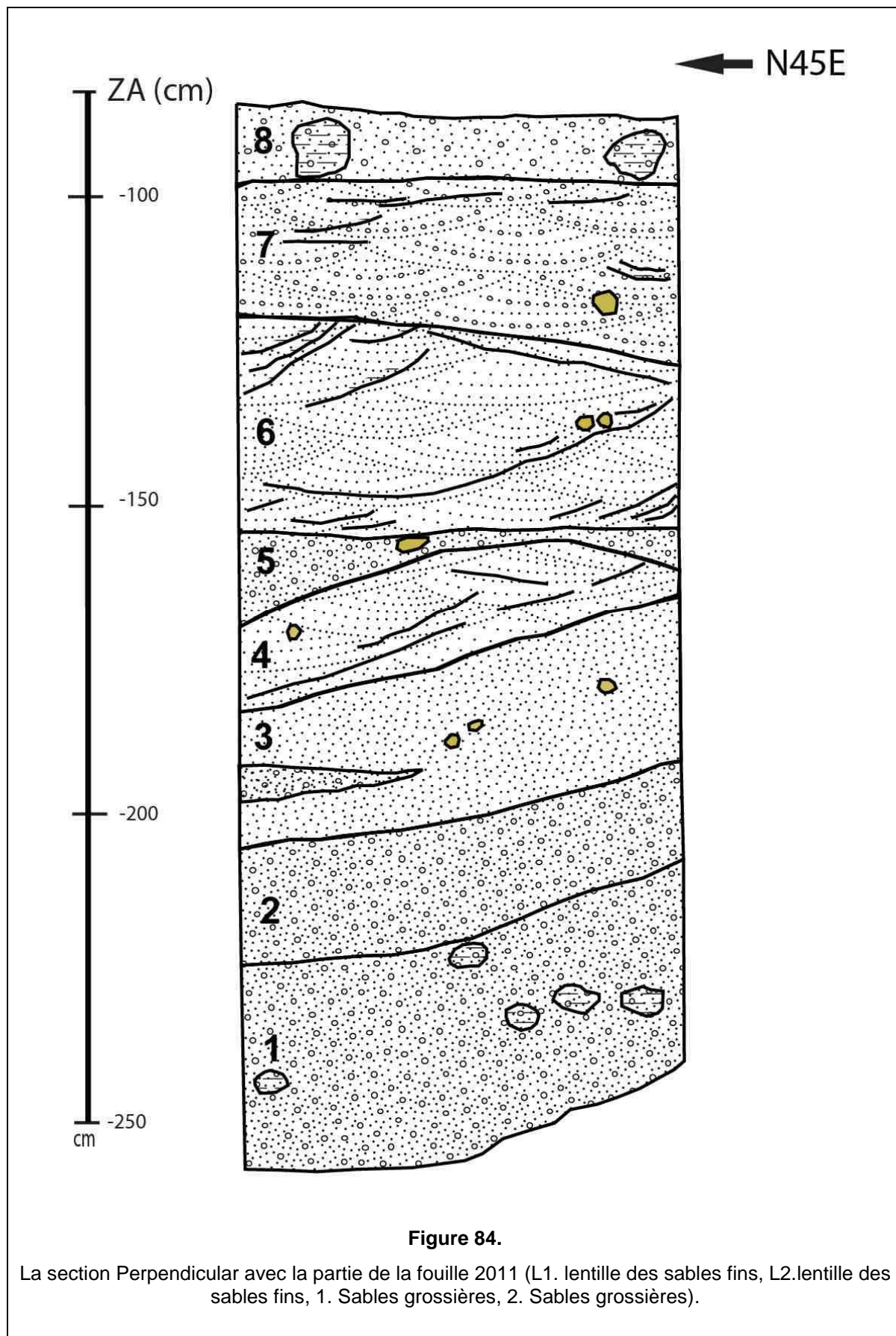


Figure 83.
Surface de sondage janvier 2011 (©Semenanjung 2011)



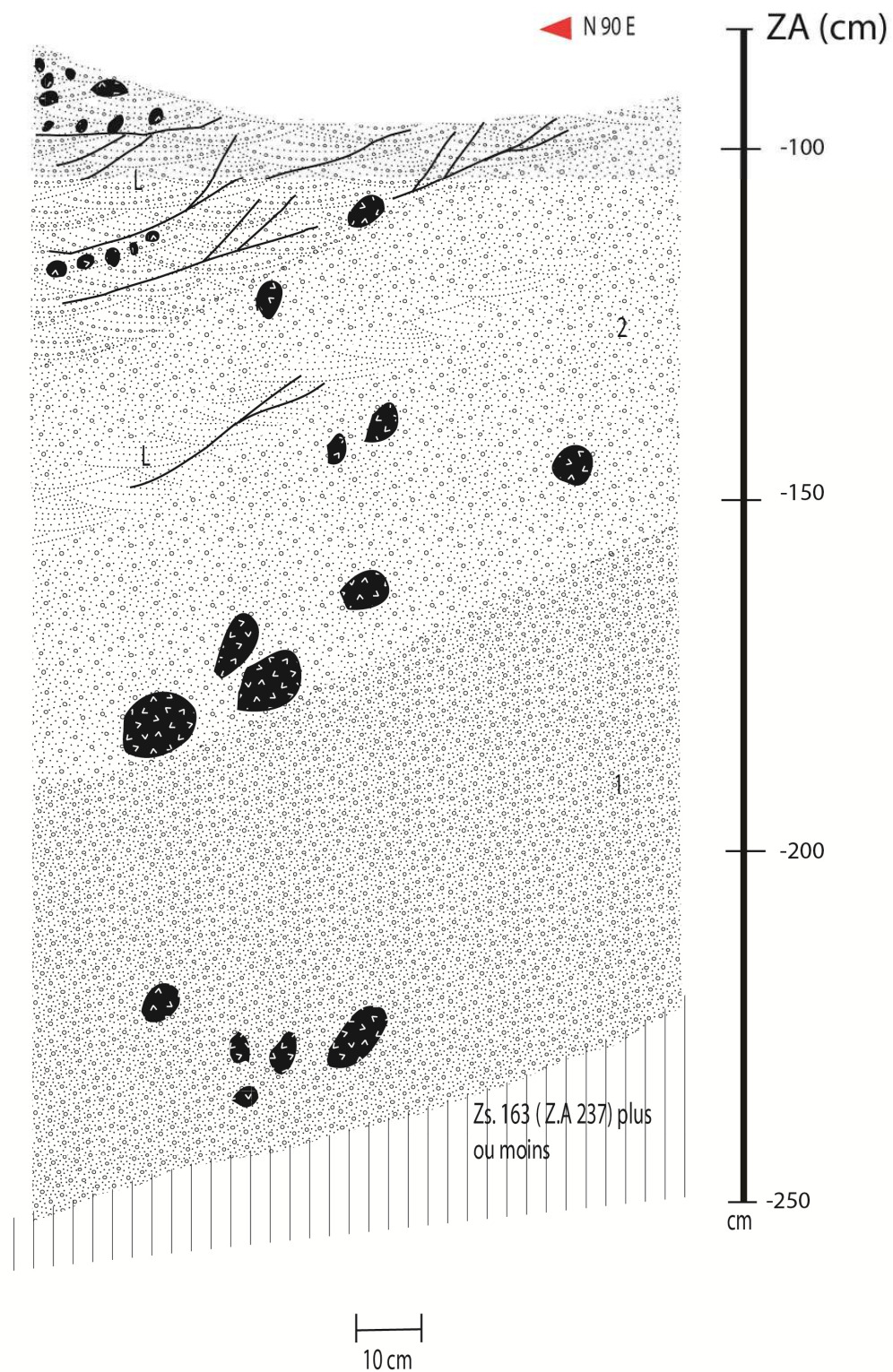


Figure 85.

Couche basales grossiers et tufs de la deuxième coupe du sondage de janvier 2011



Figure 86.
Structure entrecroisée au sein du sondage janvier 2011, dépôt nuées ardentes.

IV.3.4. La campagne de terrain de décembre 2011

IV.3.4.1. La fouille

La campagne de décembre 2011 et de début janvier 2012 a entrepris une fouille plus exhaustive, toujours parallèle au ruisseau d'écoulement des eaux de ruissellement, dans la partie sud-ouest du site.

Elle concerne une bande de 3m de large sur plus de 6 m de long. Parmi les découvertes importantes figurent une nouvelle dent humaine, une bola, trois éclats de Sangiran en calcédoine d'aspect assez frais. La faune est souvent fragmentaire, mais on note, comme dans le sondage KI et dans la fouille de janvier 2011, un certain nombre d'ossements très fragiles mais bien conservés. En l'occurrence, une longue côte (bovidé ou proboscidién) (Figure 87) et un humérus de bovidé entier ont pu être dégagés (Figure 88). Ces découvertes se retrouvent dans le même contexte d'accumulation de blocs et galets de tuf que dans les autres zones fouillées.

Les deux coupes latérales et la coupe frontale ont été relevées, bien que la fouille n'ait pas atteint la couche basale (Figure 89 et 90). La coupe sud-ouest montre une faible épaisseur sédimentaire due à l'érosion par ruissellement.

Les structures sédimentaires qui apparaissent sont souvent liées à des lentilles de sédiment grossier. Sur les coupes latérales, elles sont orientées comme le pendage structural, mais l'exagèrent considérablement : elles sont le reflet d'une pente de dépôt. Cette observation souligne encore une fois la difficulté de repérer le pendage structural réel dans les coupes observées.



Figure 87.

Longue côte d'une mammifère (bovidé ou proboscidien)



Figure 88.

Humerus du bovide

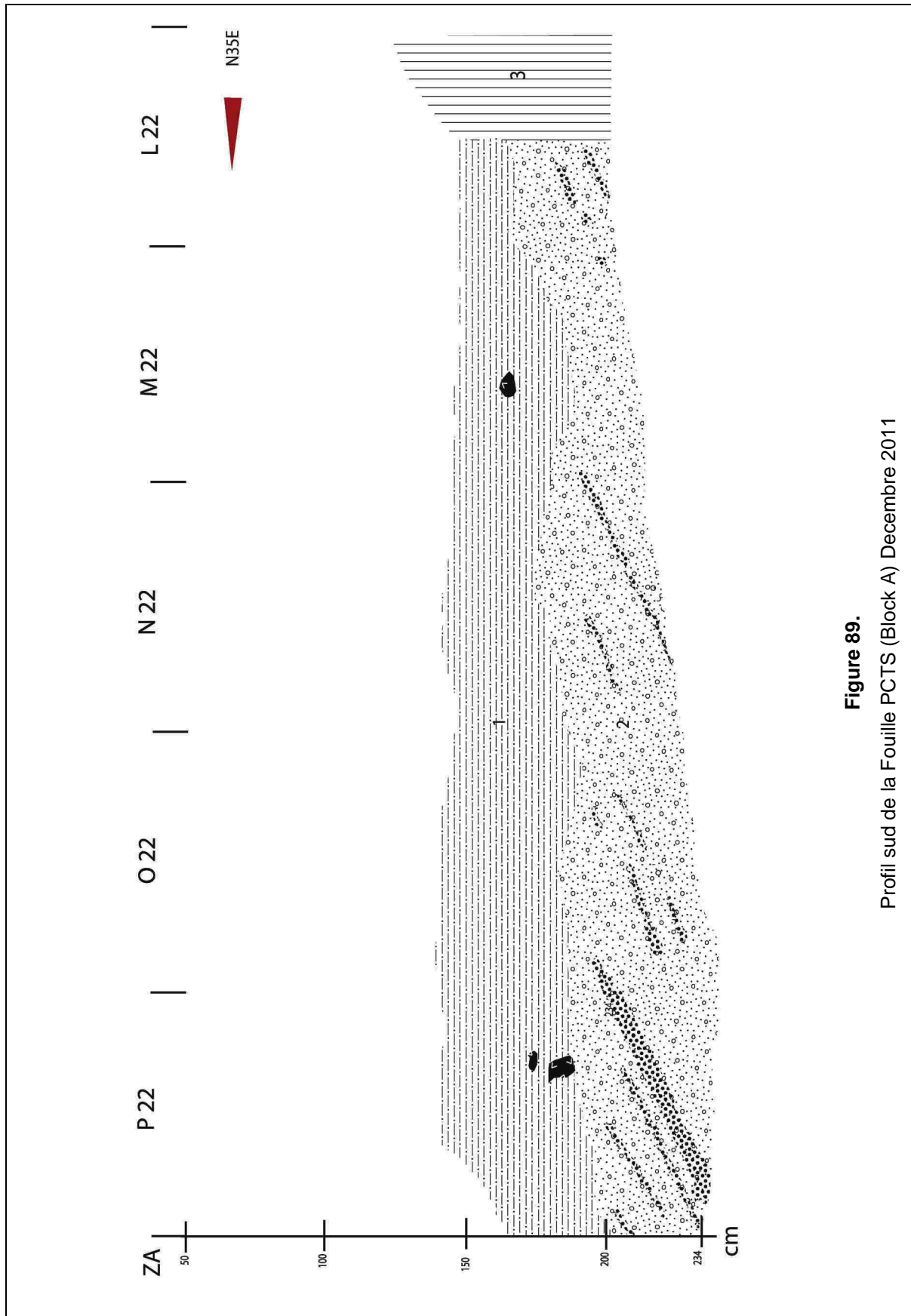


Figure 89.
Profil sud de la Fouille PCTS (Block A) Decembre 2011

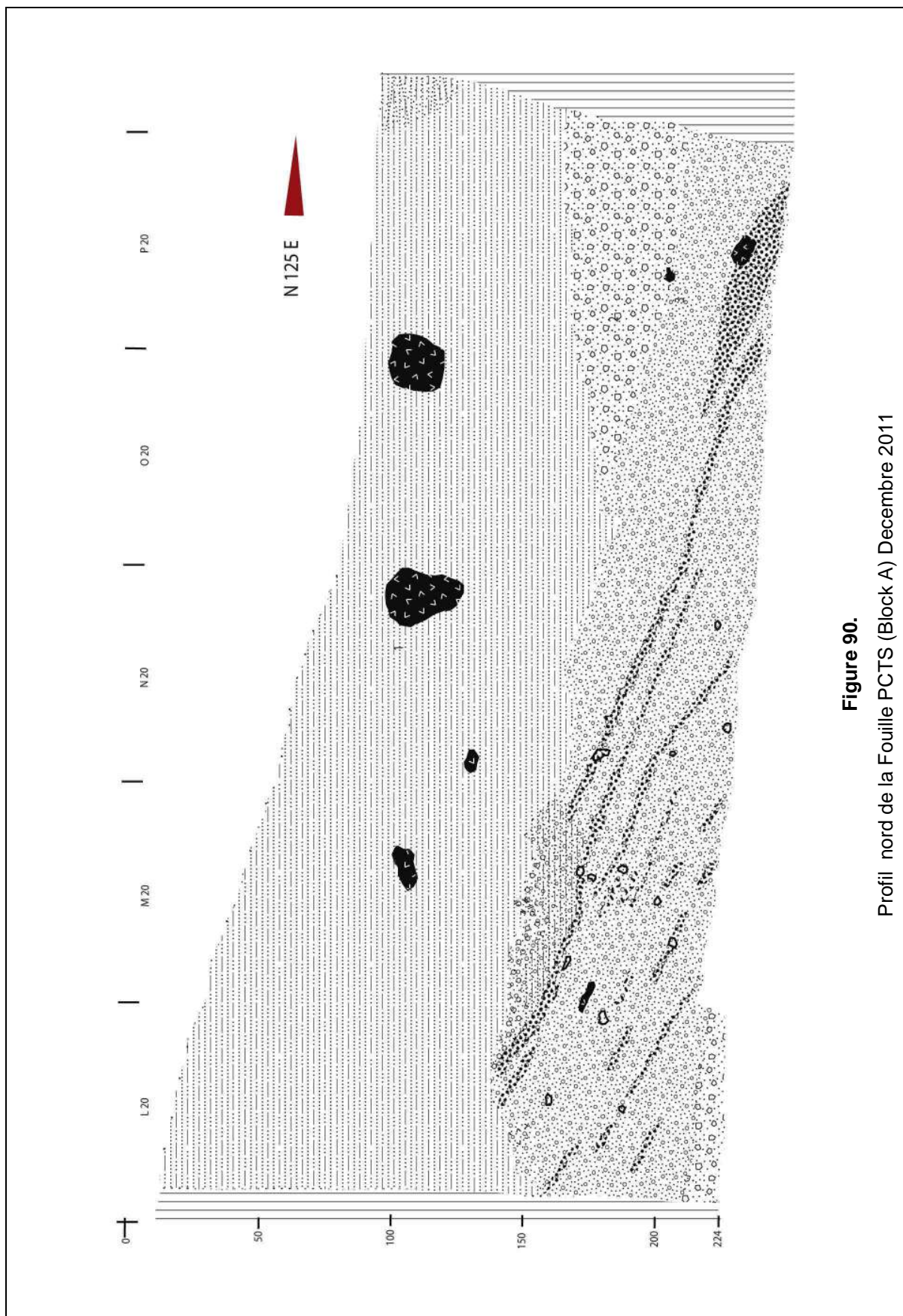


Figure 90.
Profil nord de la Fouille PCTS (Block A) Decembre 2011

IV.3.4.2. Tranchée d'observation stratigraphique

Cinq paliers de tranchée d'observation stratigraphique ont été creusés dans la partie nord-ouest du site, près de la limite du terrain. Ils recouvrent une épaisseur totale supérieure à 5,50 m., allant des tufs qui affleurent dans la rivière jusqu'aux sables et tufs qui affleurent sur la colline qui surmonte le site.

Cette coupe est potentiellement riche d'informations. Elle montre par exemple que les tufs argileux compactés qui forment la base sur laquelle se sont déposées les couches archéologiques ne sont pas homogènes. Ils se composent, au moins, de deux couches éruptives séparées par une phase d'érosion qui a formé une fine couche de sables grossiers.

Les couches qui correspondent au niveau archéologique affleurent légèrement plus haut que dans les zones fouillées, ce qui est cohérent avec la direction du pendage structural. Elles sont surmontées par des dépôts sableux à stratification entrecroisée caractéristique, qui paraissent identiques à ceux que nous venons de décrire en IV.3.3 (Figure 91).

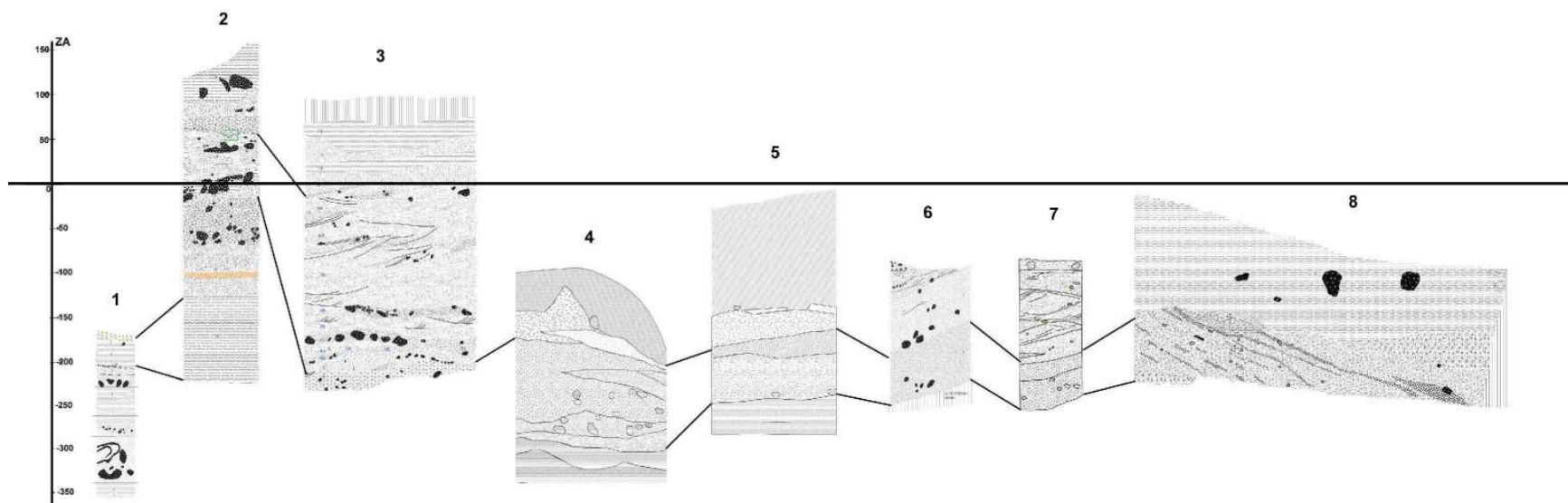


Figure 91.

Corrélation des coupes de la fouille PCTS – 1. Tranché B nord ; 2. Tranché B sud ; 3. Section KI ; 4. Le sondage KI ; 5. Le sondage KII ; 6. Coupe de janvier 2011 (A) ; 7. Coupe de janvier 2011 (B) ; 8. Coupe latéral de sondage décembre 2011.

IV.4. CARACTÈRES ARCHÉOLOGIQUES DU SITE PCTS

IV.4.1. Les répartitions en plan

Les répartitions en plan sont représentées sur les Figures, qui s'adressent respectivement aux sondages KI (Figure 92) et KII (Figure 93), à la fouille de janvier 2011 (Figure 94) et à celle de décembre 2011 (Figure 95).

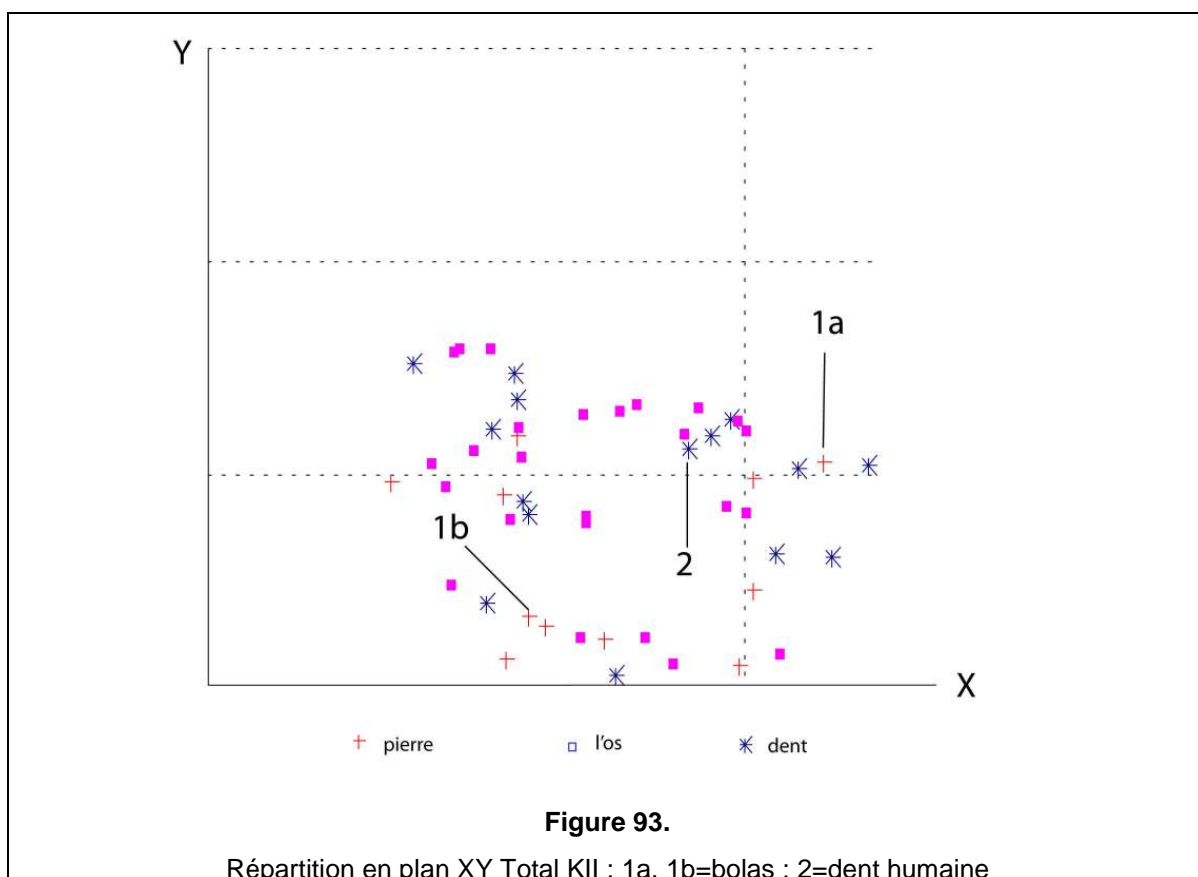
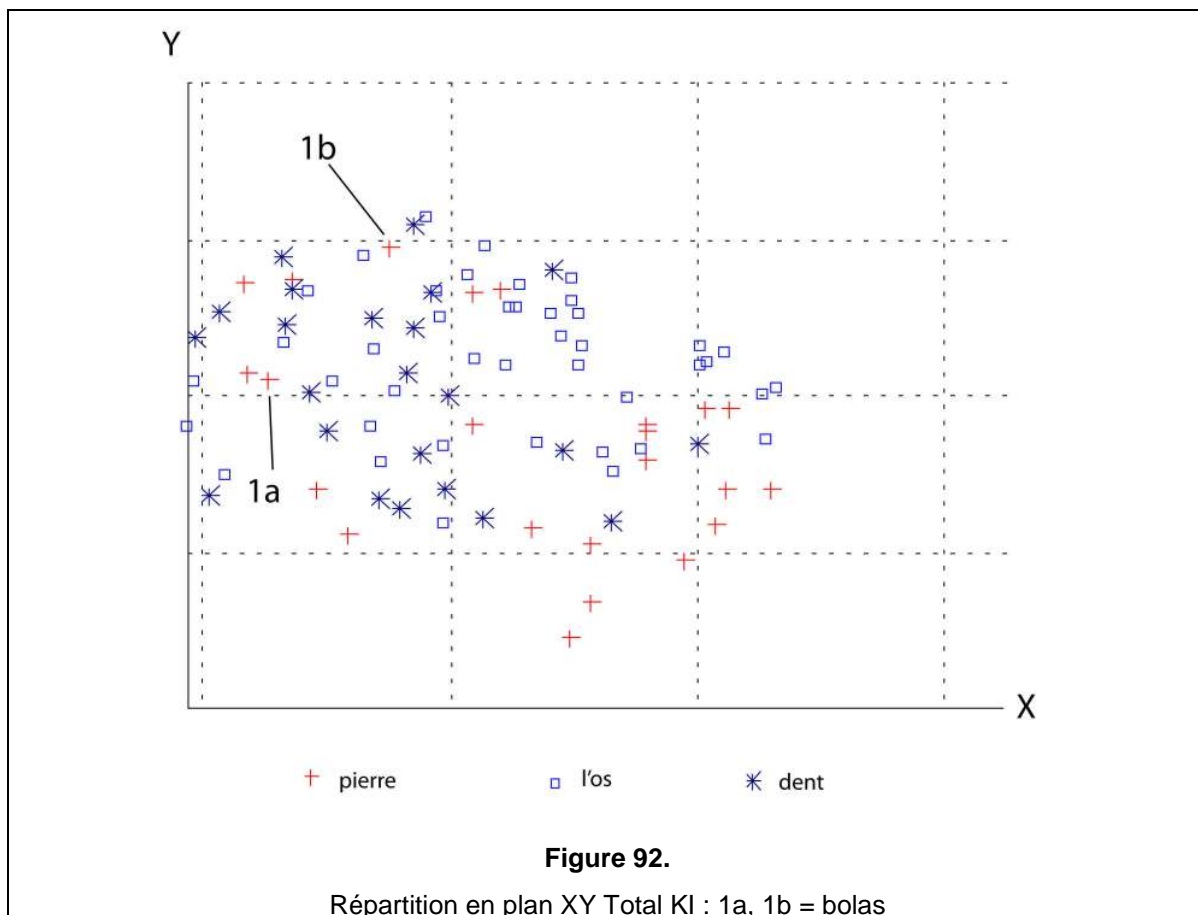
Il faut noter que seule la dernière fouille distingue les 'pierres' des blocs de tuf, lesquels étaient groupés dans une catégorie unique lors des deux premières campagnes.

Dans la catégorie 'pierres', individualisées ou non des blocs de tuf, figurent les éléments d'une taille supérieure à 5 cm ou les pierres remarquables tels que les petits galets de quartz ou de calcédoine.

Les répartitions présentées sont globales, c'est-à-dire qu'elles ne distinguent pas les différentes lentilles de concentration lorsque ces dernières existent.

Nous ne relevons pas de différence particulière entre les catégories d'éléments figurés (outre les pierres et blocs de tuf, les dents, ossements et artefacts), l'ensemble apparaissant homogène.

Cependant, dans le sondage KI (2009), il semble que les fossiles aient été limités dans leur distribution spatiale par un arc de blocs de tuf (Figures 96).



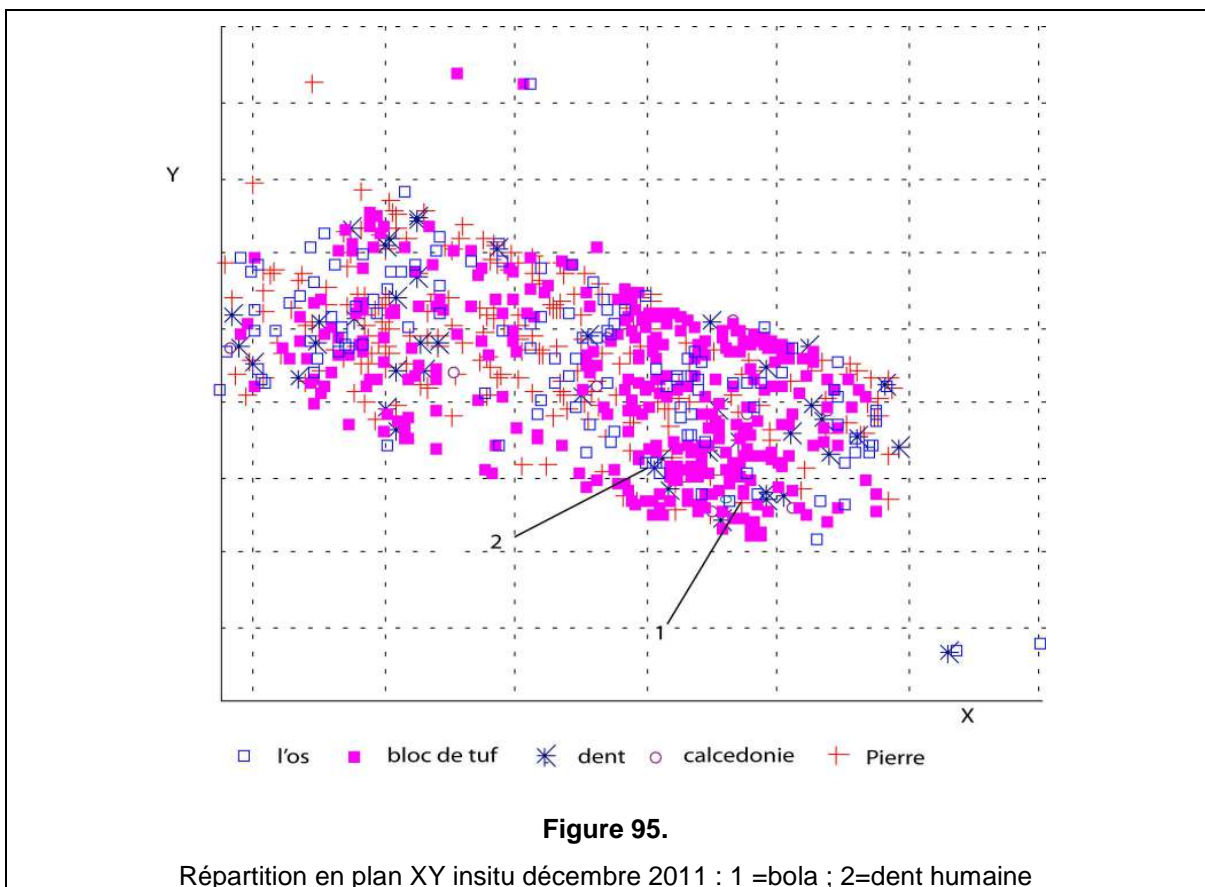
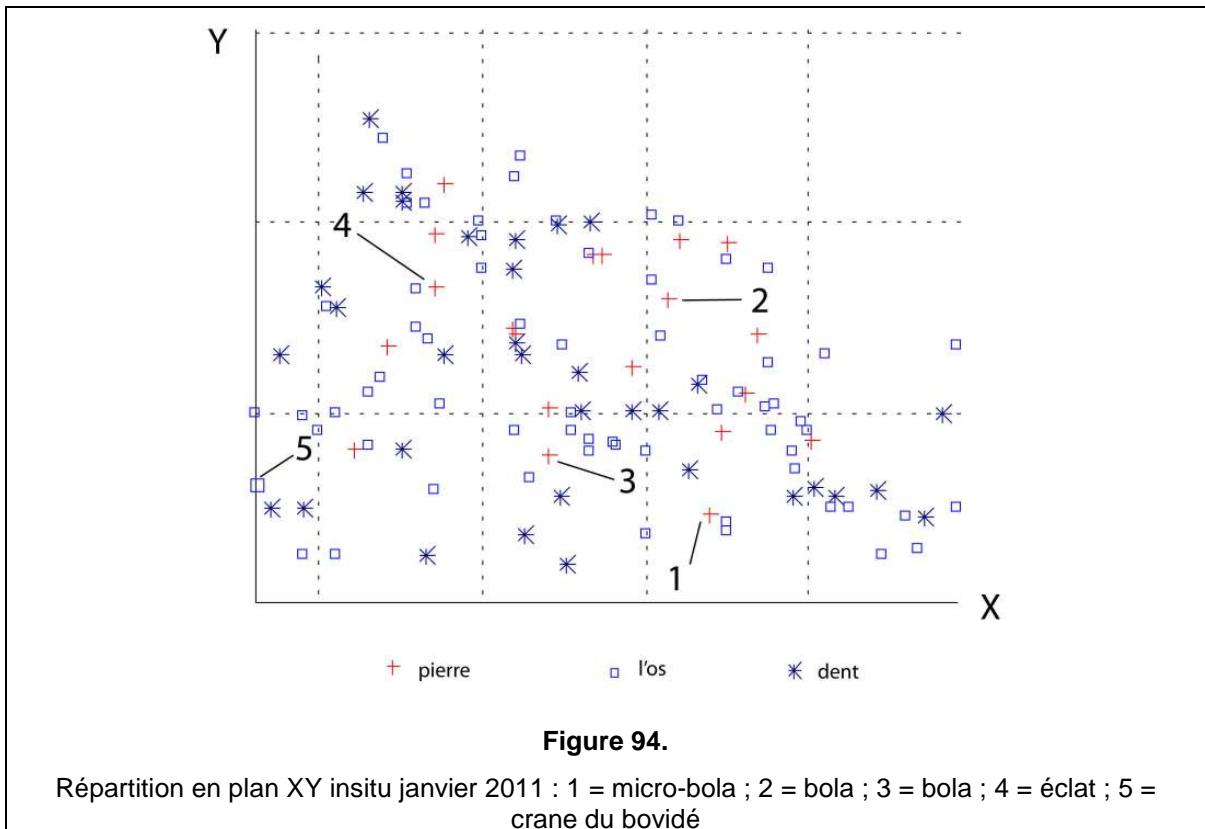




Figure 96.
Concentration des blocs de tuf du sondage K1 (en blanc, un fossile recouvert d'acétate de cellulose)

IV.4.2. les concentrations verticales

IV.4.2.1. Le sondage KI

Les répartitions verticales sont homogènes, toutes catégories confondues. Elles sont particulièrement contrastées entre :

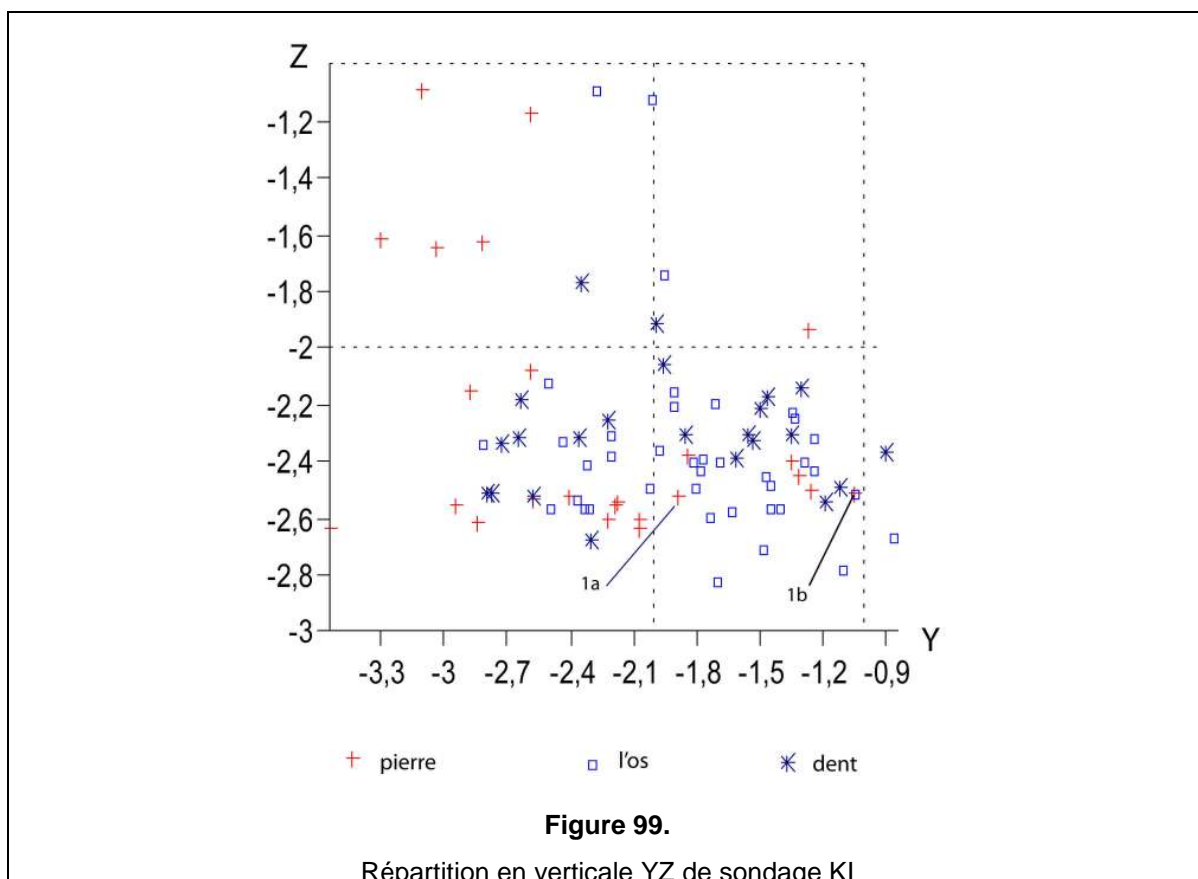
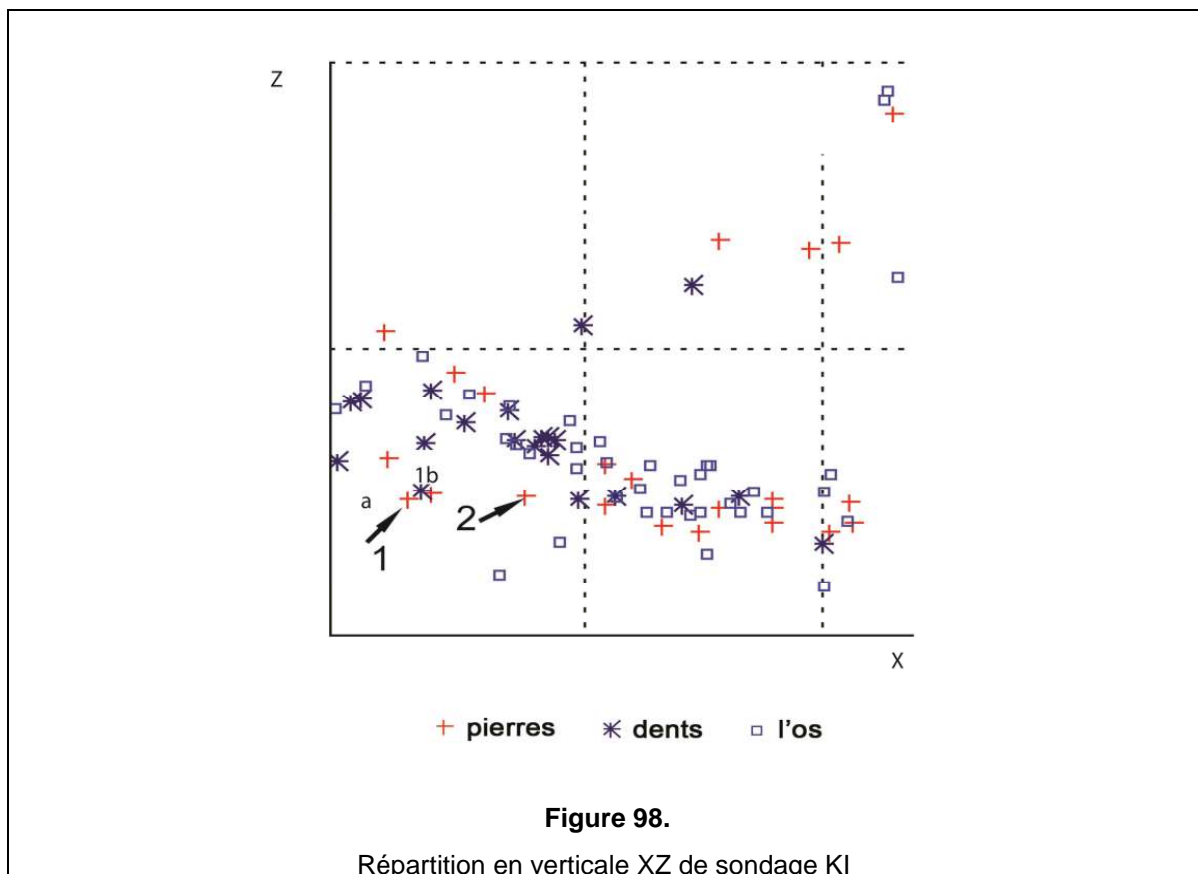
- Le profil XZ, orienté (à 5° près, la direction de la fouille étant N 130 E) de façon très proche de la direction structurale de la zone de Pucung (voir Chapitre III). Ce profil montre un pendage très fort des concentrations (Figure 97) beaucoup plus fort que le pendage structural, qui peut être attribué à la morphologie des structures sédimentaires (Figure 98).

Cette constatation rejoint celle faite lors de l'observation des coupes stratigraphiques, et est cohérente avec la remarque faite à propos de la répartition en plan (arc de cercle de pierres retenant les fossiles en bas de pente).

- Le profil YZ, quasiment perpendiculaire aux pendages structural et sédimentaire, fournit une répartition horizontale des découvertes, avec une concentration plus importante vers la base de la zone fouillée (Figure 99).

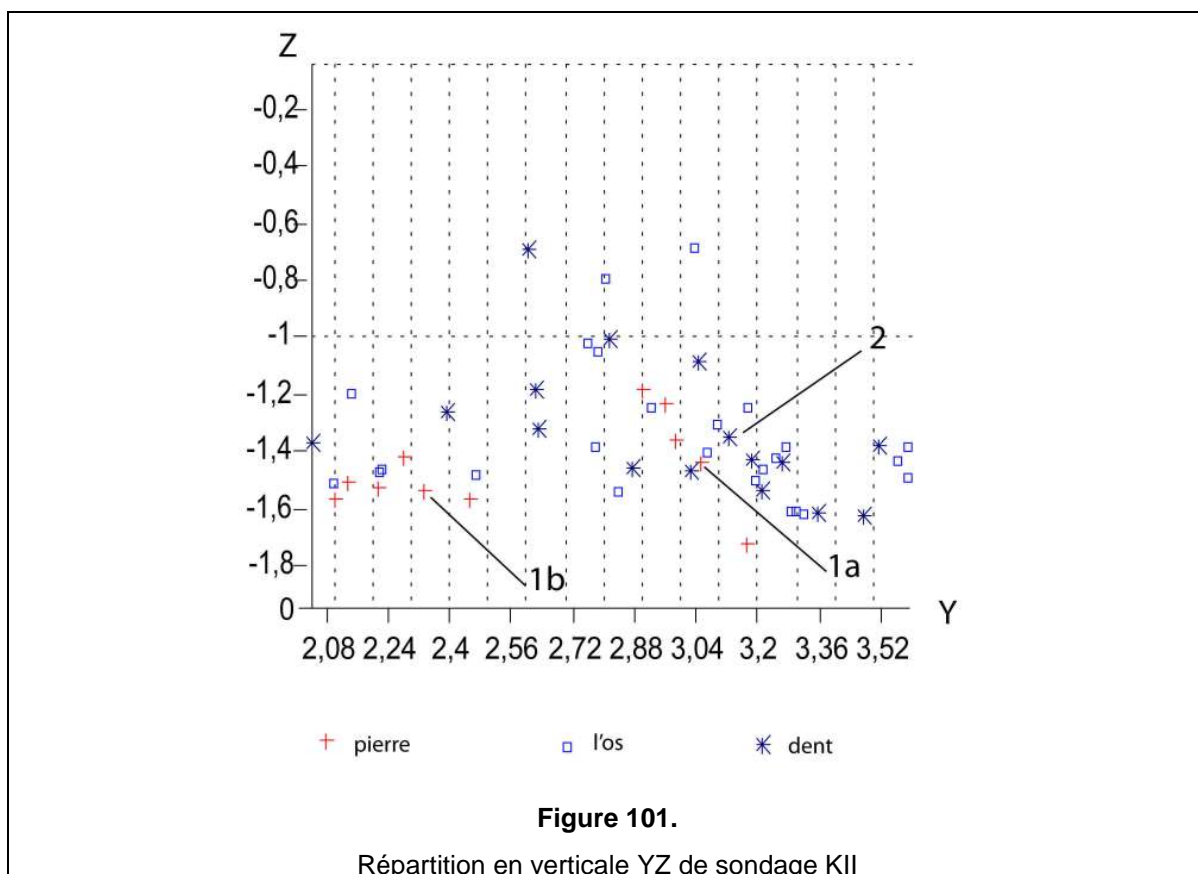
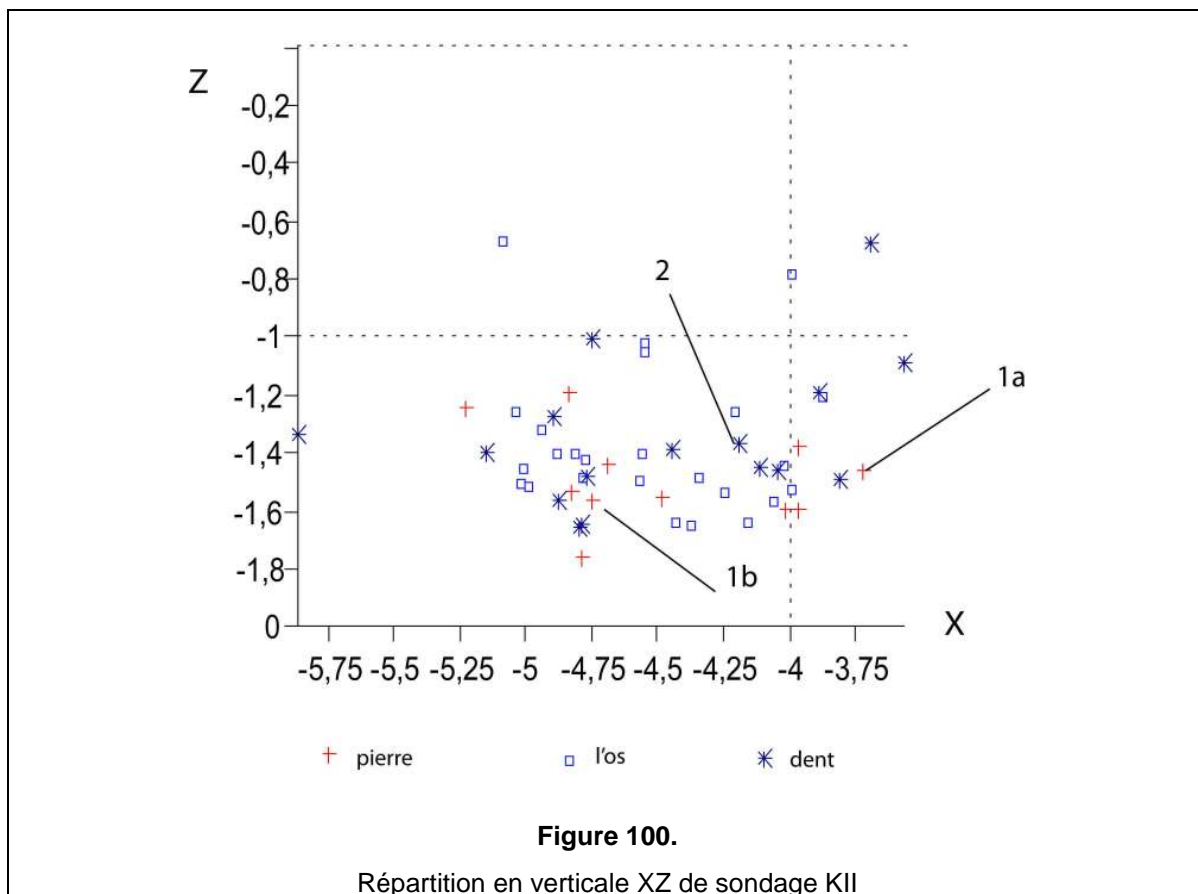


Figure 97.
Profile du pendage KI



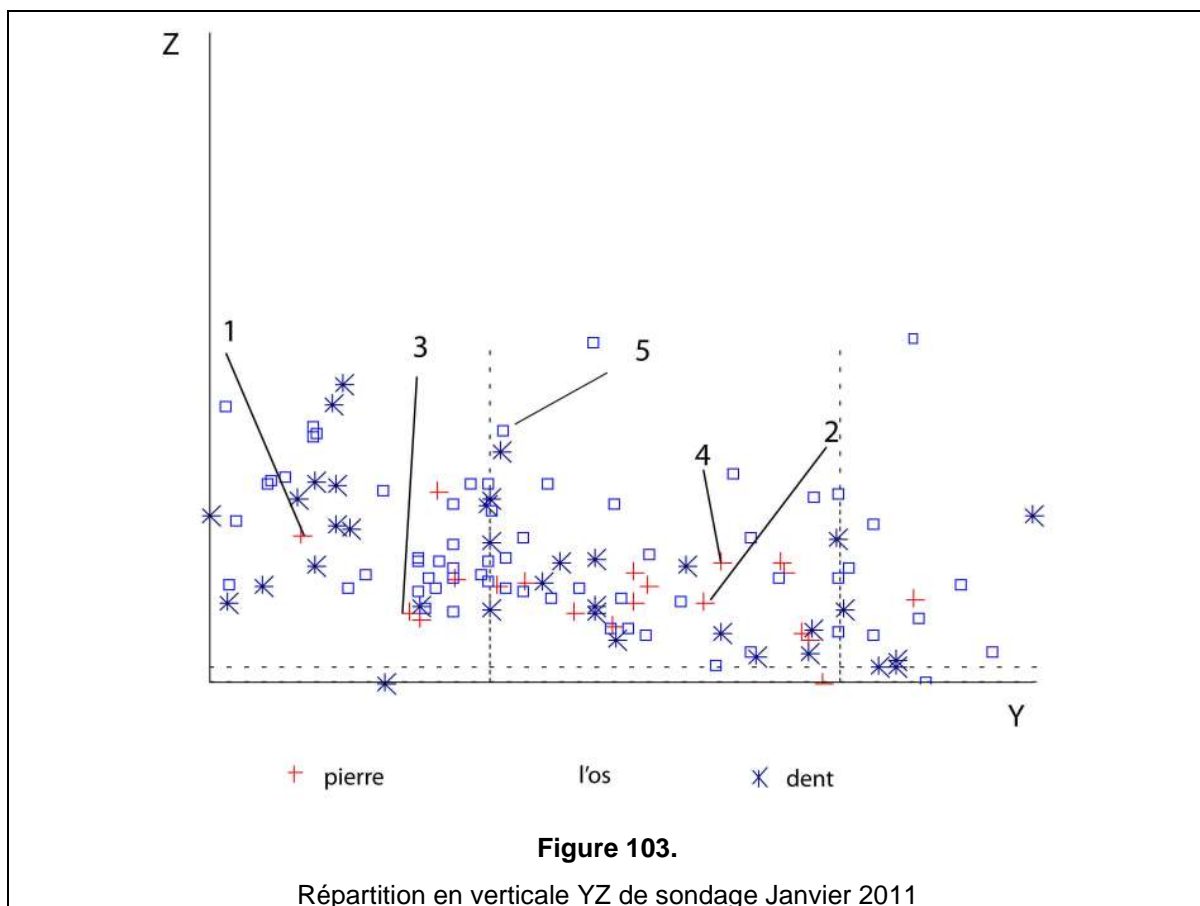
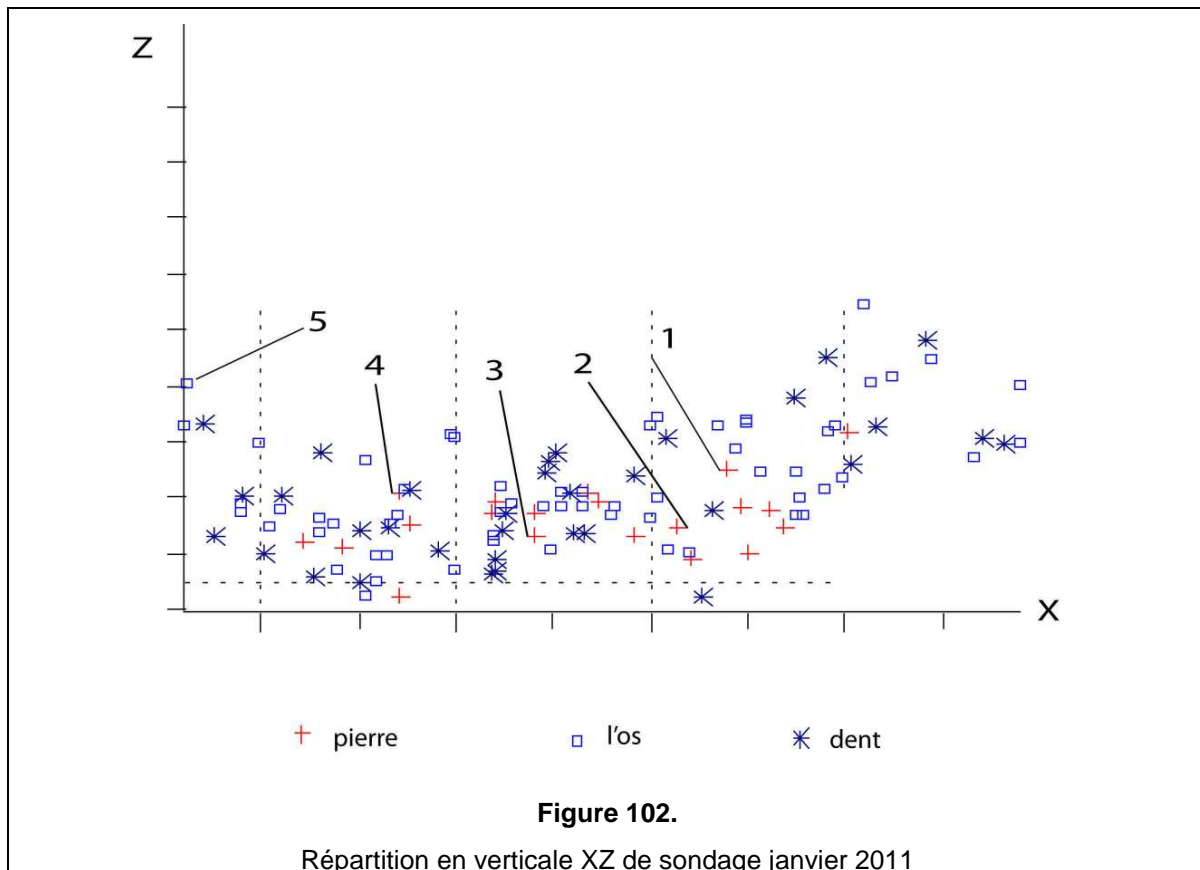
IV.4.2.2. Le sondage KII

Les répartitions verticales en XZ et en YZ ne présentent plus de pendage. Nous en déduisons que le sondage se situe en amont des structures sédimentaires pentues que nous avons remarquées dans le sondage KI (Figure 100 et Figure 101).



IV.4.2.3. La zone fouillée en janvier 2011

- Le profil XZ fait apparaître une répartition plus ou moins horizontale vers le centre du terrain, et un chenal vers l'extrémité SE. (Figure 102)
- Le profil YZ fait quant à lui apparaître un pendage des structures sédimentaires vers le sud-ouest. (Figure 103).



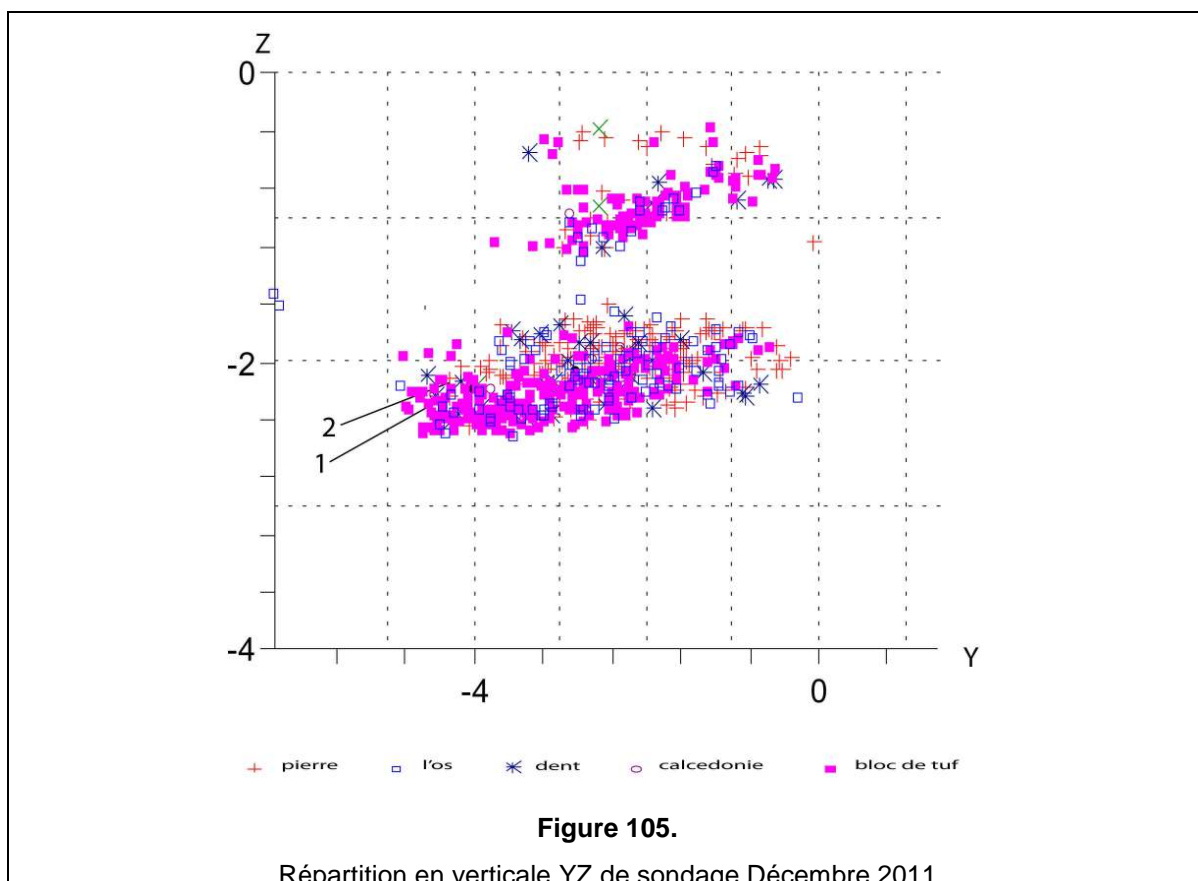
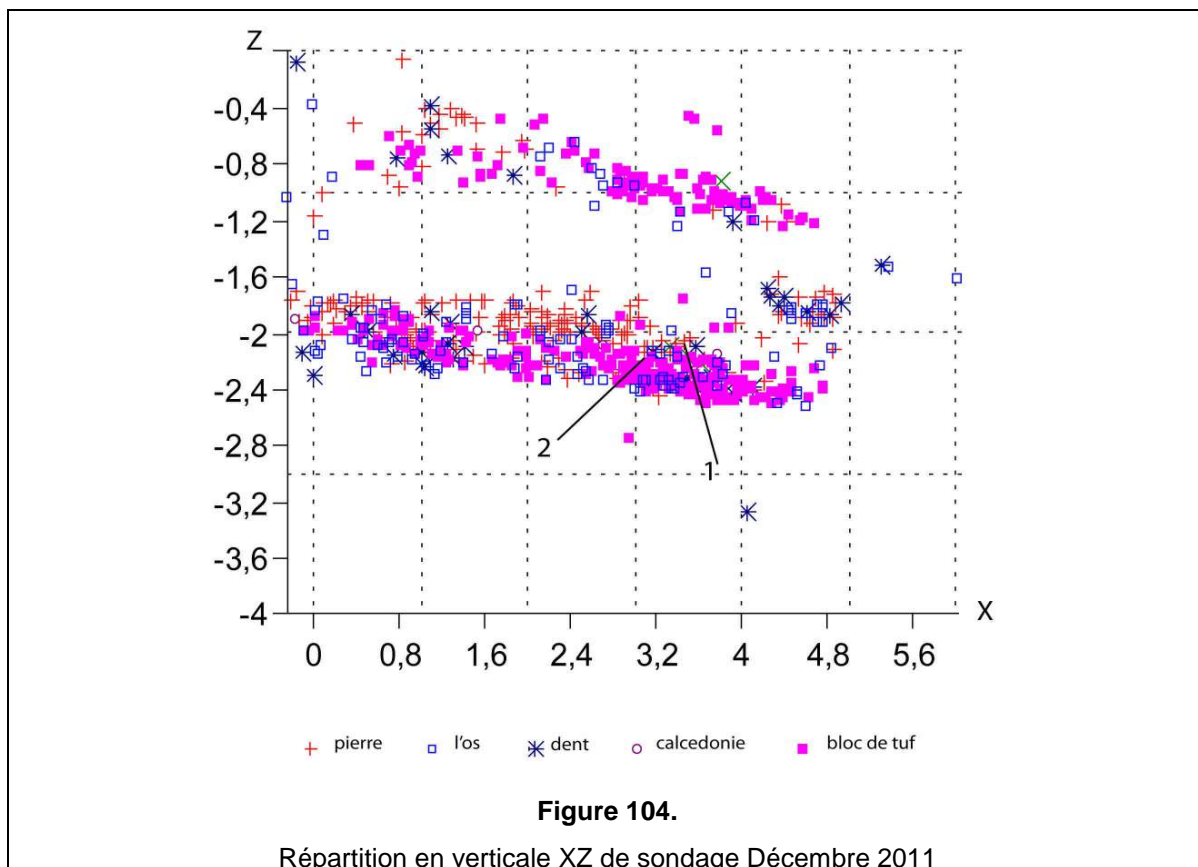
IV.4.2.4. La zone fouillée en décembre 2011

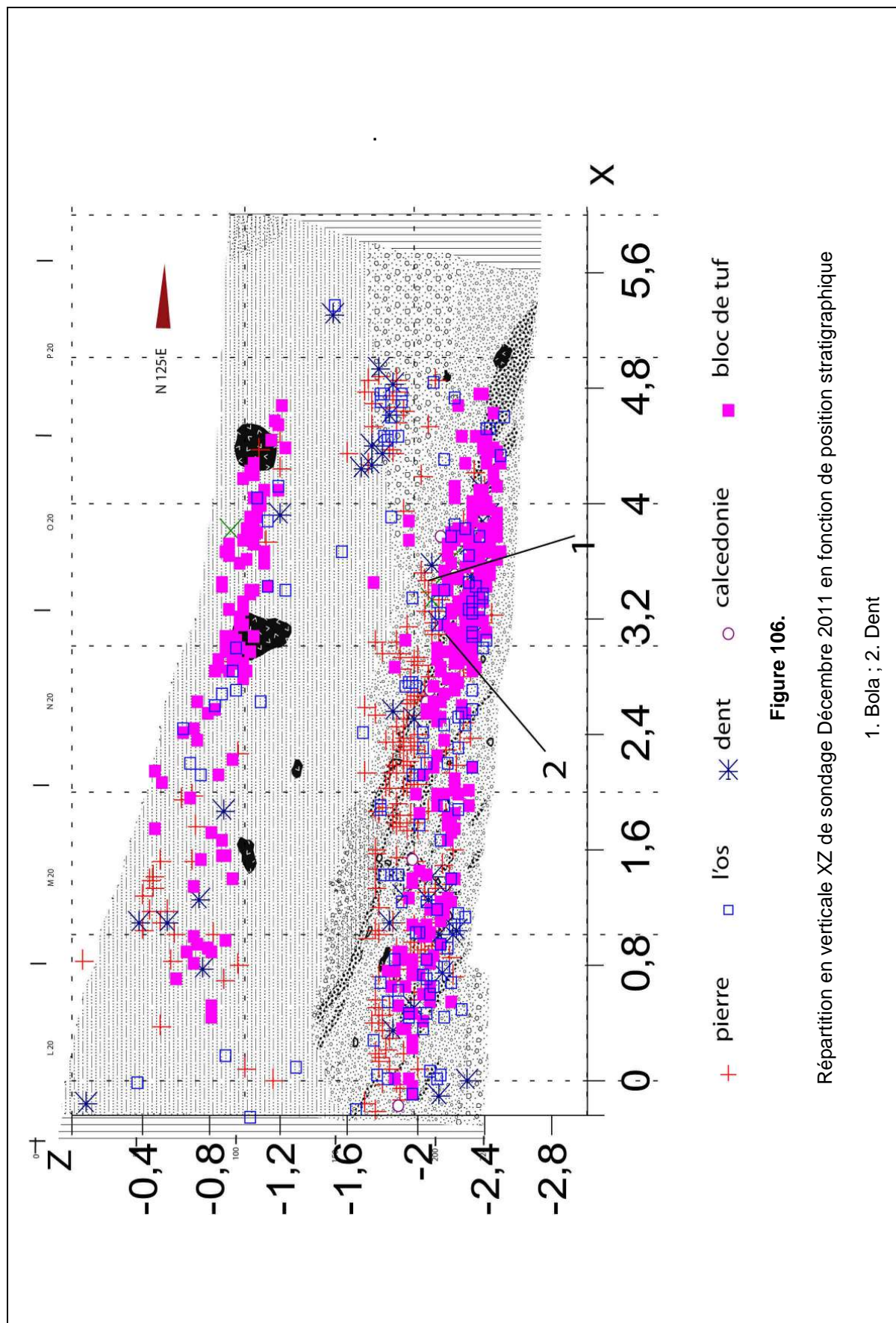
Les distributions verticales font ici apparaître :

- La présence apparente de deux horizons fossilifères. Cependant, l'horizon supérieur fait intervenir des niveaux remaniés lors de la plantation des tecks. Nous ne prendrons en compte que l'horizon inférieur sur cette distribution (Figure 104 et Figure 105)
- Nous observons un double pendage apparent des structures sédimentaires :
 - Le premier est analogue à celui du sondage KI, et exagère le pendage structural (quoique moins prononcé que dans le cas du sondage KI) (Figure 106).
 - Le second indique une pente des structures sédimentaires dans la direction perpendiculaire.

Ceci montre que la pente de ces structures était orientée vers le sud.

L'ensemble de ces premières observations donne un aperçu de la structure tridimensionnelle des horizons fossilifères du site PCTS. Il laisse espérer, après les futures campagnes de fouilles, une reconstitution détaillée de la structure des horizons sableux qui recouvrent le tuf de base.





IV.4.3. Restes fauniques et restes humains

IV.4.3.1. Nombre et concentration des fossiles

Les restes fauniques recensés durant les campagnes de fouilles représentent près de 400 fossiles, en ne comptant que les pièces repérées dans l'espace. Les dents isolées constituent environ 30% de ce corpus.

Ce chiffre peut paraître faible en regard d'une fouille paléontologique classique. Il est cependant élevé par comparaison aux quelques récoltes effectuées jusqu'à ce jour en stratigraphie dans le dôme de Sangiran. Par ailleurs, il faut considérer le fait que les horizons fossilifères ne constituent qu'une tranche stratigraphique d'épaisseur très limitée sur le site.

Nous pouvons donc conclure que la concentration en fossiles des sédiments du site PCTS est élevée.

IV.4.3.2. Détermination

Les déterminations paléontologiques ont été réalisées par Anne-Marie Moigne sur la base des premières découvertes réalisées dans les sondages KI et KII.

La liste faunique (environ 15 taxons) comprend les éléments mentionnés dans le tableau Figure 107. Elle n'inclut aucun carnivore à ce stade des recherches, mais inclut par contre le crocodile, dont la présence est liée au milieu de dépôts des couches de Kabuh à Pucung. De même, les pièces les plus spectaculaires (par exemple crâne et humérus de bovidé) n'avaient pas encore été découvertes au moment de la première étude.

Il est important de noter que la collection comprend une extrémité distale de tibia de suidé adulte, dont la taille est très réduite, et qui constitue probablement une espèce nouvelle. (Figure 108).

Taxon	K1	K2
<i>Stegodon trigonocephalus</i>	1	
PROBOSCIDEA	1	2
<i>Bos javanicus</i>	5	
<i>Duboisia santeng</i>	2	1
BOVIDAE	13	10
<i>Axis lydekkeri</i>	4	2
<i>Cervus hippelaphus</i>	1	
CERVIDAE	10	12
<i>Hexaprotodon sivalensis</i>	1	
<i>Sus brachygnathus</i>	1	
SUIDAE	1	
ARTIODACTYLA	24	22
Petit Herbivore	17	4
Grand Herbivore	8	7
CROCODYLUS		1
EMYS		3
Total	89	64

Figure 107.

Liste faunique du site PCTS (collection 2009) (par A.-M. Moigne)



Figure 108.

Fragment tibia *Sus n.sp.* (A.-M. Moigne)

V.4.3.3. Taphonomie

Les fossiles d'animaux adultes sont les plus abondants, et si certaines parties anatomiques semblent mieux représentées (membres postérieurs des bovidés et cervidés, dents de cervidés), aucune connexion anatomique n'a été mise en évidence dans la partie de collection étudiée (Figure 109).

La moitié des esquilles environ montrent la trace d'un transport par la rivière, et la plupart des fossiles, fortement minéralisés, présentent des traces d'oxydation (manganèse et fer).

Dans la collection réunie sur les deux premiers sondages, aucune trace de découpe n'a pu être clairement mise en évidence. Cependant les cassures longitudinales ou spirales sur ossements frais sont nombreuses, particulièrement pour les os de bovidés et de cervidés.

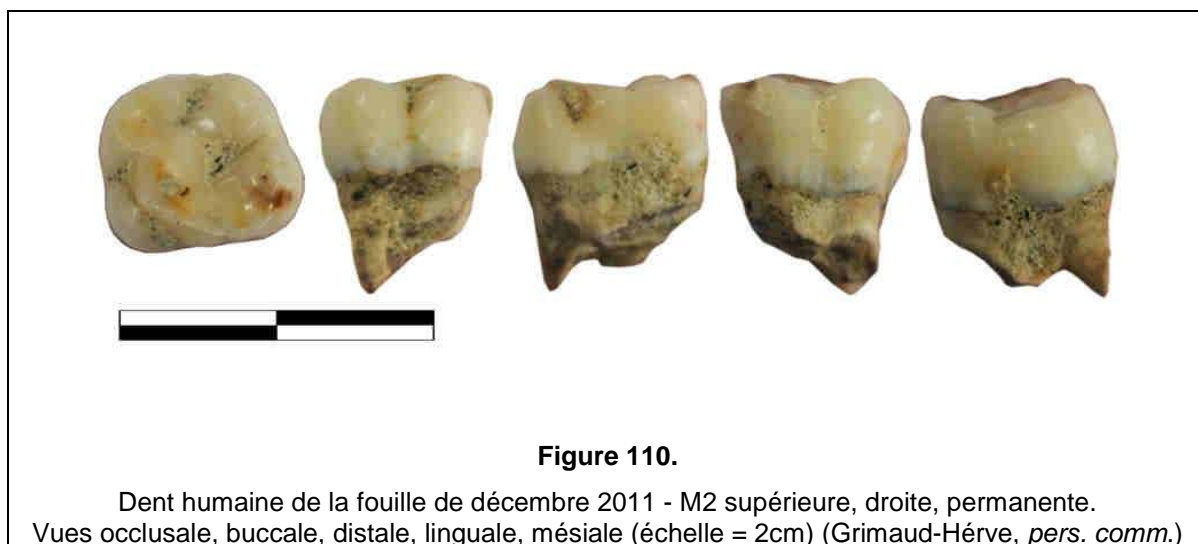
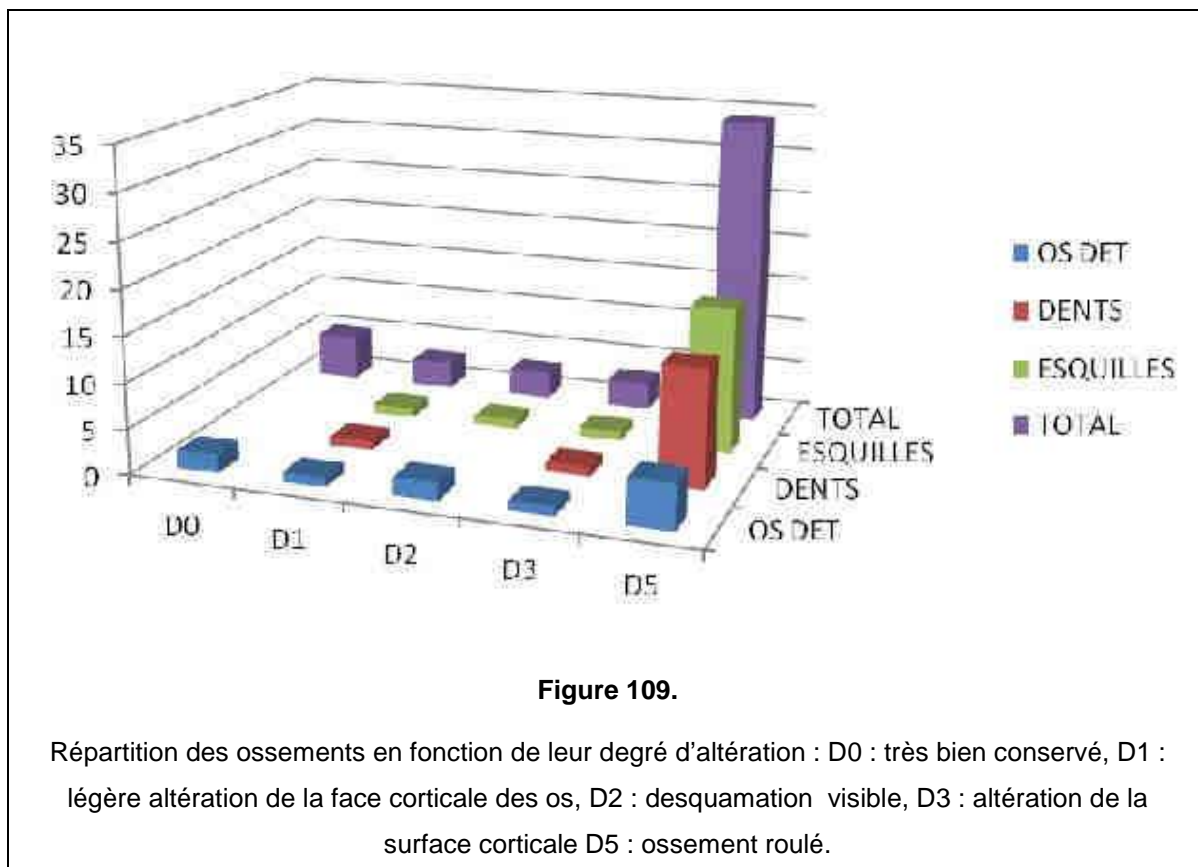
IV.4.3.4. Les fossiles humains

Deux dents humaines ont été découvertes (1) dans le sondage KII (voir Figure 80) et (2) dans la partie sud-ouest de la fouille de décembre 2011 (Figure 110).

(1) Une M2 inférieure gauche dont seule la couronne est conservée (Abimanyu I)

(2) Une M2 supérieure droite dont une partie de la racine est conservée (Abimanyu II)

Ces deux fossiles présentent un excellent état de conservation. Ils complètent le registre fossile découvert à ce jour dans la zone de Dayu – Pucung.



IV.4.4. Les artefacts

IV.4.4.1. Les bolas en surface

Les artefacts sont relativement rares dans les zones fouillées, comparés à l'abondance relative des bolas découvertes en surface.

Ces dernières sont au nombre de 26, dont 15 environ sont réputées provenir du site PCTS. Cependant, nous ne pouvons savoir avec certitude si ces dernières proviennent de l'horizon fouillé ou de niveaux sableux supérieurs. Toutes sont en andésite, sauf une en quartzite dont la masse est de 820 g et le diamètre de 87 mm (Figure 111).

IV.4.4.2. Les bolas découvertes en fouille

7 bolas ont été découvertes dans les zones KI, KII, dans la fouille de janvier 2011 et dans celle de décembre 2011.

Trois bolas sont de taille 'normale', dont deux en andésite et une en grès quartzite présentant un litage horizontal très net. Elles ont un diamètre de l'ordre de 70 à 75 mm (et une masse oscillant entre 450 et 550 g, y compris la bola en quartzite) (Figure 112).

Trois autres, en andésite, ont un diamètre de 47 à 50 mm et sont donc beaucoup plus légères, entre 120 et 200 g.

Enfin, nous avons découvert en janvier 2011 une micro-bola parfaite en quartzite blanc très dur, d'un diamètre de 20 mm et d'une masse de l'ordre de 60 g. Cette pièce est en tout point comparable à trois autres découvertes en surface par le propriétaire du terrain (Figure 113).

Le nombre encore limité de bolas provenant de la fouille du site PCTS empêche de réaliser une approche quantitative précise. Cependant :

- Il s'avère que nous n'avons pas découvert en fouille de bola 'classique', c'est-à-dire d'une masse proche de 800 g comme cela est le cas sur le site de Ngebung ou dans la collection de surface provenant de Pucung.
- Il semble qu'il y ait trois catégories de bolas, pesant respectivement environ 500 g, 150 g et 60 g, dans les couches archéologiques du site PCTS.

- Contrairement à d'autres sites (par exemple Ngebung), une proportion significative de bolas semble avoir été façonnées sur des roches importées : grès quartzite lité, quartzite blanc et dur très dense.

Ces observations sont potentiellement très importantes, car susceptibles de nous éclairer sur les territoires et les comportements des *Homo erectus* du tout début du Pléistocène moyen dans la région de Pucung, et peut-être même sur leurs comportements symbolique.

IV.4.4.3. Les autres artefacts

Outre les artefacts, durant la fouille nous avons recueilli et repéré tous les petits galets de roches allochtones, notamment ceux dont la provenance méridionale semble avérée (calcédoine, quartz, quartzite etc). L'un d'entre eux a été découvert à la faveur de l'érosion durant la saison des pluies 2012 : il s'agit d'un petit galet plat de quartzite blanc très dur, qui présente deux cassures (origine anthropique?).

8 « éclats de Sangiran » ont été trouvés dans la fouille, dont 7 durant la fouille de décembre 2011. Leur dimension moyenne varie entre 2 et 4 cm, ce qui est très classique parmi les éclats de Sangiran (Figure 114).

Il en va de même pour la matière première, toujours en roche siliceuse très dure : calcédoine translucide (3 éclats), mais aussi chert plus ou moins siliceux et jaspe (notons que la détermination pétrographique est toujours délicate du fait de la patine qui recouvre ces pièces).

Sur ces éclats de Sangiran, il est toujours difficile de distinguer les retouches intentionnelles et/ou retouches d'utilisation : les bords, tranchants ou non, sont souvent affectés par les chocs subis lors du transport.

Cependant, deux pièces d'aspect très frais sont remarquables :

- L'une correspond à un éclat assez fin dont les tranchants sont un peu denticulés ;
- La seconde peut représenter un éclat de ravivage du sommet d'un petit nucléus.

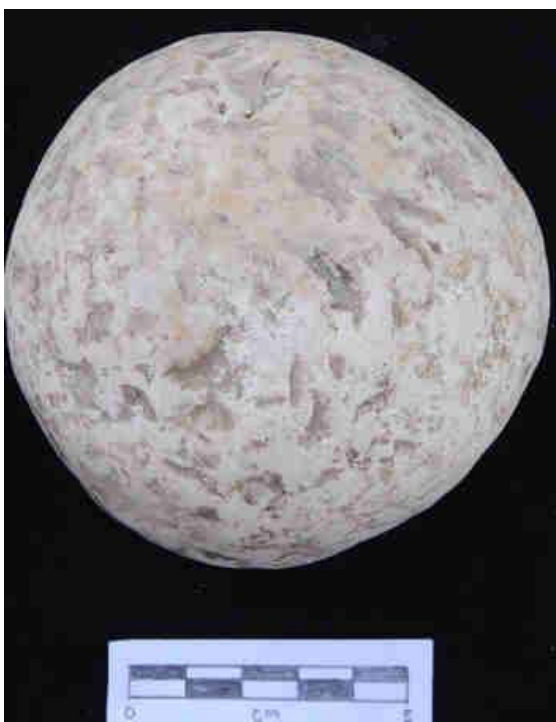


Figure 111.

Bola trouvée en surface



Figure 112.

Bola découverte en fouille du sondage KI



Figure 113.

Micro-bola découverte en fouille
de janvier 2011



Figure 114.

« Eclat de Sangiran » du sondage
de décembre 2011

CHAPITRE V

Les analyses effectuées

V.1. ANALYSES GRANULOMÉTRIQUES

V.1.1. Echantillonnage

Les échantillons prélevés pour analyse granulométrique se répartissent dans les couches sableuses de Kabuh et les couches fines argileuses et tufacées. L'objectif de l'analyse est de préciser le milieu de dépôt et la dynamique de mise en place.

Nous avons ainsi réalisé des prélèvements sur les lieux suivants :

- La coupe 'section 4' (8 prélèvements)
- La coupe 'section 2' (17 prélèvements)
- La coupe de la fouille PCTS de janvier 2011 (8 prélèvements)
- La coupe 'section 1' du site PCTS (19 prélèvements)

S'y ajoutent :

- 2 échantillons prélevés dans les sables qui apparaissent en amont du site PCTS au-dessus du tuf de base.
- 2 échantillons provenant de la coupe « terrain Wiji » et prélevés dans la séquence sableuse supérieure qui a livré des bolas et des fossiles.
- 9 échantillons prélevés dans les séquences argileuses et tufacées qui affleurent dans la rivière le long du transect Dayu-Pucung. Ces échantillons sont localisés sur la Figure 64 (carte géologique synthétique du cours de la kali Pucung).
- Pour comparaison, un échantillon des argiles de Kalibeng supérieur de Pablengan et un échantillon des argiles de Pucangan prélevé près de Ngampon.

V.1.2. Méthode d'analyse

V.1.2.1. Préparation des échantillons

La méthode utilise le granulomètre laser Mastersizer 2000® (Malvern) du département de Préhistoire du Muséum National d'Histoire Naturelle (Paris).

Deux modes opératoires ont été utilisés, sur des échantillons de quelques grammes :

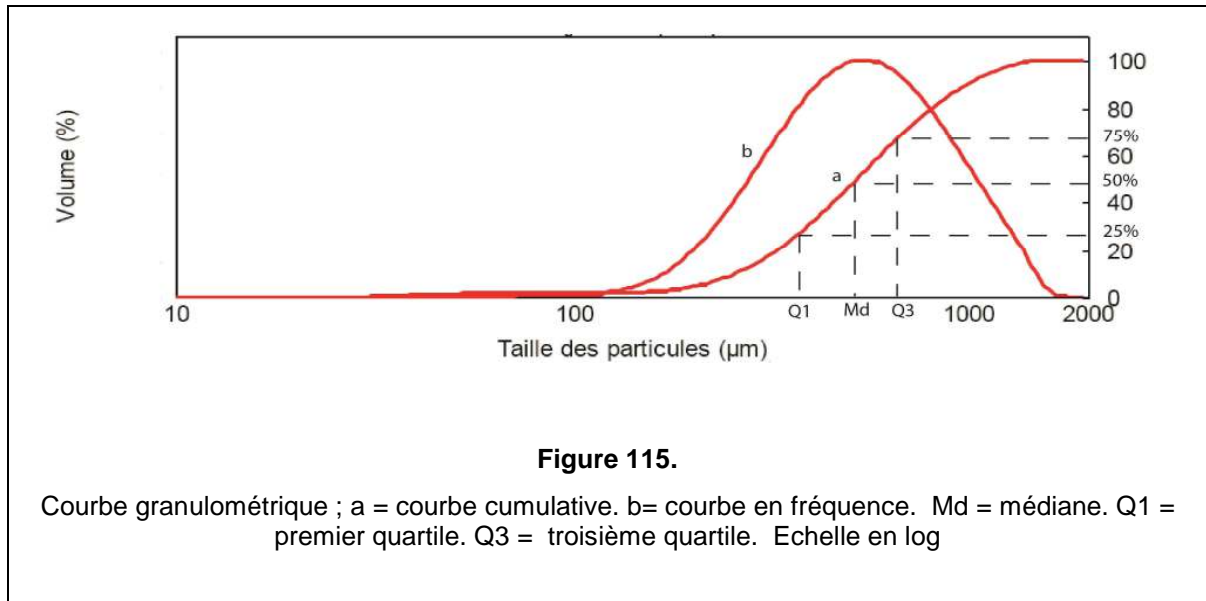
- Voie sèche, pour les échantillons sableux (la limite de résolution de l'appareil est en ce cas de 0.2 μ) et la limite supérieure de 2 mm.
- Voie humide pour les échantillons les plus fins (la limite de résolution est en ce cas portée à 0.02 μ).

La préparation des échantillons implique en premier lieu le séchage à l'étuve (40 à 50°C), puis le tamisage à 2 mm (limite supérieure de mesure), la dispersion du sédiment dans une solution ammoniaquée, suivie d'un second séchage à l'étuve, puis d'une préparation de l'échantillon obtenu pour l'analyse : simple dispersion pour la voie sèche, dans l'eau distillée pour la voie humide.

V.1.2.2. Résultat de la mesure

Le Mastersizer fournit un ensemble de mesures à partir duquel nous pouvons construire automatiquement les courbes présentées sur la Figure 115. Il donne aussi la valeur de la dimension moyenne. Nous calculons nous-même les valeurs de

- la médiane Md (50% de la population)
- du premier quartile Q1 (25%)
- et du troisième quartile Q3 (75%).



V.1.3. Observations et calculs associés

V.1.3.1. Observation des courbes

L'observation générale des courbes de distribution permet de voir si une ou plusieurs populations granulométriques sont présentes. Il permet aussi d'avoir une idée assez précise du classement du sédiment par les facteurs qui ont présidé à son dépôt.

V.1.3.2. Indice d'évolution granulométrique total

L'indice granulométrique total N_t de Rivière (1977) rend compte de la forme de la courbe cumulative, et peut être (Figure 116) :

- Parabolique, avec un indice positif, ce qui reflète un dépôt sous l'influence d'un courant dont la compétence peut être plus ou moins forte.
- Logarithmique, avec une distribution continue donnant un aspect linéaire à la courbe cumulative (l'indice est alors proche de zéro).
- Hyperbolique, avec un indice N_t négatif, ce qui représente en général un dépôt par décantation.

Le calcul de l'indice N_t se fait grâce à un petit logiciel (« KCUF », disponible au Muséum de Paris) sur la base des éléments suivants :

- La moyenne statistique de la distribution (donnée automatiquement par le Mastersizer) exprimée en unités logarithmiques (partant du point $0,1\mu = 1$ unité sur l'axe), et diminuée de 0,8 (mesure logarithmique de la dimension minimale que l'on peut considérer, soit $0,08 \mu$).
- L'indice de grosseur du sédiment, dimension maximale des particules exprimée en unités logarithmiques, diminuée de la même valeur 0,8 ($G = X100\% - 0,8$).

Selon Rivière (1977), les sédiments à granulométrie 'normale' présentent une corrélation entre le moyenne statistique exprimée en unités logarithmiques et l'indice d'évolution granulométrique N_t , illustrée par la droite de régression d'équation $N_t = 0,343 X - 0,825$ (Vernhet et Rivière, 1976, voir par exemple Figure 118). Les points situés à l'extérieur de l'intervalle de confiance de cette régression présentent des faciès granulométriques particuliers.

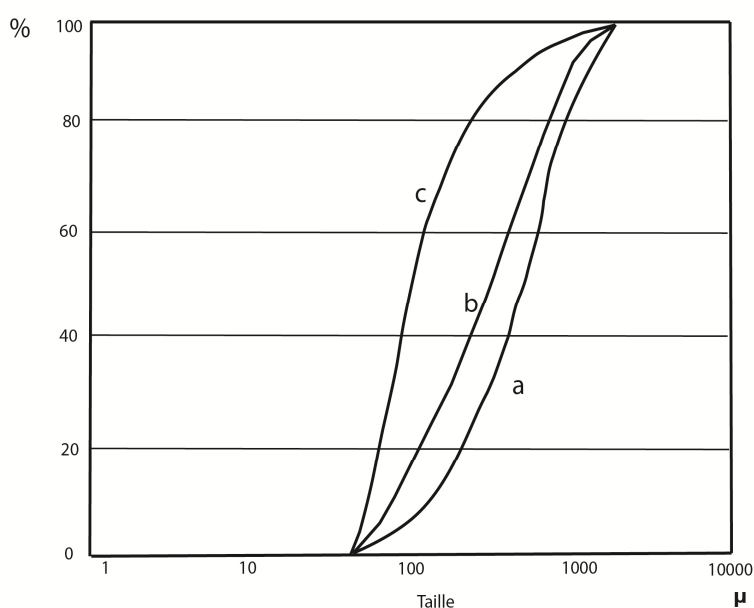


Figure 116.

Relation entre la forme de la courbe granulométrique cumulative et l'indice N_t (d'après Rivière, 1977). a = courbe et faciès parabolique ($N_t > 0$) ; b = faciès sub-logarithmique ($N_t = 0$) ; c = courbe et faciès hyperbolique ($N_t < 0$)

V.1.3.3. *Indices de classement et d'asymétrie de Trask* (Buller et McManus, 1972 ; 1973)

- L'indice de classement S_o se calcule selon la formule : $\sqrt{Q_3/Q_1}$. Le sédiment peut être très bien classé (entre 1 et 2.5), normalement (2.5 à 3.5), assez bien (3.5 à 4.5) ou mal classé (>4.5).
- L'indice d'asymétrie S_k $\sqrt{Q_3*Q_1/Md^2}$ donne une valeur faible <1 lorsque les particules fines sont mal classées comparées aux grossières, égale à 1 lorsque la qualité du classement est équivalente pour les particules fines et grossières, et >1 lorsque les particules grossières sont mal classées par rapport aux fines.

V.1.4. Résultats concernant les couches argilo-tufacées

Les courbes, y compris celles de référence, font apparaître un classement général de bonne qualité ainsi qu'une asymétrie de ce classement du côté de la fraction fine (Figure 103). Ceci n'est pas étonnant du fait de la granulométrie fine des couches. Cependant, il faut noter que ces faciès ne représentent, pour aucun d'entre eux, de vraies argiles. Ils sont sans doute issus de l'altération de tufs ou de cendres, mais leur

La granulométrie varie le long du transect selon les couches prélevées, la moyenne statistique oscillant entre l'échantillon le plus fin à une moyenne de 24 μ (3,4 en Log) et le plus grossier de 173 μ (4,2 en Log) (Figure 117)

Le diagramme de corrélation N_t – Moyenne statistique n'appelle pas de remarques particulières, et les granulométries sont normales. Les échantillons de comparaison provenant des couches de Kalibeng et de Pucangan s'intègrent au groupe analysé (Figure 118)

Seul un échantillon, provenant de la zone du Grenzbank, présente un faciès relativement hyper-parabolique. Il peut s'agir soit d'une structure sous hydraulique (Rivière, 1977) formée au sein de la rivière pendant une phase d'érosion forte, ou plus probablement d'un dépôt lié à un fort ruissellement et un phénomène de lévigation durant cette période.

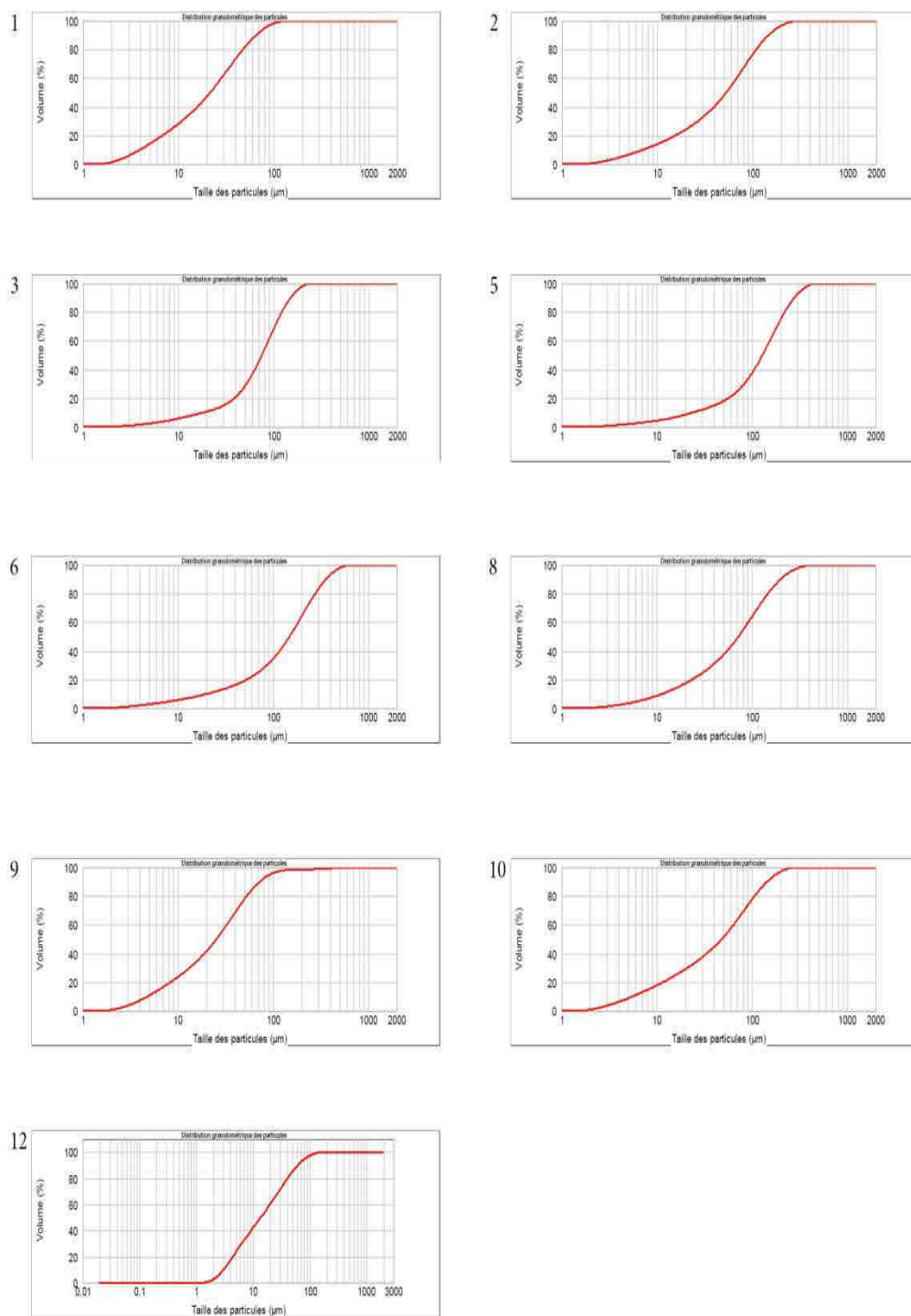


Figure 117.
Courbes granulométriques cumulatives des échantillons argilo-tufacés du transect Dayu Pucung

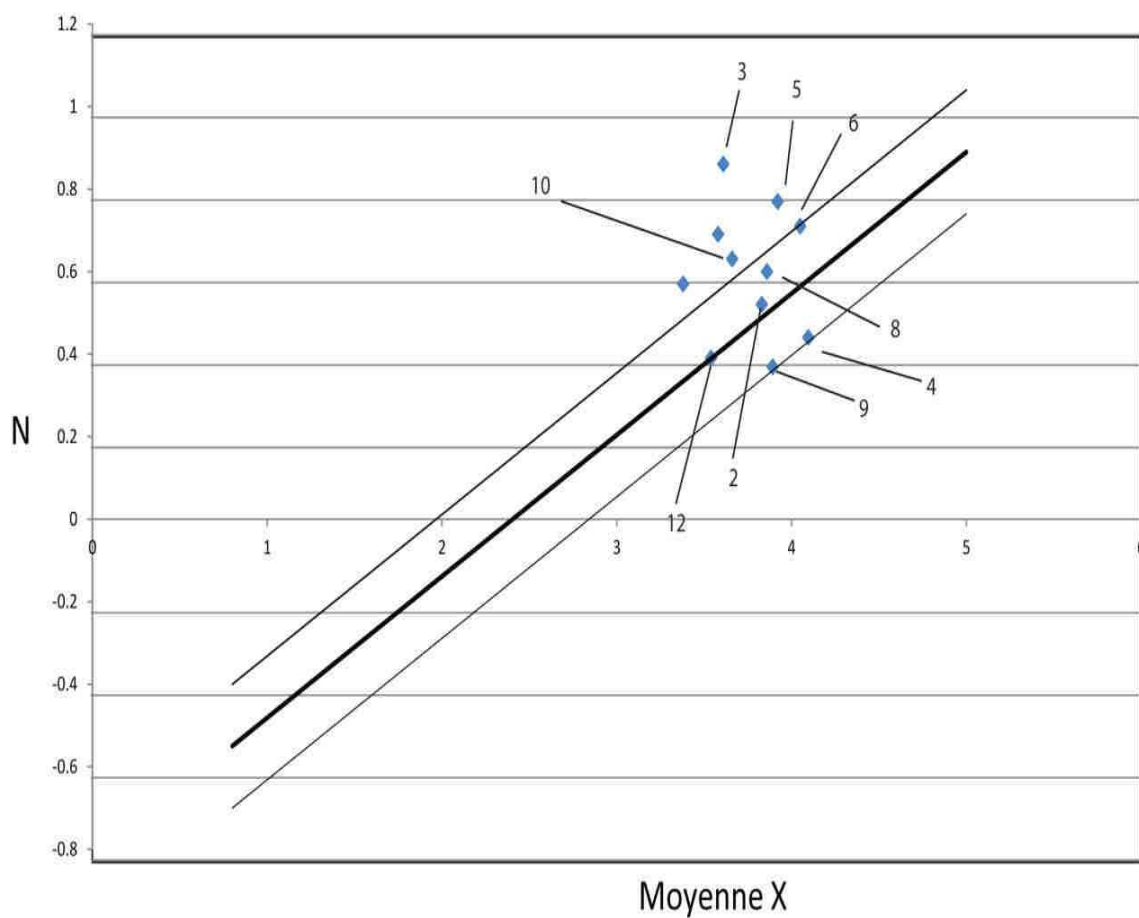


Figure 118.

Classement dynamique en Fonction de **X** et l'indice **NT** des prélèvements argilo – tufacés.

N= Indice Total Granulométrie. X = Moyenne en Log (1 = 0,1 μ ; 2 = 1 μ ; 3 = 10 μ ; 4 = 100 μ ; 5 = 1000 μ)

V.1.5. Résultats concernant les coupes 'section 4' et 'section 2'

V.1.5.1. Section 4

La coupe 'section ' est assez proche du Grenzbank dans la zone structurale 3. Les deux échantillons fins (1 et 4) ont une granulométrie en tous points comparable à celle mise en évidence dans le diagramme précédent pour les échantillons de tuf argileux. (Figure 119)

Les séquences 2 et 6 sont plus grossières (la moyenne statistique est de l'ordre de 1 mm), et les 3 échantillons de la séquence 2 à stratification entrecroisée se répartissent sur une verticale allant de $N_t = 1,03$ à $N_t = 1,55$. Seul un des 3 échantillons entre dans l'intervalle de confiance de Rivière, les deux autres présentant un faciès hyper-parabolique (Figure 120).

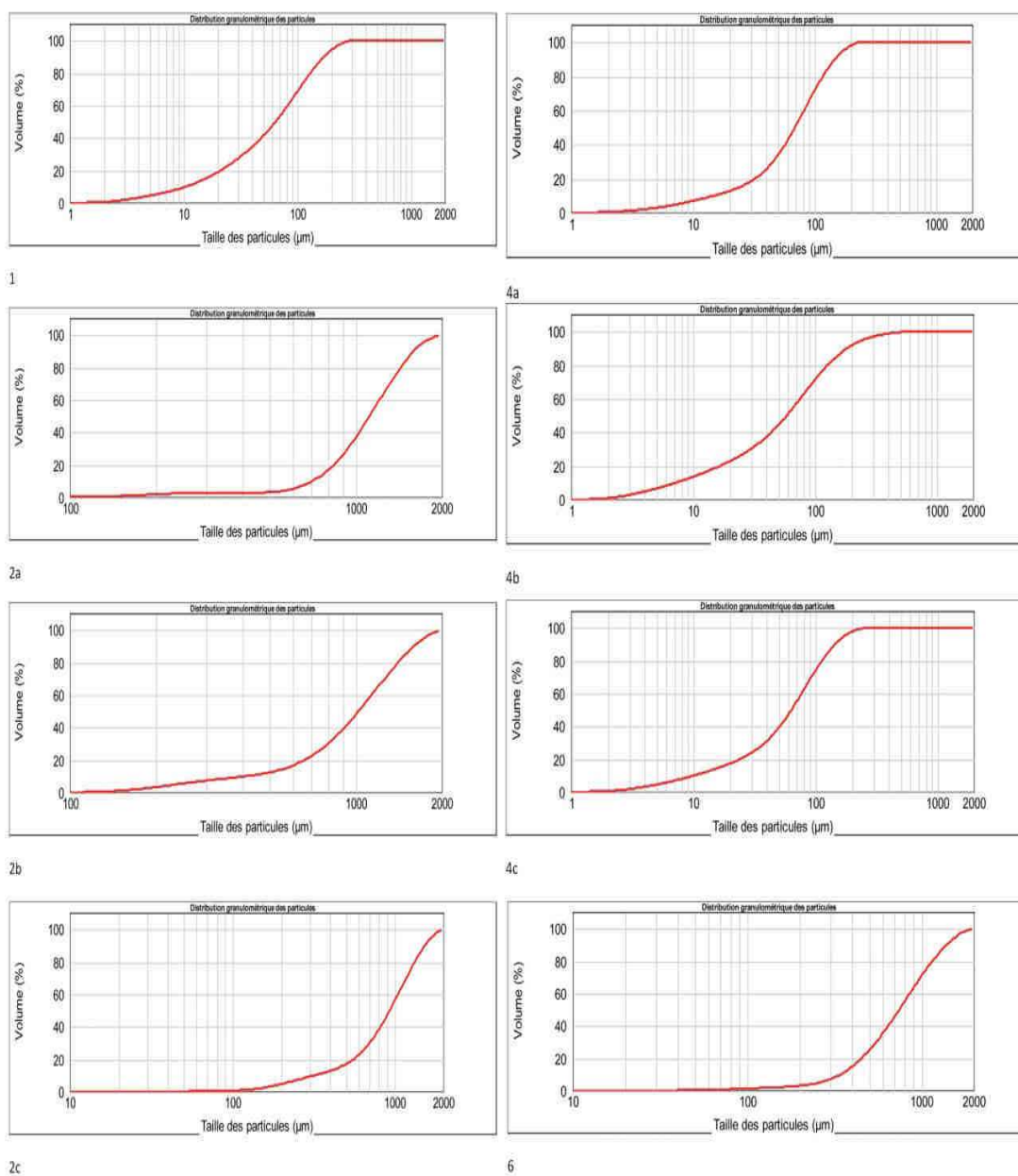
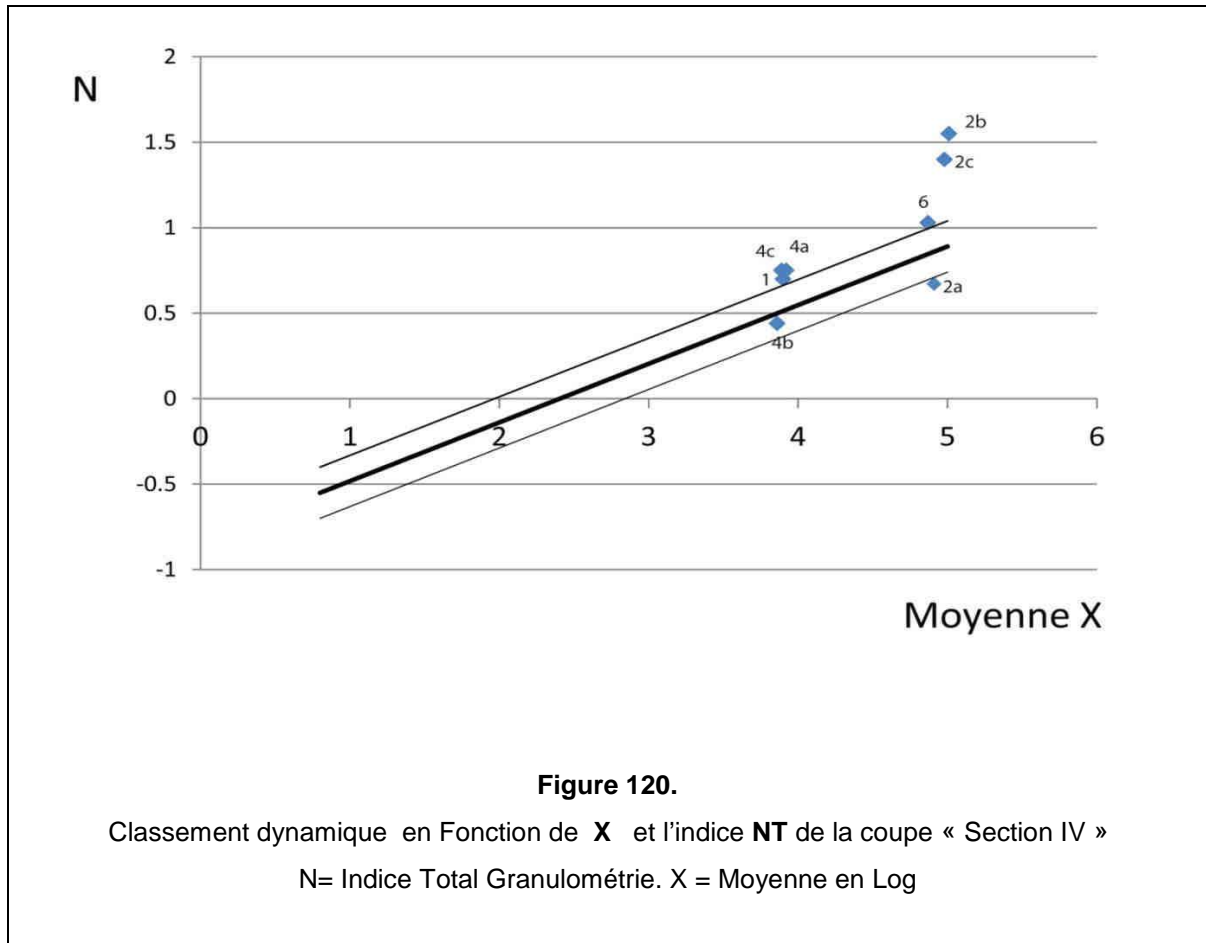


Figure 119.

Courbes granulométriques cumulatives des prélèvements de la « Section IV »



V.1.5.2. Section 2

L'échantillon de base (tuf argileux) fait partie des groupes liés à ce faciès que nous avons précédemment décrits.

Les échantillons de sable ont une moyenne statistique de l'ordre de 1mm. Nous retrouvons ici, en beaucoup plus accentué, le phénomène de répartition verticale des points, allant des granulométries normales à des indices Nt très forts, de l'ordre de 2 (Figure 121)

Ces indices se retrouvent dans les couches sableuses homogènes et dans celles à stratification entrecroisée. Ils témoignent non seulement d'un très bon classement (confirmé par les valeurs de So, tableau Figure 122) mais aussi de « l'ablation » de la partie fine : séquences 7c, 9, 11, 13. (Figure 123)

Une remarque comparable peut être faite sur le faciès de la couche 4, qui surmonte les tufs de base et fait partie de la séquence fossilifère. L'explication doit cependant être différente

échantillon	So	Sk
1	2.21	0.89
2	1.7	0.94
4	1.37	0.94
6a	1.48	0.99
6b	1.48	0.96
6c	1.7	0.95
7a	1.22	1
7b	1.62	1.04
7c	1.37	0.97
9	1.32	0.98
10	1.66	0.99
11a	1.22	1
11b	1.46	1.01
12a	1.25	1
12b	1.54	1.02
13	1.44	0.96
15	1.74	1.07
16	1.79	0.99

Figure 121.
Valeurs de So et Sk de la coupes « section II »

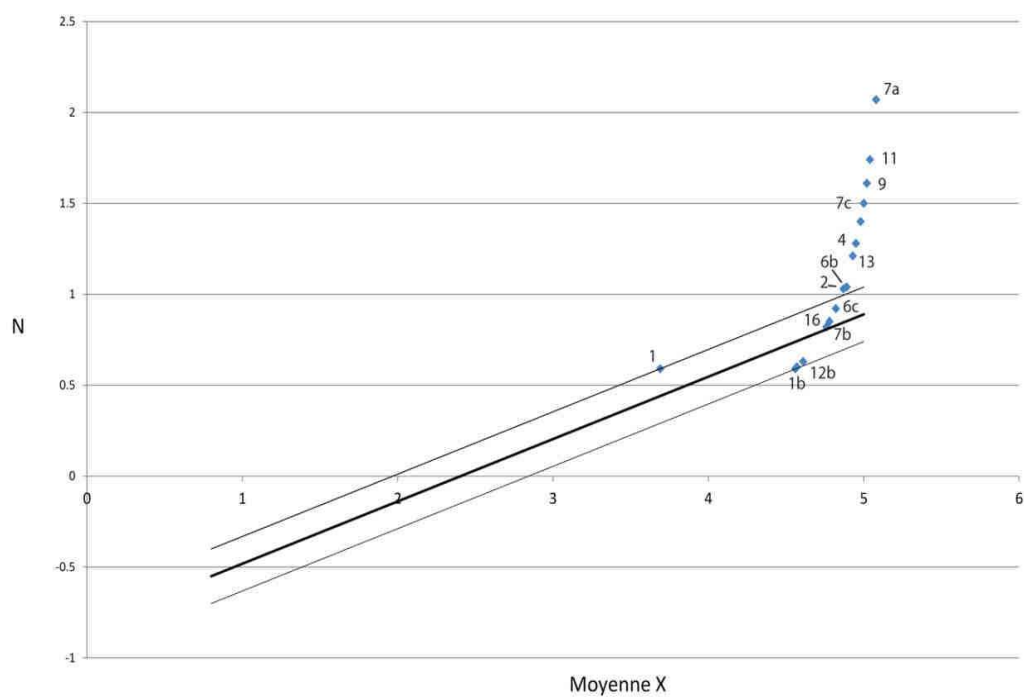


Figure 122.
Classement dynamique en Fonction de **X** et l'indice **NT** de la coupe des « Section II »
N= Indice Total Granulométrie. X = Moyenne en Log

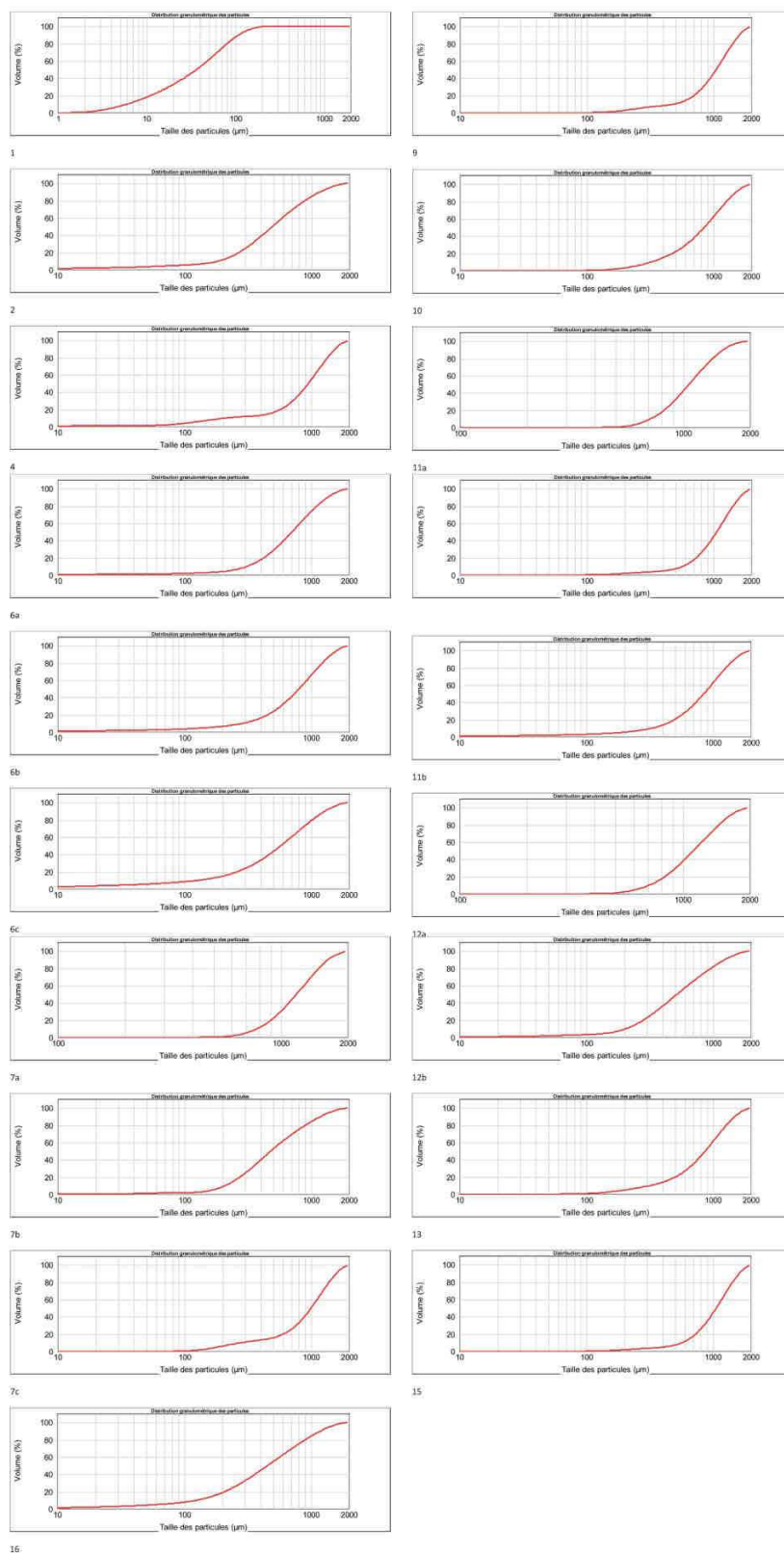


Figure 123.

Courbes granulométriques cumulatives des prélèvements de la « Section II »

V.1.6. Résultats concernant les coupes 'section 1' et 'fouille janvier 2011' du site PCTS et sites voisins

V.1.6.1. La coupe 'section 1'

Les couches 1 à 8, le long de la partie basale et médiane de la coupe, présentent à nouveau, autour d'une moyenne statistique de l'ordre de 1 mm, une répartition verticale incluant :

- Des couches de base (1 à 3) à faciès hyper-parabolique (Figure 124)
- Une couche de sable à granulométrie normale
- Des couches sableuses médianes (5 à 8) à faciès hyper-parabolique marqué (Figure 125). La valeur maximale remarquée pour l'indice granulométrique N_t est de 1,45 (figure 126)

Nous retrouvons donc une situation analogue à celle décrite le long de la section 2.

La partie supérieure de la coupe (n° 9 à 12) présente une granulométrie relativement fine (moyenne statistique de l'ordre de 100 μ), bien classée, et une corrélation normale entre l'indice N_t et cette moyenne. L'origine alluviale ne semble pas poser de question (Figure 111)

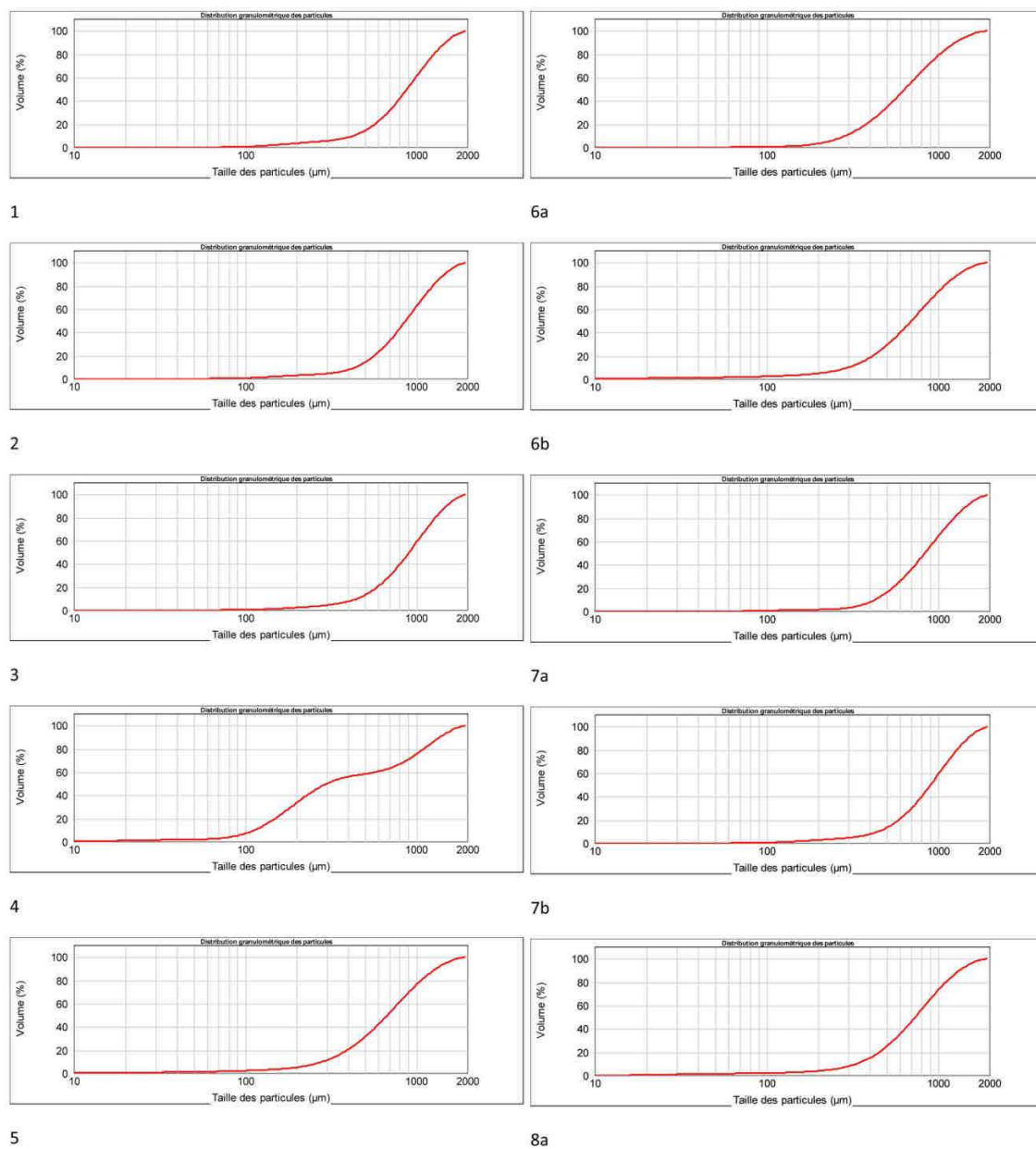


Figure 124.
 Courbes granulométriques cumulatives de la « Section I »
 Echant 1 et 3 = facies Hyper-parabolique.
 Echant 5,6a,6b, 7a, 7b, 8a = Facies Hyper-parabolique marquée

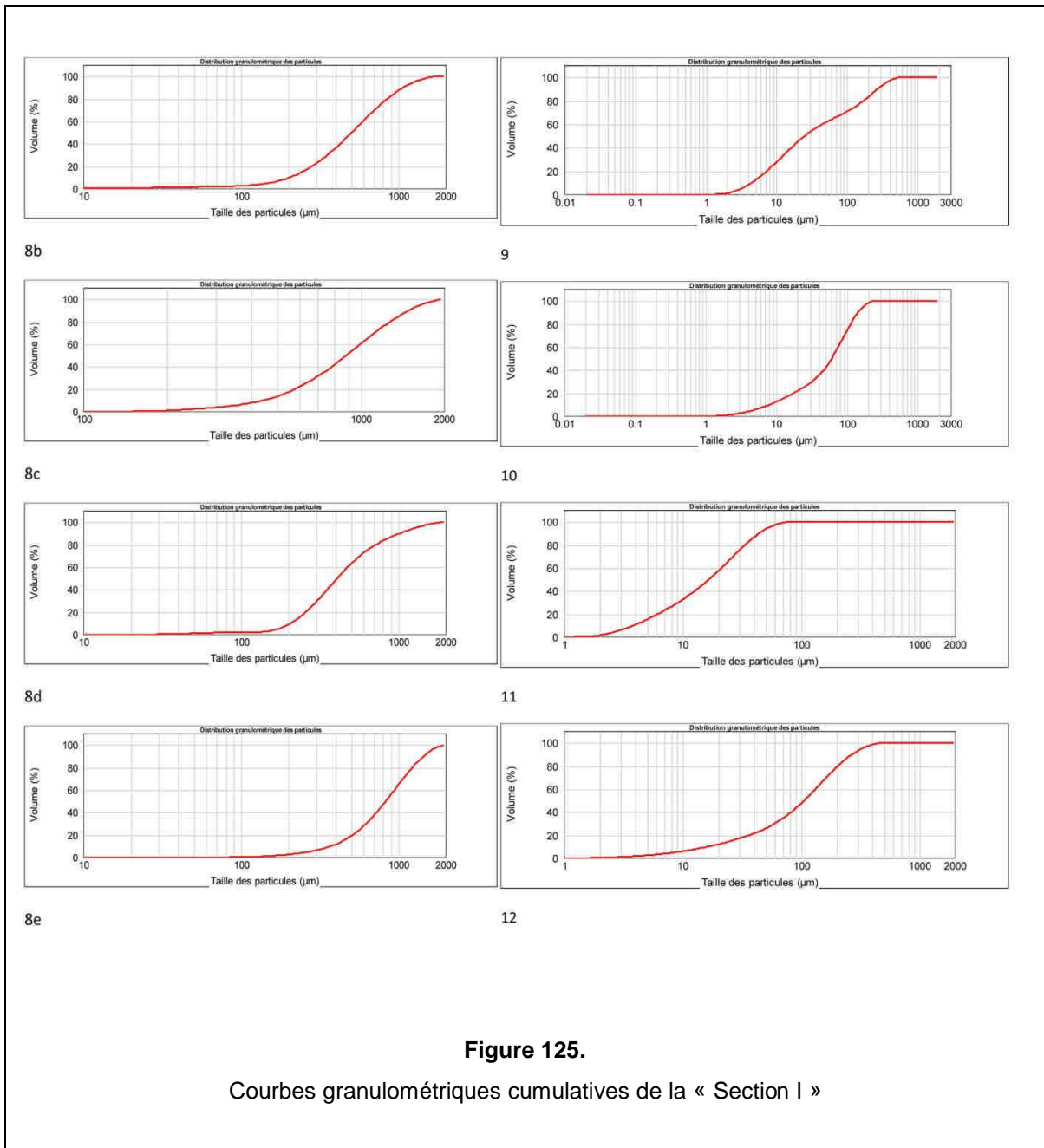


Figure 125.
 Courbes granulométriques cumulatives de la « Section I »

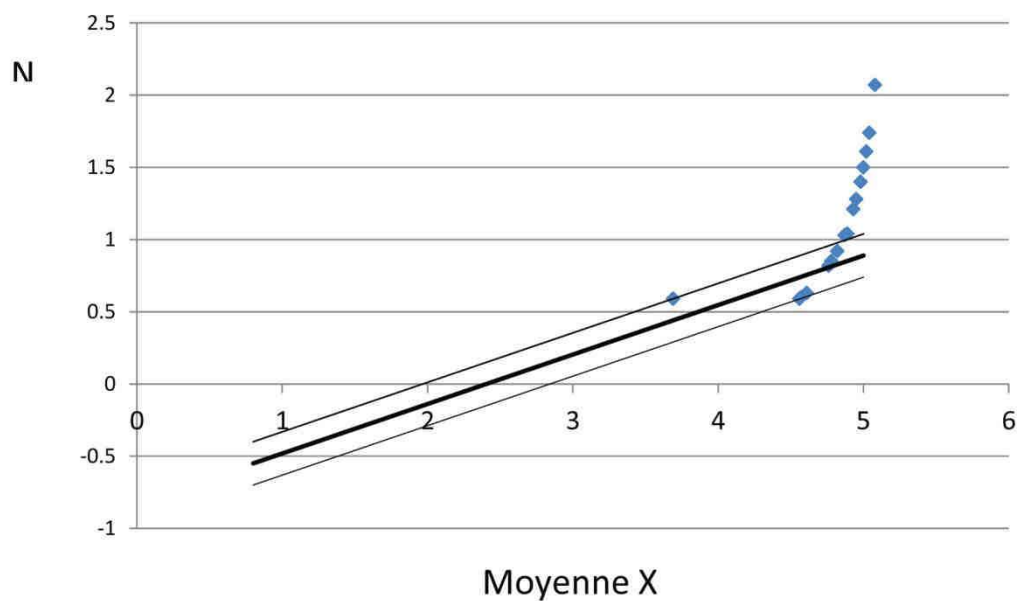


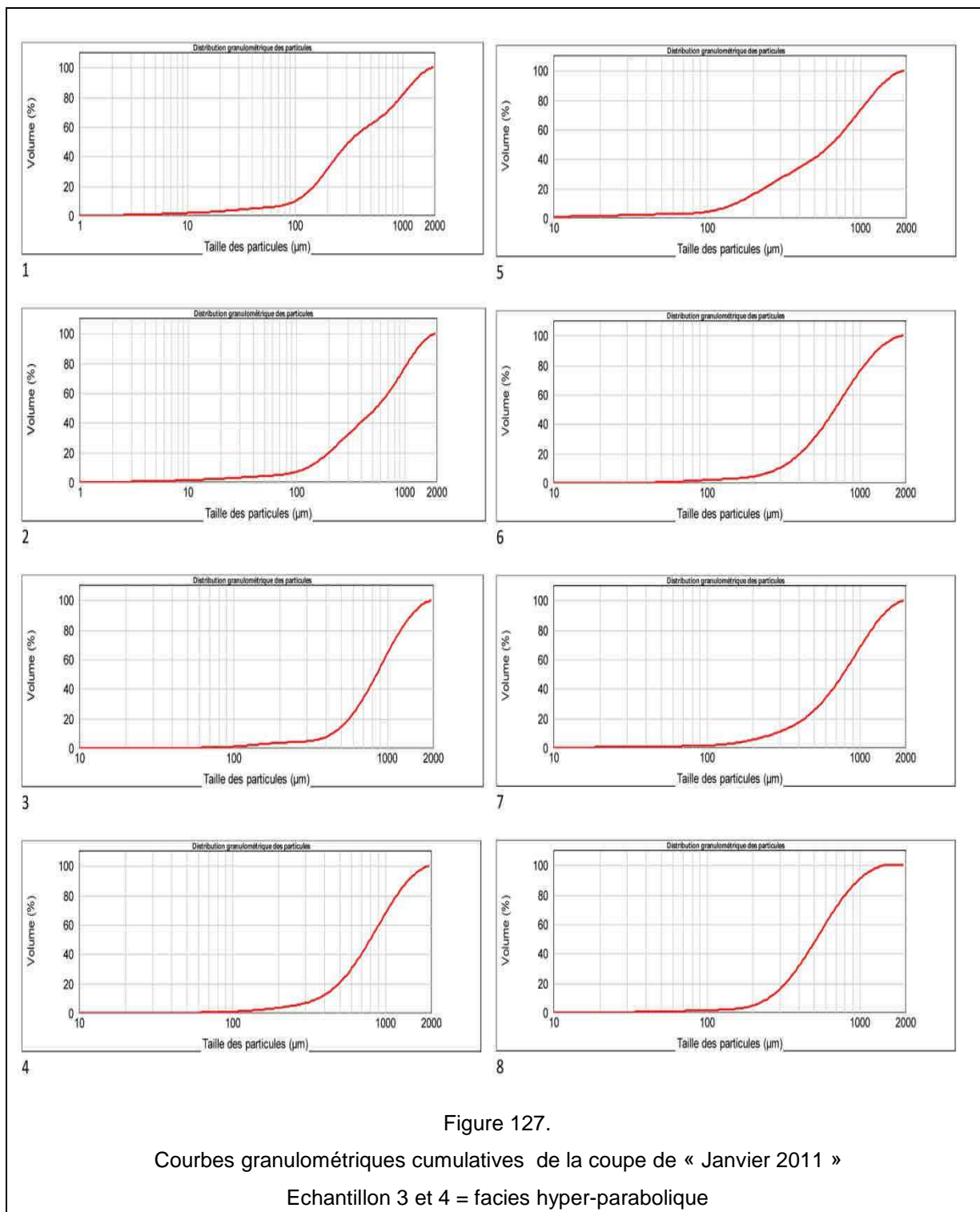
Figure 126.

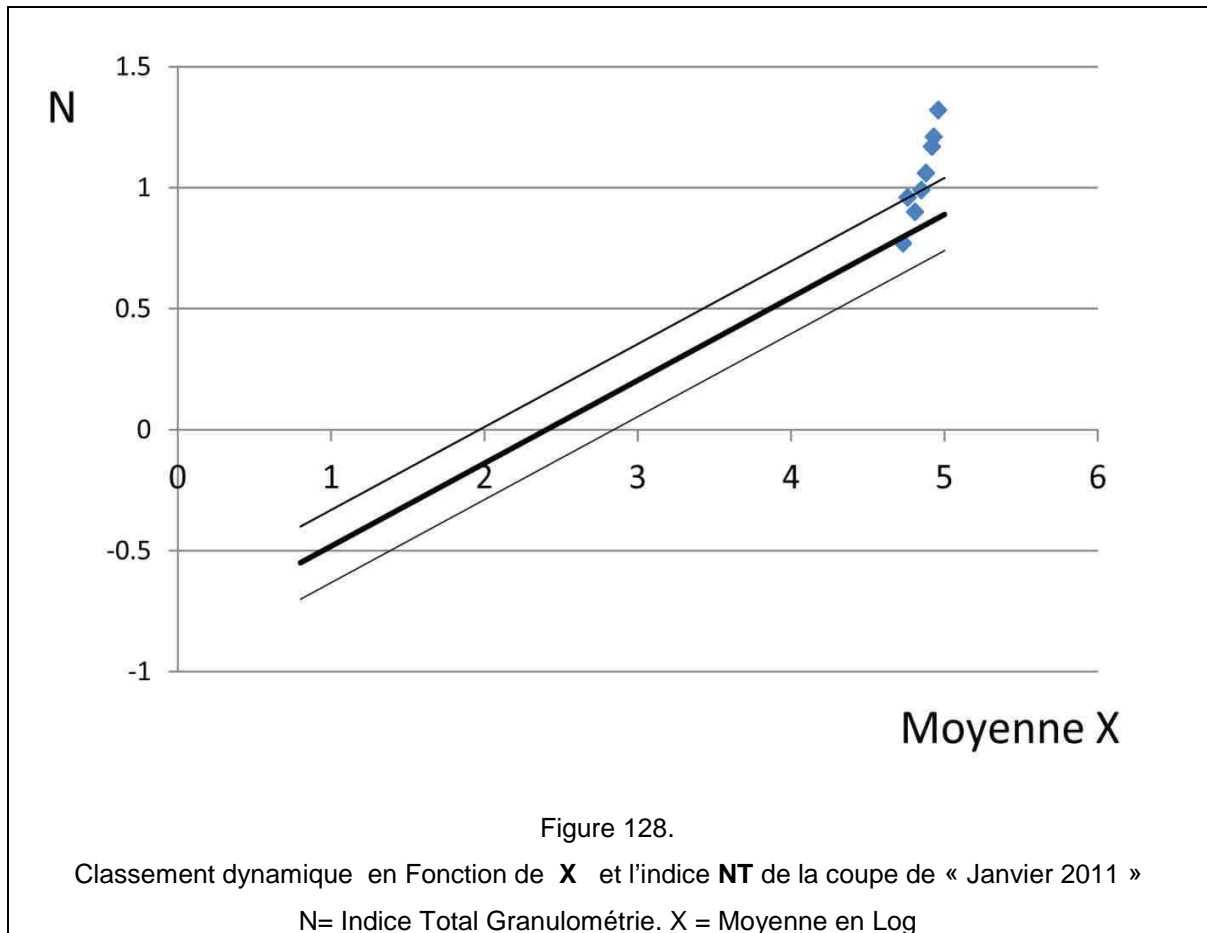
Classement dynamique en Fonction de X et l'indice NT de la coupe de la « Section I »
 N = Indice Total Granulométrie. X = Moyenne en Log

V.1.6.2. La coupe 'janvier 2011'

Les échantillons proviennent de la coupe présentée au chapitre IV qui est la plus éloignée du sondage KI.

Cette coupe ne présente de faciès hyper-parabolique que dans les niveaux sableux 3 et 4 qui surmontent les couches fossilifères oxydées (Figures 127 et 128). Les autres indices entrent dans le cadre d'une granulométrie normale.

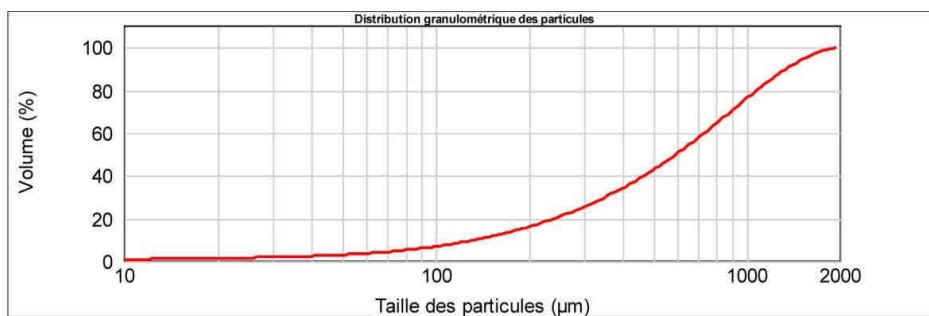




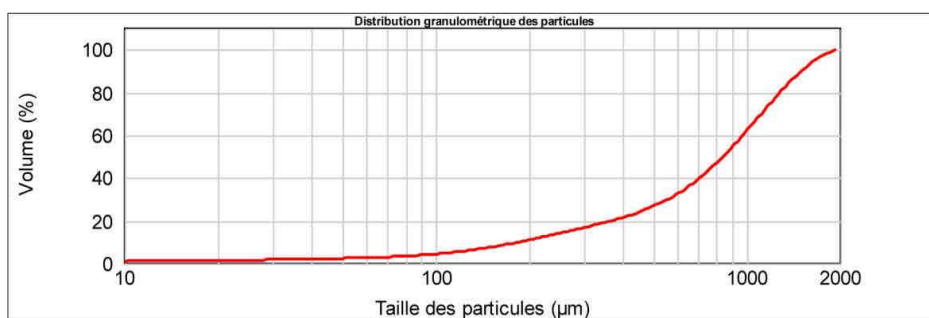
V.1.6.3. Sites voisins

Les échantillons provenant du sable qui surmonte le tuf de base du site PCTS, mais prélevés en amont du site, ainsi que ceux prélevés sur la coupe 'terrain Wiji' sont tous liés aux couches fossilifères.

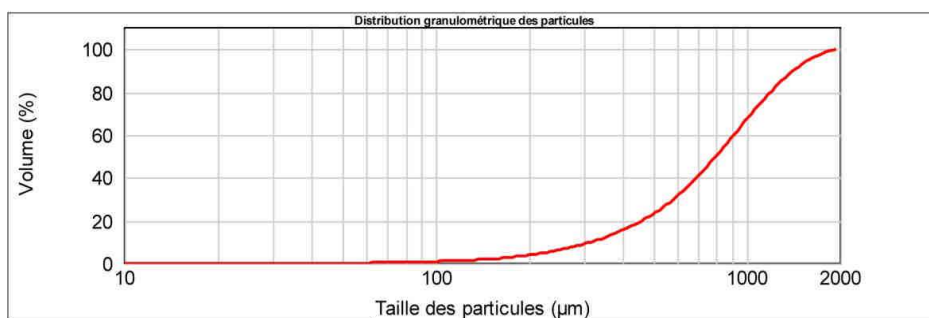
Leur granulométrie moyenne est de l'ordre de 1mm, et s'avère bien classée et normale (Figure 129). Dans chacun des deux sites, un échantillon s'avère toutefois présenter un faciès légèrement hyper-parabolique (Figure 130).



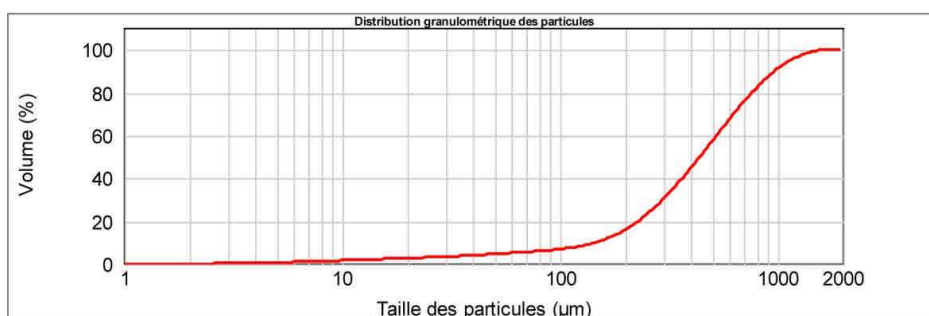
1



2



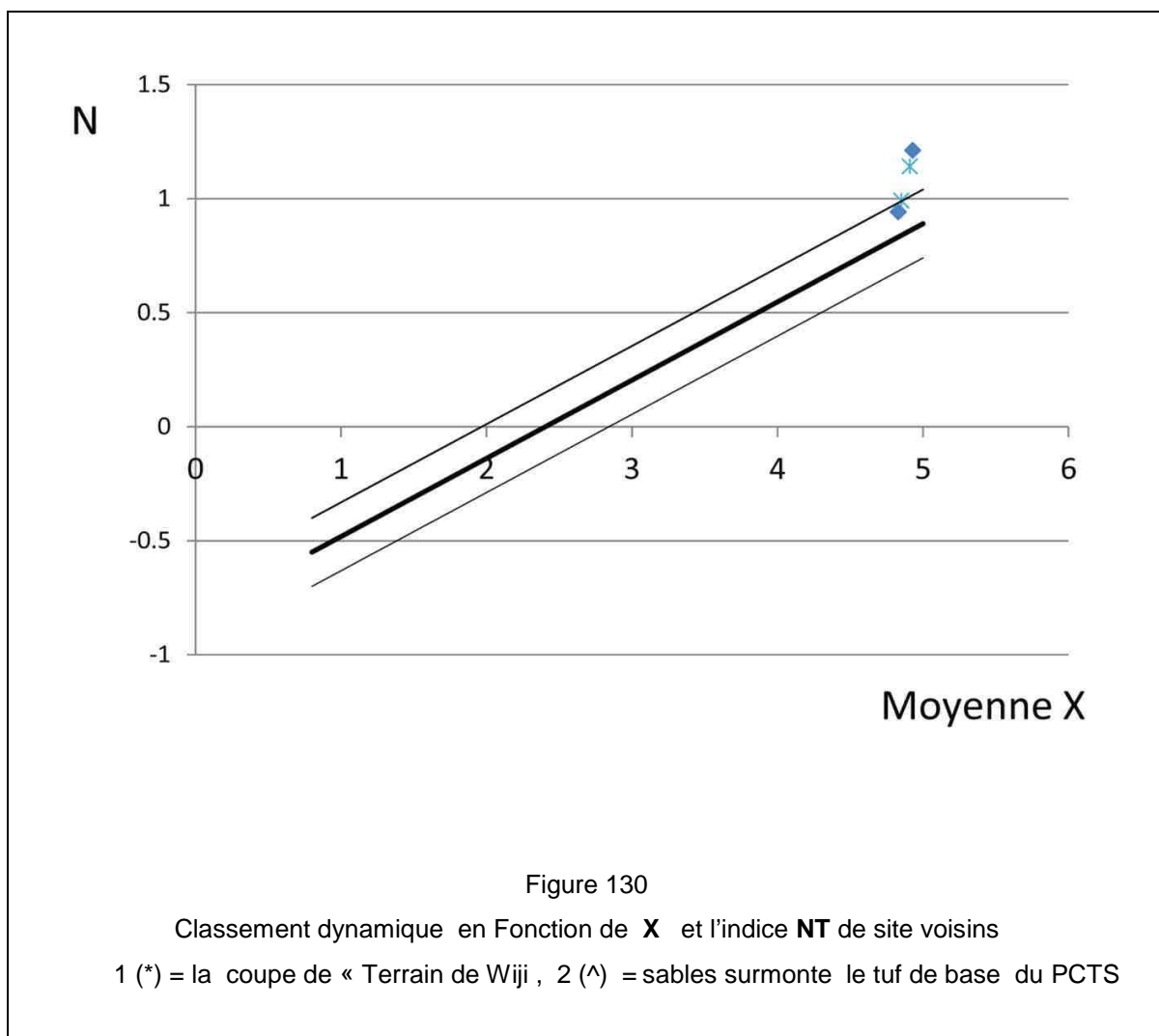
3



4

Figure 129.

Courbes granulométriques cumulatives des échantillons de sites voisins
 1 et 2 = coupe de Terrain de Wiji ; 3 et 4 = couches de la coupe voisinage de PCTS



V.1.7. Conclusion sur les études granulométriques

Les conclusions de cette étude granulométrique menée sur plusieurs des sites étudiés concernent :

- Les faciès tufacés à granulométrie fine, qui apparaissent en fait représenter des couches de tufs ou de cendres compactées et de granulométrie homogène.
- Les faciès fossilifères qui recouvrent les tufs sur le site PCTS, mais qui sont aussi retrouvés sur d'autres coupes. Ces faciès sont souvent hyper-paraboliques, et l'interprétation la plus probable est qu'ils sont liés à une forte phase érosive qui a entraîné les particules fines dans le courant. La morphologie d'érosion a pu piéger sur place les grains les plus grossiers et les objets de grande taille, tels que les galets de tufs arrachés aux couches sous-jacentes ainsi que les fossiles et artefacts (cf. plus loin l'approche taphonomique des graviers de tuf).
- Ces faciès fossilifères passent latéralement (coupe de la fouille de janvier 2011) ou verticalement (couche 4 de la section 1) à des granulométrie 'fluviales' normales, lorsque la rivière a repris un régime naturel.
- Ils sont par contre très souvent surmontés par des couches sableuses très bien triées, présentant ou non des stratifications entrecroisées. Ces couches ont un aspect à dominance très nette du matériel volcanique, et sont souvent sujettes à des effondrements par blocs. Leur granulométrie s'éloigne considérablement de l'intervalle de confiance établi par Rivière (1977). Leurs caractéristiques granulométriques indiquent un appauvrissement très accentué en particules fines.

Une telle situation peut difficilement être attribuée à un tri préférentiel par la rivière comme celui que nous devinons pour les couches fossilifères de base à blocs de tufs.

Elle peut, par contre, être liée au transport éolien de matériel volcanique lors d'une éruption. Seule une classe granulométrique donnée se déposerait alors sur la zone étudiée, les particules fines étant entraînées par les courants aériens en altitude à une plus grande distance. Cette hypothèse reviendrait à

dire que de véritables nuées ardentes se sont mises en place dans la zone de Pucung.

Les illustrations analytiques qui suivent dans les parties V.2. et V.3. concernent :

- *L'approche descriptive des sédiments meubles ainsi que des roches représentées dans les couches de graviers.*
- *Les analyses chimiques et minéralogiques.*

Ces analyses ont été réalisées au laboratoire de Géologie de l'Université de Ferrara, sous la direction de C. Vaccaro, ainsi que dans les laboratoires du département de Préhistoire du Muséum national d'histoire naturelle.

Il faut reconnaître que durant les deux séjours que nous avons effectués en Europe, le temps nous a manqué pour réaliser l'ensemble du programme d'analyses prévues, et aussi pour nous former complètement à leur interprétation.

Les quelques résultats résumés ci-dessous le sont pour mémoire, mais ouvrent, nous le verrons pour certains, des perspectives importantes.

Notre objectif, au travers de la formation initiale que nous avons reçue sur ces méthodes, est d'être capable de développer, en Indonésie et surtout sur le terrain, les méthodes d'observation microscopique ou d'analyse granulométrique qui ne demandent pas un matériel sophistiqué, et de pouvoir collaborer efficacement avec des laboratoires spécialisés pour les analyses plus complexes.

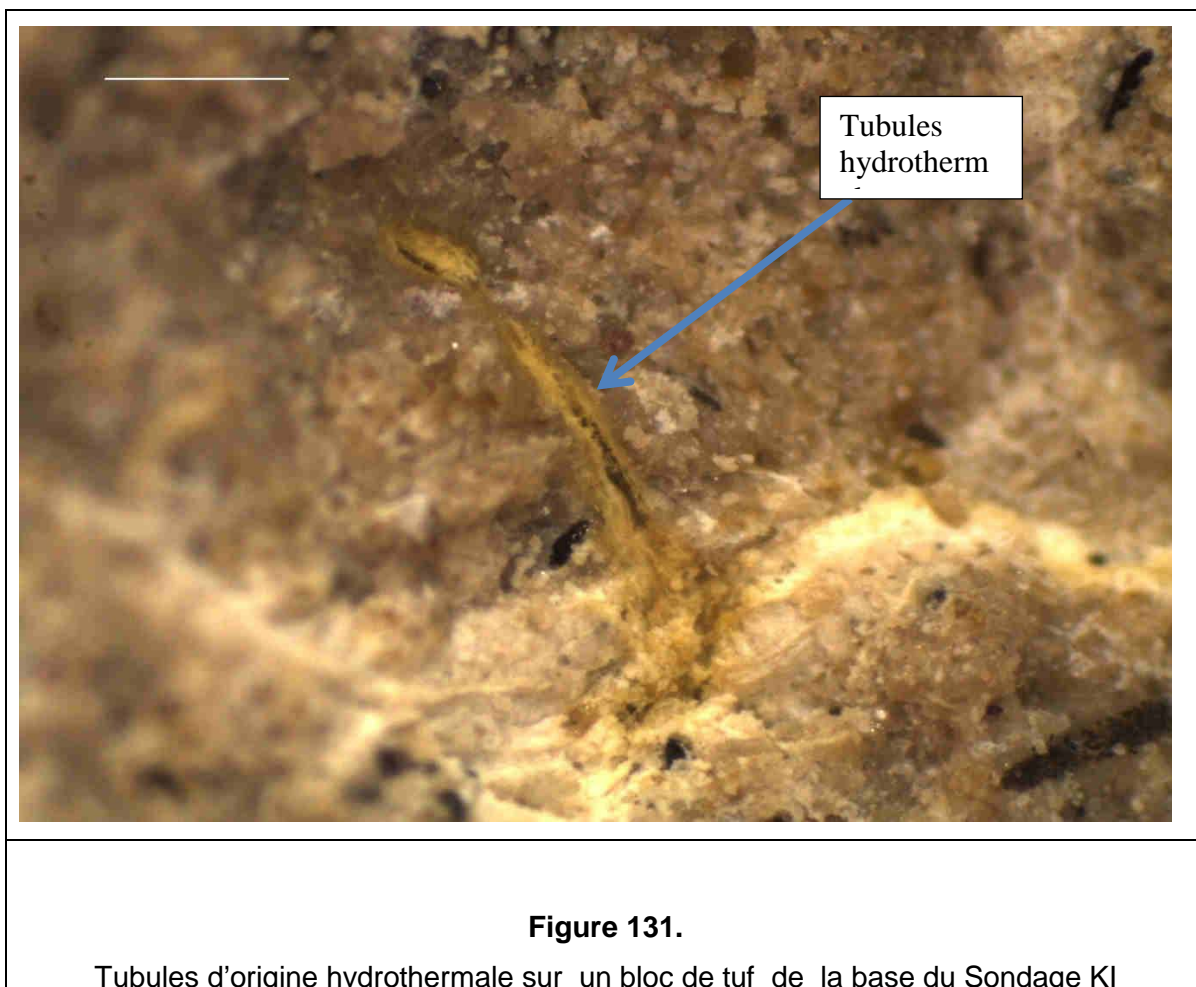
V.2. APPROCHE DESCRIPTIVE DES SÉDIMENTS ET DES ROCHES

V.2.1. Les sédiments des couches fossilifères

V.2.1.1. Nature des blocs de tuf

La composition chimique des tufs retrouvés dans la fouille du site PCTS sera évoquée plus loin.

Un gravier de tuf a été observé en section polie. Il présente un réseau de tubules d'origine hydrothermale qui laisse à penser à un dépôt 'chaud' de la couche originale (Figure 131).



V.2.1.2. Taphonomie des graviers de tuf

Nous avons noté dans la description des zones fouillées du site PCTS l'importance des blocs de tuf, systématiquement associés avec le matériel archéologique et paléontologique dans les couches fossilifères.

Le lavage des sédiments a permis de montrer que ces blocs étaient, naturellement, associés à de nombreux fragments de la taille de graviers, dont la forme varie considérablement, allant d'une forme 'sculptée' à nombreuses pointes jusqu'à des graviers parfaitement roulés et arrondis (Figure 132 et 133).

Il est évident que ces morphologies différentes sont liées à l'intensité du transport et à la dynamique de sédimentation des couches fossilifères. Dès lors, il semble intéressant de rechercher une piste d'étude taphonomique de ces fragments de tuf, qui peut permettre à terme de décrire le processus de formation de la couche en intégrant à la fois le matériel paléontologique (ossements et dents) et le matériel tufacé. Les autres objets, notamment les artefacts lithiques, ne peuvent du fait de leur dureté livrer beaucoup d'information sur le transport ou le milieu de dépôt.

8 échantillons ont été observés, 6 répartis sur deux verticales dans la coupe de la fouille de décembre 2011, 1 dans le sondage KI et un prélevé dans l'horizon fossilifère de la coupe 'terrain de Wiji' (tableau de la Figure 134).

- Les échantillons de la fouille font apparaître, pour les horizons situés entre $Z_a = -1,9$ m et $Z_a = -2,05$ m, un nombre plus important de graviers aux formes 'sculptées' et un nombre moindre de ponces. Ces horizons correspondent au sommet des couches fossilifères repérées dans les profils Y/Z des deux zones de fouille concernées.
- Les graviers de tuf semblent avoir subi un transport plus important dans la partie basale des couches fossilifères.
- L'horizon fossilifère de la coupe 'terrain de Wiji' se présente comme le sommet des lentilles fossilifères de la fouille PCTS : peu de ponces, dominance des graviers 'sculptés'.

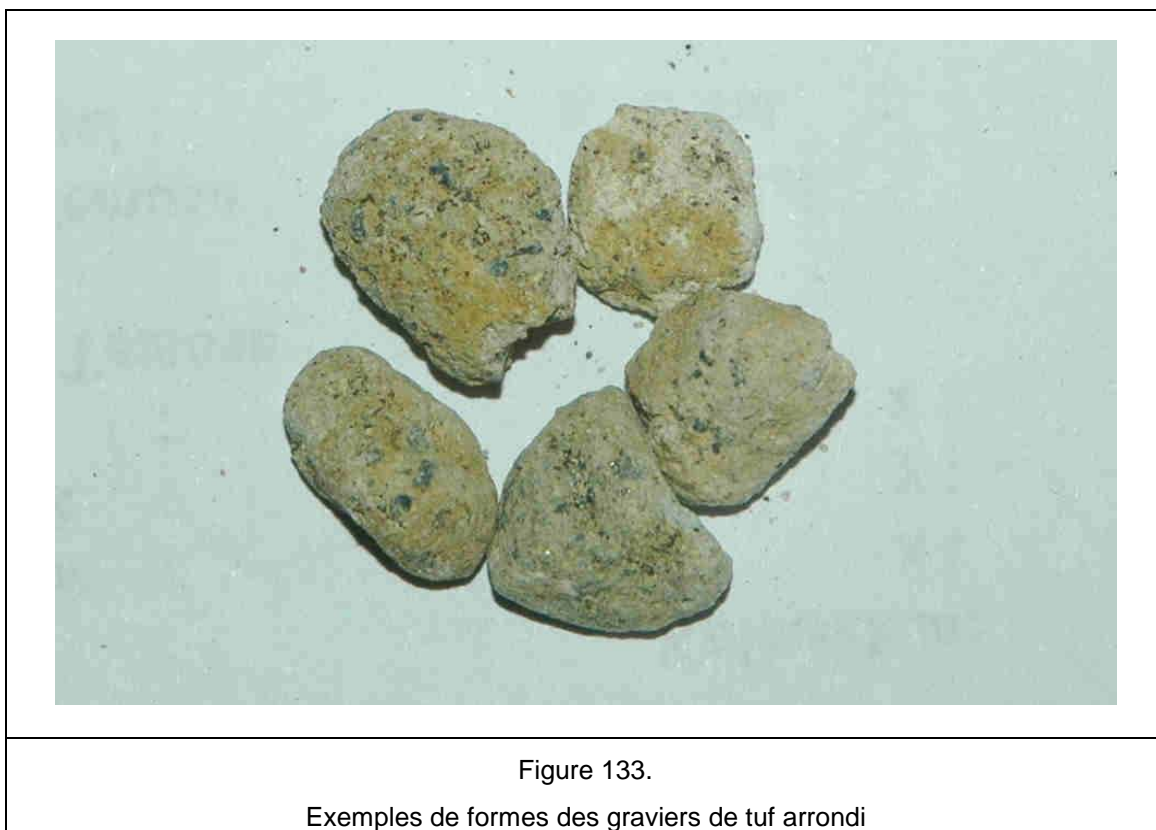
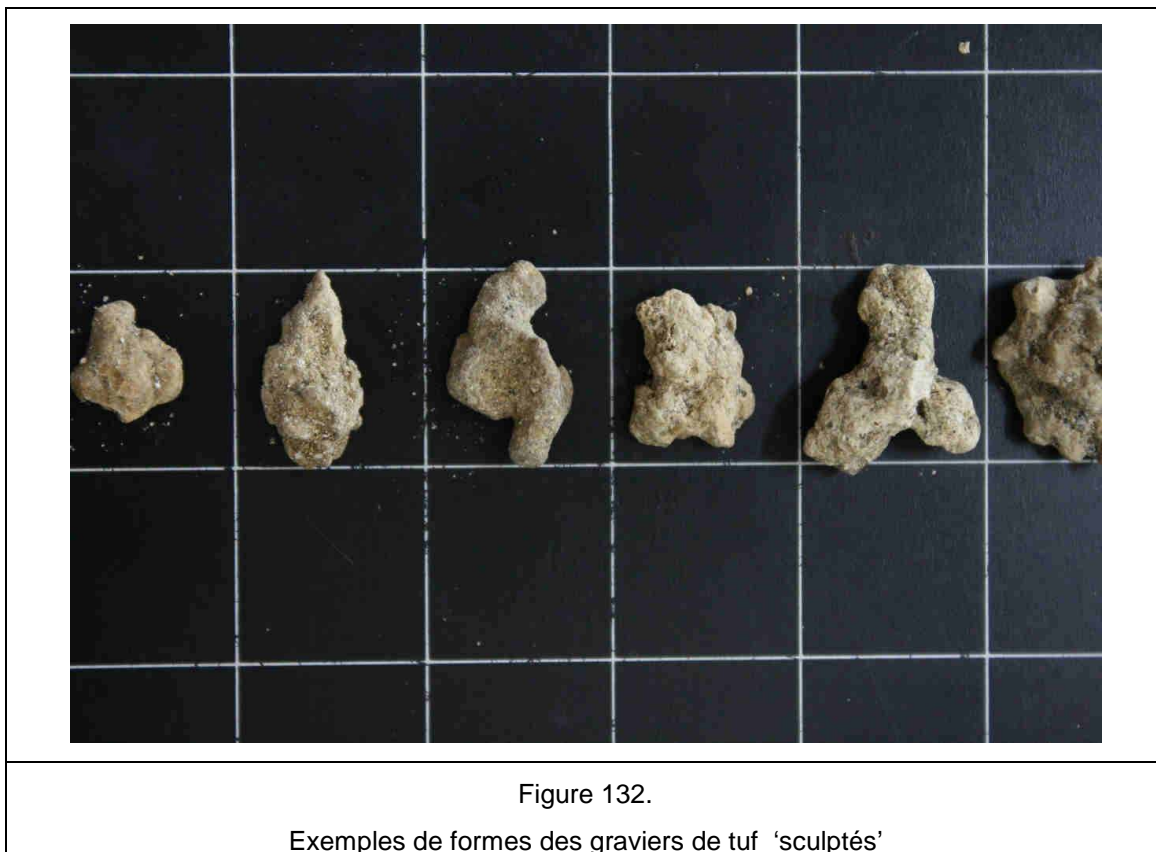
Ces analyses demandent à être confirmées par un échantillonnage plus systématique. Cependant, elles apportent des informations importantes.

- La dynamique de mise en place des couches à fossiles et artefacts semble avoir connu un régime de courant décroissant vers le sommet.
- Tous les horizons renferment un nombre significatif, voire majoritaire, de graviers 'sculptés', par nature très fragiles.

Nous avons entrepris une recherche de tels graviers dans le cours actuel de la rivière. Seuls les trous présents à la surface des couches de tuf qui affleurent en contiennent. Il est probable que les mouvements qui se produisent dans de tels pièges permettent aux sables de sculpter les fragments de tuf arrachés à la couche.

Ce serait donc un processus érosif de ce type qui serait à l'origine de la formation des couches fossilifères du site PCTS et des sites voisins. Le mécanisme de piégeage des objets paléontologiques souvent fragiles et des artefacts serait analogue à celui qui aboutit à l'accumulation des graviers de tuf.

Un tel processus contribuerait aussi à expliquer les faciès granulométriques hyper-paraboliques que nous avons retrouvés en plusieurs points de la fouille au sein des couches fossilifères. Il est parfaitement compatible avec une phase d'érosion assez forte qui survient peu après la mise en place des tufs.



Echantillon	Ponces	Tuf arrondi	Tuf semi sculpte	Tuf Sculpte
Coupe de « Dec 2011 »				
ZA - 1,58	109	26	30	52
ZA -1,85	60	26	27	56
ZA -1,90	90	24	118	48
ZA -2,05	42	23	45	115
ZA -2,1	51	61	23	44
ZA -2,2	13	11	14	16
Coupe de « Kl . Za = - 1,9 »				
	35	21	23	49
Coupe de « Section de Wiji »				
	11	13	25	59

Figure 134.
Proportion des graviers de tuf et des ponces sur la fouille PCTS et la coupe 'terrain de Wiji'

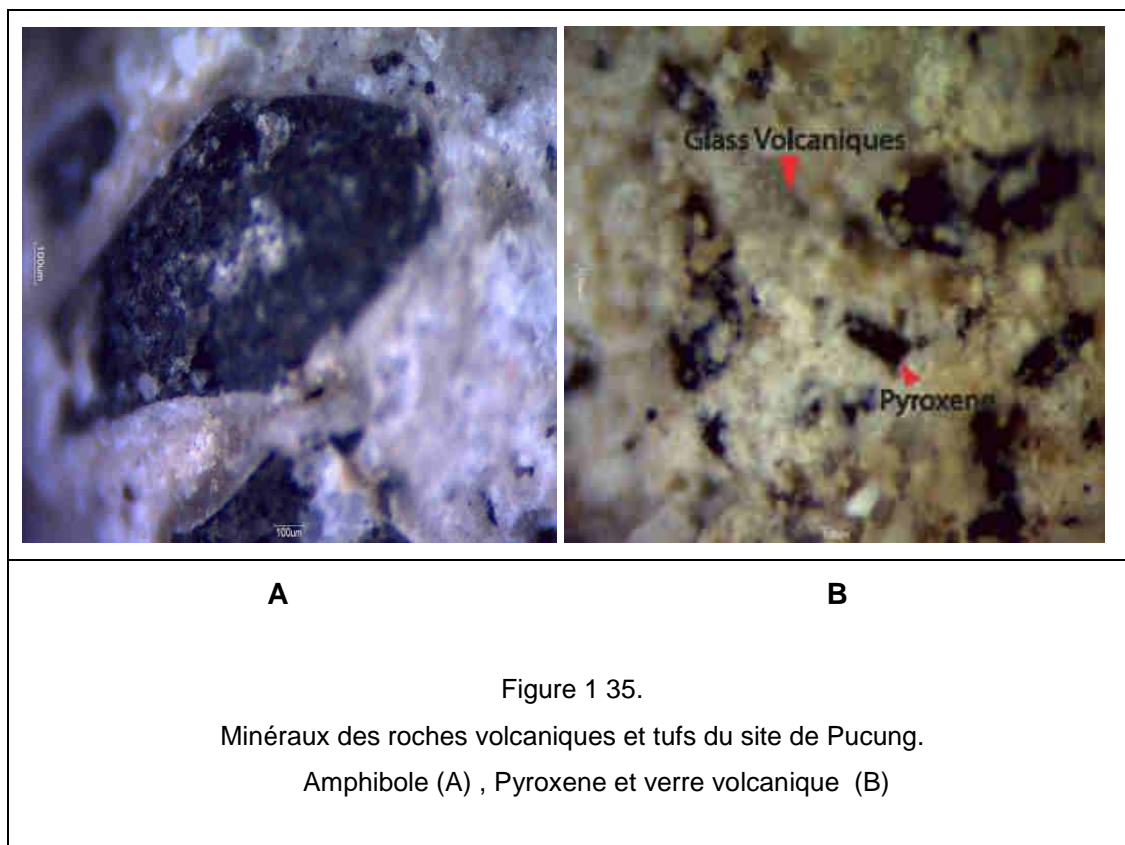
V.2.2. Les roches volcaniques et allochtones

V.2.2.1. Pétrographie des roches volcaniques

Quelques études sur lames minces observées en lumière naturelle et en lumière polarisée ont pu être réalisées avec le concours de C. Vaccaro sur des graviers volcaniques prélevés sur le site PCTS.

- 8 échantillons sur les 10 étudiés correspondent, par la distribution minéralogique des phénocristaux (amphiboles, pyroxènes, olivine, biotite) à un magma intermédiaire entre basalte et andésite (Figure 135)
- Les 2 autres échantillons étudiés correspondent à une roche plus acide (rhyolite) et à une trachy-dacite.

Cette première étude pétrographique a été complétée par celle d'une ponce, dans laquelle nous avons observé des amphiboles et plagioclases fracturés pris dans le verre volcanique.



V.2.2.2. Représentation des roches dans les sédiments

Cinq échantillons de la fouille PCTS ont été observés,

- Trois de la fouille de décembre 2012, à des cotes respectives de -1,58 m, -1,85 m et – 2,05 m.
- Un échantillon provient du sondage KI (cote -1,9 m), toujours dans les couches fossilifères.
- Le dernier échantillon provient des couches fossilifères de la coupe 'terrain Wiji'.

Le tableau de la Figure 136 montre :

Une dominance absolue des roches d'origine volcanique, et parmi elles des basaltes/andésites. Le nombre de graviers attribués à la trachyte est faible, sauf dans l'échantillon du sondage KI. Nous n'avons pas encore retrouvé dans les autres secteurs fouillés de lentille sédimentaire analogue présentant une proportion notable de trachyte et permettant une corrélation.

Seul un échantillon présente quelques graviers d'origine 'exotique' dont une calcédoine et trois graviers calcaires. L'origine peut être recherchée dans les montagnes du sud (calcédoine ou calcaire) ou les collines de Kendeng (calcaire). Ces graviers sont donc très rares. Leur présence peut être rapprochée de la découverte en fouille d'un moulage interne en calcite de pélécy-pode d'eau douce. Mais cette rareté est surtout à comparer avec la découverte de 8 « éclats de Sangiran » mentionnés au chapitre IV. Elle renforce l'hypothèse d'un lien direct de ces éclats avec le reste du matériel archéologique présent sur le site (et non d'un transport lointain).

L'échantillon prélevé dans les couches fossilifères de la coupe 'terrain de Wiji' ne diffère pas de ceux du site PCTS.

Coupe " Dec 2011 "	Basalt - Andesitique	Trachyte/ Dachyte	Calcédoine	Calcaire
ZA -1,58	7	2		
ZA - 1,85	126	4	1	3
ZA - 2,05	56	7		
KI (ZA -1,9)	111	27		
Coupe "Terrain Wiji"	56	3		

Figure 136.

Représentation des roches dans les sédiments du Site PCTS

V.2.3. Les couches sableuses

Nous avons réalisé l'observation au microscope d'un échantillon de la séquence sableuse épaisse à stratification entrecroisée figurant au centre de la coupe 'section 1' du site PCTS. L'ensemble des minéraux et éclats de verre (très nombreuses) apparaissent dans un état de fraîcheur remarquable (Figure 137).



Figure 137.

Vue microscopique des sables à stratification entrecroisée du site PCTS.

Cette observation va dans le sens de la conclusion des études granulométriques faites sur ces couches à faciès hyper-parabolique. Il est donc probable que la région de Pucung a été le siège du dépôt de véritables nuées ardentes provenant (du fait de la granulométrie assez grossière des dépôts) d'une source assez rapprochées.

Nous avons aussi débuté la recherche de cristaux de quartz bipyramidés de petite taille, d'origine volcanique, qui peuvent être utilisés dans le cadre de datations par résonance paramagnétique électronique (RPE, voir Chapitre VI). Ces derniers sont relativement rares le long du transect étudié, mais nous n'avons pu encore étudier tous les faciès.

A l'heure actuelle, des quartz de ce type ont été identifiés dans les couches fossilifères du site PCTS (sondage KI), mais présentent un certain poli de transport. Ils se retrouvent aussi dans la première couche sableuse qui affleure

au-dessus de la kali Pucung le long de la coupe 'chemin de Pucung', ces derniers étant beaucoup plus frais.

V.3. CHIMIE ET MINÉRALOGIE

V.3.1. Analyses chimiques

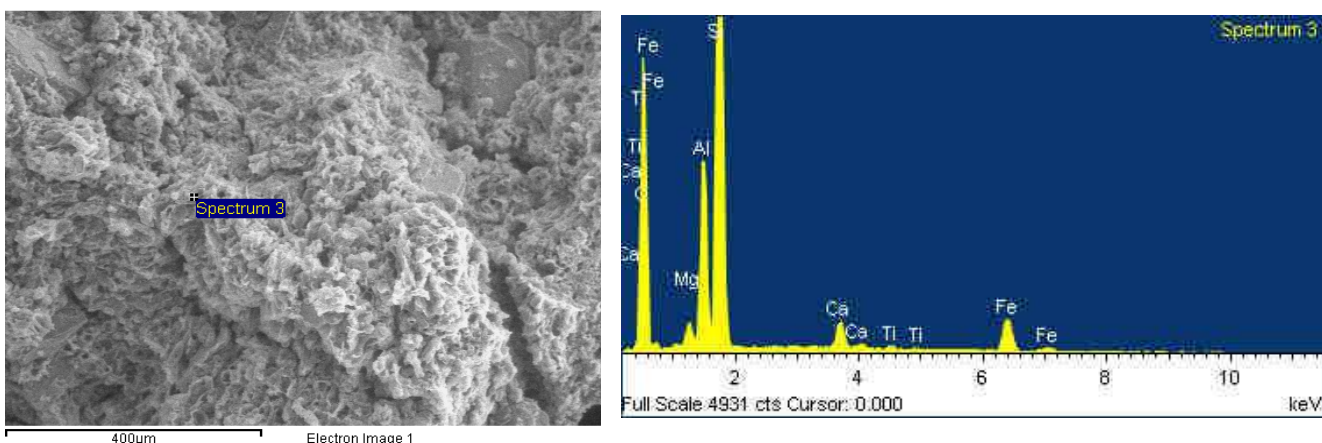
V.3.1.1. Analyse classique

10 échantillons de blocs de tuf du sondage KI de la fouille PCTS ont été analysés. Un échantillon de chaque bloc a d'abord été réduit en poudre, puis mêlé à du bromure de potassium puis pressé pour obtenir une pastille qui a été analysée.

Les résultats sont homogènes pour l'ensemble des blocs et font apparaître des taux de silice et d'alumine forts (respectivement de l'ordre de 60% et de 18%), ainsi qu'une teneur en fer élevée ($\text{Fe}_2\text{O}_3 > 10\%$). D'autres métaux (zinc et cuivre par exemple) sont présents de façon notable (Figure 138).

V.3.1.2. Analyse à la microsonde

Une analyse à la microsonde, illustrée sur la Figure 139, a été entreprise sur un fragment de tuf observé au microscope électronique. Elle confirme les résultats que nous venons de présenter.



Figures 138 - Vue au microscope électronique d'un bloc de tuf du sondage KI

Figure 139 – Analyse à la microsonde

V.3.2. Minéralogie par spectroscopie vibrationnelle infra-rouge

V.3.2.1. Méthode

La spectroscopie infrarouge est basée sur l'interaction entre la matière et une onde électromagnétique du domaine infrarouge. Ces radiations couvrent un domaine de longueurs d'ondes plus élevées que la lumière visible, entre 0,7 μm et 50 μm .

Les spectres infrarouges sont des enregistrements de la variation d'intensité du rayonnement après interaction avec l'échantillon en fonction de la fréquence des vibrations des liaisons atomiques. La fréquence est exprimée en nombre d'ondes par centimètre (cm^{-1}) et l'intensité du rayonnement en % d'énergie transmise. Le spectre d'une substance présente ainsi des minima de transmission qui correspondent aux bandes d'absorption.

La fréquence de chaque bande d'absorption constituant le spectre infrarouge d'une substance donnée est déterminé par un certain nombre de paramètres moléculaires : masses des atomes, longueur des liaisons, angles entre les liaisons.

Cette méthode permet de caractériser la plupart des corps cristallisés ou non et donne de la sorte accès à la caractérisation de matériaux présentant des mélanges de phases cristallisées et amorphes.

Les analyses ont été effectuées à l'aide d'un spectrophotomètre à transformées de Fourier TF Bruker Vector 22®, en analyse par transmission.

La méthode du pastillage dans le bromure de potassium (KBr) a été appliquée, le KBr étant utilisé en raison de sa transparence en infrarouge entre 400 cm^{-1} et 5000 cm^{-1} et pour sa capacité à se transformer en une pastille compacte sous l'effet de la pression.

V.3.2.2. Echantillonnage

Les échantillons étudiés sont des tufs argileux.

- 2 échantillons de comparaison provenant des argiles de Kalibeng supérieur et de Pucangan ont aussi été analysés, les mêmes que dans le cadre de l'étude granulométrique (cf. V.1.).

- Sur la coupe 'section 4', nous avons analysé 4 échantillons dans les séquences fines de la base (n° 1, 1 échantillon) et de la partie supérieure (n°4, 3 échantillons).
- Sur la coupe 'section 2' nous avons analysé 1 échantillon dans les tufs argileux de base.
- Sur la coupe 'terrain de Wiji', nous avons prélevé un échantillon dans les couches tufacées de base.
- 11 échantillons tufacés ont été analysés le long du transect de la rivière, qui correspond aux échantillons analysés dans le cadre de l'étude granulométrique (cf. V.1.)
- Sur la fouille du site PCTS, nous avons analysé un gravier de tuf et une ponce.

V.3.2.3. Résultats

L'interprétation des spectres implique de repérer des bandes d'absorption caractéristiques de composés ou de minéraux renseignant sur le contenu de l'échantillon.

L'ensemble des résultats sont recensés sur la Figure 1. Nous les analyserons ici du seul point de vue qualitatif, en nous concentrant sur les carbonates et les argiles

- **Carbonates**

Les argiles de Kalibeng et de Pucangan contiennent une fraction significative de carbonates. C'est aussi le cas pour les échantillons prélevés le long de la rivière dans la zone de Dayu (proche du Grenzbank), y compris la coupe 'section 4' .

Par contre, les échantillons de la coupe 'section 2', de la fouille du site PCTS et de la coupe 'terrain de Wiji' en sont dépourvus (Figure 140).

- **Argiles**

La proportion d'argiles apparaît plus importante vers la base du transect, où les pics sont comparables à ceux observés dans les échantillons de référence de Kalibeng et de Pucangan (Figure 141).

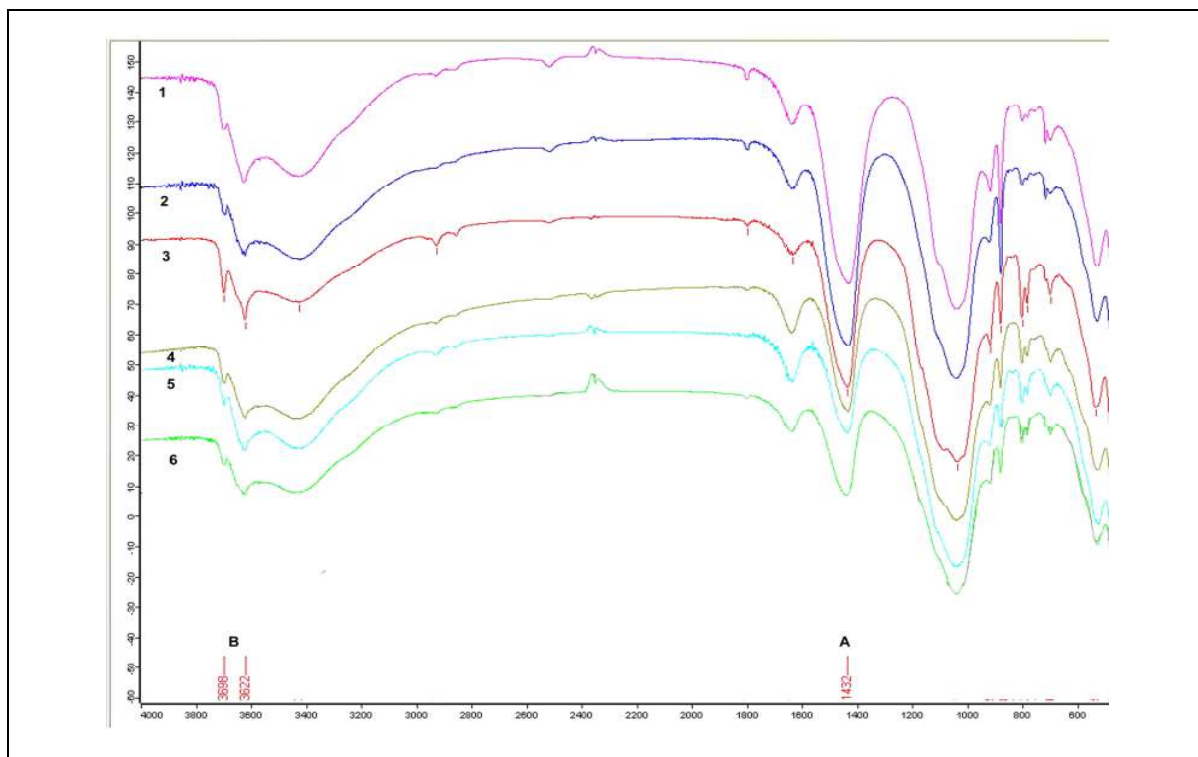


Figure 140.

Courbes de transmission infra rouge sur les échantillons carbonatés

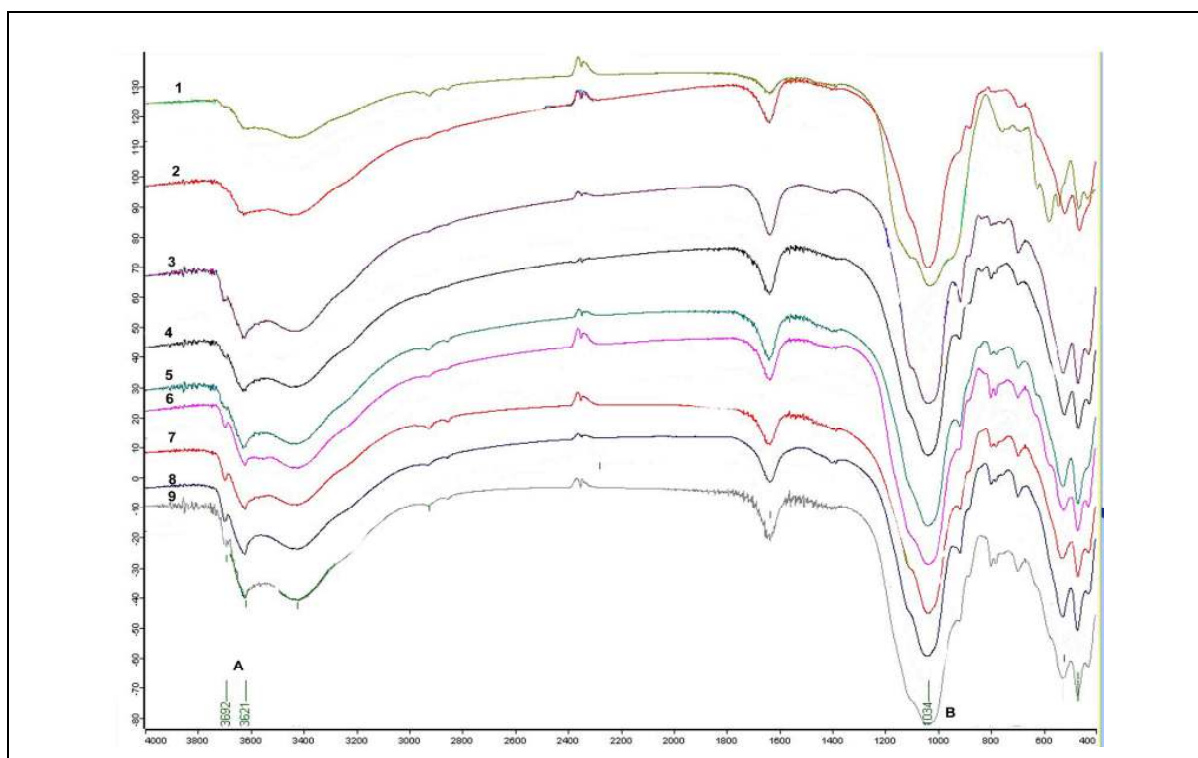


Figure 141.

Courbes de transmission infra rouge sur les échantillons non carbonatés

CHAPITRE VI

**La région de Dayu et Pucung
dans le dôme de Sangiran :
Géologie, Paléontologie, Anthropologie et
Archéologie préhistorique**

VI.1. LES PRINCIPAUX RÉSULTATS DE TERRAIN

VI.1.1. Une étude originale à compléter

Le document que nous présentons aujourd'hui nous apparaît, avec le faible recul dont nous disposons, au moins aussi riche de perspectives que de résultats.

En effet, chacune des données qu'il a pu apporter sur la partie étudiée du dôme de Sangiran ouvre de nombreuses perspectives, et par contrecoup fait apparaître des lacunes, tant en ce qui concerne le travail de terrain que la démarche analytique.

Cette observation était cependant aisée à prédire, puisque le sujet abordé apparaissait, autant aux yeux de nos encadrants qu'aux nôtres, comme novateur. Plusieurs travaux, tels que ceux de Watanabe et Kadar (1985) ont cherché à développer une démarche de corrélation stratigraphique au sein du dôme de Sangiran, mais cette dernière était basée sur la corrélation de coupes verticales issues de tranchées.

Notre approche, restreinte au transect Dayu-Pucung, recherche à la fois l'étude et la mise en relation stratigraphique de coupes verticales discrètes, mais aussi la description d'une dynamique régionale fondée sur l'observation d'une continuité stratigraphique que nous avons pu mettre en évidence le long de la kali Pucung.

Comme pour les chercheurs qui nous ont précédés, cette approche est rendue difficile par des conditions de terrain peu favorables. Elle est cependant apparue possible en concentrant les travaux de terrain durant la saison où les affleurements et la nature des couches stratigraphiques apparaissent le mieux.

VI.1.2. Les structures

VI.1.2.1. La pente SSE du dôme de Sangiran

L'érosion de la kali Pucung montre que la pente SSE du dôme de Sangiran est particulière. La rivière entame le dôme et suit la direction structurale, mais son incision, vue sur la carte géologique, ne permet pas de remonter très loin dans les couches de Pucangan. A l'autre extrémité du transect, les conditions dans lesquelles la kali Pucung rejoindra le cours de la kali Cemoro, là où la pente de la boutonnière tectonique s'ennoie sous les alluvions de la dépression de Solo, doivent encore être précisées.

Nous pouvons rappeler en cette occasion qu'aucun travail de fond n'a encore été entrepris sur cette zone extérieure du dôme de Sangiran, visant à préciser les limites des zones plissées et aussi à repérer les couches contemporaines de la formation du dôme. La recherche des contacts anormaux aux alentours de la confluence devrait permettre de repérer les couches qui pourront faire l'objet de datations et permettre de mieux situer chronologiquement l'époque de plissement du dôme de Sangiran.

VI.1.2.2. La mesure du pendage le long du transect étudié et sur le site PCTS

Les trois zones structurales que nous avons définies montrent bien que la nature des dépôts influe considérablement sur leurs propriétés mécaniques et donc sur leur réaction lors d'une sollicitation tectonique (Figure 142).

La méthode que nous avons choisie pour l'évaluation du pendage structural semble la plus appropriée au stade actuel des recherches. Elle demandera cependant à être consolidée par un nombre statistiquement plus représentatif de mesures sur le terrain, qui seules permettront de préciser l'estimation que nous avons utilisée (N 125 E) de l'azimuth du pendage structural. Ce dernier peut en effet légèrement varier le long d'un transect qui fait plus d'un km de long.

Les représentations tridimensionnelles qui s'avèrent aujourd'hui possible à l'échelle décamétrique sur le site de PCTS devraient permettre également de disposer, une fois l'effet de la morphologie des structures sédimentaires totalement prise en compte, d'une mesure structurale très précise pour cette zone particulière du transect.

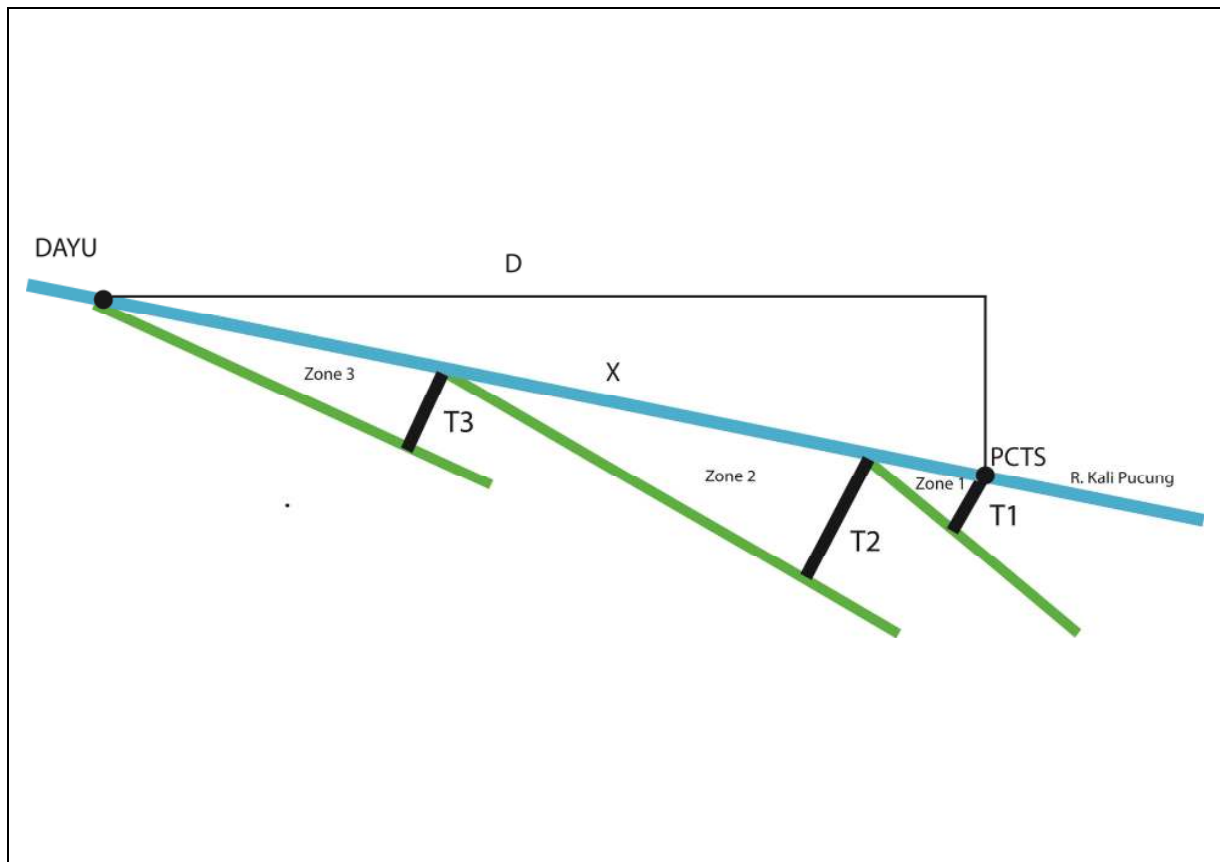


Figure 142.

Représentation structurale schématique du Transect Dayu-Pucung.

Les pendages représentés sont respectivement, Zone 1 = 7°, Zone 2 = 5°, Zone 3 = 7°

Les épaisseurs stratigraphiques sont évaluées en tenant compte :

- Au pendage de chaque zone
- De la pente moyenne de la rivière

D = Distance horizontale de Dayu – Pucung ; X = Distance de surface ; T (1,2,3) = épaisseur des zones (1. PCTS – Zone 2 ; 2. Zone 2 ; Zone 3 à Dayu)

VI.1.3. Position stratigraphique des sites et corrélations

L'ensemble représenté par les relevés topographiques et la carte structurale que nous avons présentés au chapitre III, ainsi que le log stratigraphique synthétique du transect représentent l'ébauche d'un outil de repérage précieux et inédit pour le quart SSE du dôme de Sangiran. Cet outil demandera bien entendu à être affiné par de nombreux relevés complémentaires (qu'il est conçu pour intégrer).

Il permet de placer, dans leur position stratigraphique relative, les différents sites liés aux études stratigraphiques et sédimentologiques ou aux découvertes faites dans la zone étudiée, parmi lesquelles celle du site PCTS que nous fouillons dans le cadre de la collaboration franco-indonésienne. Il permet de plus d'avoir une estimation de la puissance stratigraphique qui sépare ces derniers (Figure 143).

Cette localisation est capitale pour des sites tels que celui de la découverte du fossile humain Sangiran 17, ou encore des sites d'où proviennent les plus anciens éclats de Sangiran.

Elle est également importante pour intégrer des découvertes plus isolées, telles que les dents humaines décrites par Zanolli *et al.* (2012) : de tels fossiles sont souvent étudiés dans le cadre d'un contexte stratigraphique réduit au strict minimum, et simplement documentés comme provenant des couches de Kabuh.

Enfin, cet outil stratigraphique et structural doit permettre de guider les prospections paléontologiques et archéologiques, en permettant de calculer la position probable, dans la topographie, des horizons correspondant aux couches archéologiques.

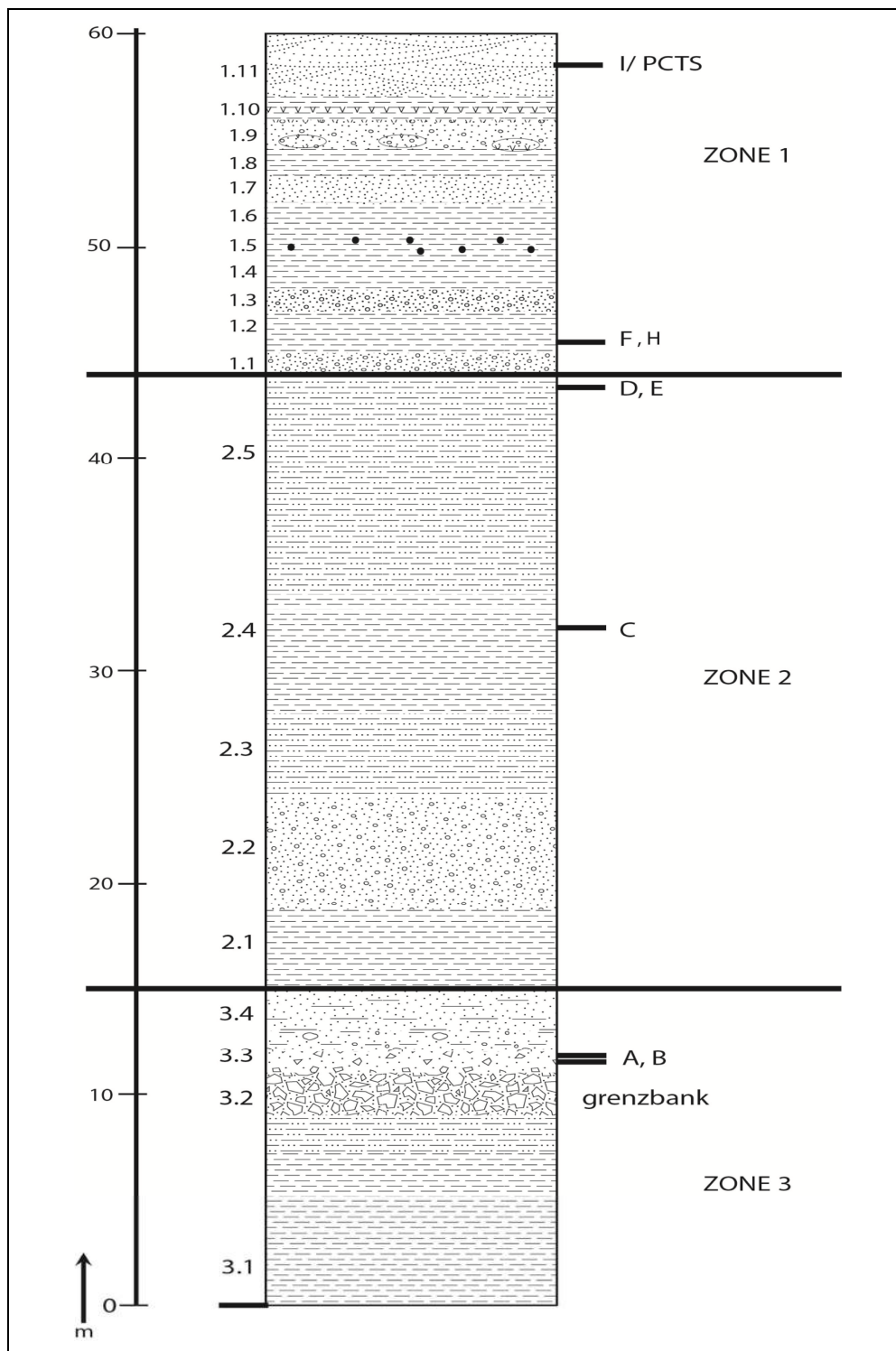


Figure 127.

Log synthétique de la stratigraphie du Transect Dayu-Pucung.

A et B = Les fouilles de H. Widiyanto à Dayu ; C = Tranchée d'observation de T. Simanjuntak ; D = Tranchées de l'équipe japonaise-indonésienne par Watanabe et Kadar ; E := Le fossile S17 ; F= Contact de Paleosol et de decouvert de fossil bovidé par Brasseur, I = site du PCTS ; H = Dent de Pucung étudié par Zanolli (2011)

VI.2. LA DYNAMIQUE DES DÉPÔTS

Les données collectées par l'observation de terrain et par les premières analyses ouvrent des perspectives sur l'histoire du quadrant SSE du dôme de Sangiran à la fin du Pléistocène inférieur et au début du Pléistocène moyen.

VI.2.1. Une perspective paléoclimatique restreinte

La dynamique sédimentaire apparaît, avant toute chose, soumise à l'histoire géotectonique de la région. Les différences constatées entre les phénomènes de dépôt et d'érosion, les changements de faciès, ne peuvent, au stade actuel, être reliés aux grands changements climatiques qui se sont produits entre 900 et 800 ka. La seule piste qu'il sera possible de suivre dans cette direction est celle de l'étude des quelques horizons qui ont, à l'évidence, subi une pédogénèse (par exemple à la base de la coupe 'chemin de Pucung').

VI.2.2. Un Grenzbank aux faciès contrastés

Ainsi, la partie du transect qui comprend les dernières couches des séries de Pucangan et la zone du Grenzbank montre une dynamique alluviale très active et contrastée, tant en ce qui concerne les blocs de conglomérats eux-mêmes que les faciès plus fins qui peuvent témoigner du dépôt de produits d'érosion par simple ruissellement. Le contraste est souligné par celui constaté dans la granulométrie même du Grenzbank lorsqu'il est cimenté, par l'aspect discontinu des couches (il s'agit surtout de 'poches' cimentées plutôt que de bancs continus) et par l'irrégularité de la cimentation (allant de véritables blocs indurés à des sables dont le ciment est peu cohérent).

VI.2.3. Un volcanisme omniprésent

Le volcanisme est omniprésent dans la zone étudiée : nous ne trouvons pas de véritables dépôts argileux, mais plutôt des tufs et des cendres très compactés, dont les couches, souvent adjacentes, ne sont séparées la plupart du temps que par des contacts érosifs réduits. Les tufs eux-mêmes ont pu se déposer à l'état 'chaud', comme semblent en témoigner les réseaux de tubulures hydrothermales qu'ils contiennent. Certaines séquences à stratification entrecroisée ne reflètent

pas un simple dépôt alluvial, mais s'apparentent à de véritables nuées ardentes. Nous avons noté, vers la base de la zone structurale 1 (la plus récente, cf. localité de la coupe 'terrain de Wiji') la présence de ponces de grande taille non altérées et même celle de tectites reprises par les éruptions et déposées à l'état d'éclats de verre (Figure 71 et 72).

Il apparaît évident que des études complémentaires devront contribuer à préciser les conditions de mise en place des effluents volcaniques que nous avons commencé à décrire. Les observations microscopiques effectuées dans la coupe 'section 1' du site PCTS sont parlantes et vont dans le sens d'un dépôt volcanique primaire. Nous devons les multiplier et aussi les associer à une étude exoscopique des grains.

Deux hypothèses s'offrent à nous dans le cadre de l'interprétation de ces dépôts volcaniques.

- L'hypothèse 'synchronique' qui revient à constater une influence des éruptions volcaniques beaucoup plus importante dans le quadrant SSE du dôme de Sangiran que dans la partie diamétralement opposée de Ngebung,
- L'hypothèse 'diachronique' qui rejoindrait celle des datations anciennes (pour lesquelles nous avons émis des réserves importantes) publiées par Bettis et al (2009) et qui revient à affirmer qu'il existe « deux » séries de Kabuh (voire du Grenzbank) à Sangiran, différenciant ainsi du point de vue chronologique les zones géographiques de la sédimentation. Il est évident qu'une telle hypothèse demande à être étayée non seulement par de nouvelles datations (cf. plus loin, perspectives) mais aussi par la collecte de fossiles représentant réellement une phase plus ancienne du point de vue paléobiogéographique.

VI.2.4. Les sols d'occupation humaine

Les données mentionnées ci-dessus fournissent un nouvel éclairage sur le contenu archéologique des couches de Kabuh à Pucung, et sur le site PCTS lui-même.

Nous pouvons, dans le cadre de cette étude, nous interroger sur la conservation possible (hormis au sommet des rares paléosols) des sols d'occupation liés aux *Homo erectus*. Il semble au contraire que ces derniers aient été régulièrement détruits par les éruptions volcaniques, lesquelles ont entraîné leur érosion quasi-immédiate. Dans le cadre de cette hypothèse, le site PCTS représenterait le type même de dépôt archéologique perturbé que l'on peut espérer retrouver dans le quadrant SSE du dôme de Sangiran. Le sol a été érodé par un courant assez fort, mais qui n'a entraîné les objets que sur une faible distance. L'irrégularité du lit des cours d'eau temporaire a impliqué la formation de trous, qui explique le faible transport et aussi la 'sculpture' des galets de tuf dont la taphonomie est comparable à celle des objets archéologiques : certains ossements très fragiles sont retrouvés presque intacts, mêlés à des pièces plus transportées.

VI.3. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Il est difficile de dire que nous sommes arrivés « *au terme* » de ce travail sur la partie SSE du dôme de Sangiran, et nous préférons utiliser le terme de « *point d'étape* ».

Ces années passées dans le dôme de Sangiran ont été riches, et ouvrent de nombreuses perspectives. Elles nous ont permis d'appréhender un terrain difficile, d'apprendre à démêler quelques fils d'une histoire complexe dans laquelle nos prédécesseurs ne se sont plongés qu'en partie : c'est sans doute ici que réside l'aspect le plus passionnant de notre expérience.

VI.3.1. Perspectives de recherche

Au long de ce mémoire, nous avons insisté sur le besoin de poursuivre, d'approfondir, et de détailler l'approche que nous avons entreprise. Mais nous avons aussi pu apporter des résultats concrets et des éléments de méthode qui nous semblent potentiellement utiles pour l'avenir des recherches et de la valorisation du site.

- La mise en place d'un outil de repérage nouveau, dont l'utilité en termes de compréhension de l'histoire structurale du dôme de Sangiran et de corrélation des sites (souvent célèbres) est claire.
- La découverte d'horizons archéologiques qui ouvrent des perspectives importantes en ce qui concerne le comportement des *Homo erectus* du tout début du Pléistocène moyen à Sangiran. Il est particulièrement passionnant ici de constater les différences significatives que le site de PCTS présente lorsqu'on le compare, par exemple, au site de Ngebung.
- La description synthétique de l'histoire des environnements dans la zone étudiée, entre la fin du dépôt des couches de Pucangan et les séries de Kabuh : nous progressons vers une meilleure approche de cette histoire, notamment en ce qui concerne l'influence du volcanisme, très forte dans la région de Pucung, la localisation précise dans la série stratigraphique des

événements de pédogénèse, et le processus de mise en place –mais aussi de destruction et de redéposition des sols d'occupation de l'*Homo erectus*.

Les perspectives concernant la recherche scientifique sont nombreuses, et vont au-delà de la poursuite, indispensable, de la fouille du site PCTS dont nous avons décrit tout le potentiel et que nous allons poursuivre. Elles comprennent notamment la participation à un programme d'analyses que nous ne prétendons pas réaliser directement, mais à l'orientation duquel nous souhaitons participer. L'expérience acquise en Europe, bien que de portée limitée, nous a en effet ouvert des perspectives à ce niveau. Ce programme pourra être fondé sur :

- **Les datations**, indispensables du fait des débats qui accordent aux couches de Kabuh des âges peut-être différents selon les zones du dôme de Sangiran.

(1) Une étude paléomagnétique continue du transect Dayu-Pucung, étude qui apparaît potentiellement féconde du fait de la qualité de la conservation des effluents volcaniques (riches en titanomagnétites), de la granulométrie assez fine de la majeure partie des couches rencontrées, et de la relative continuité des dépôts.

(2) La datation par résonance paramagnétique électronique de certaines couches contenant des quartz bipyramidés fins d'origine volcanique, non altérés ou perturbés par la présence d'oxydes ; par la méthode combinée des séries de l'uranium et de la RPE de l'émail dentaire d'herbivores.

(3) La datation par les méthodes à l'argon de ponces et de grains minéraux potassiques prélevés dans les couches de cendres et de tufs les moins altérées.

- La poursuite, en collaboration avec les chercheurs ayant développé ces approches, de **l'étude paléopédologique**. Nous avons en effet identifié certaines zones ayant subi une pédogénèse au sein du transect étudié, notamment à la base de la coupe 'chemin de Pucung'. Il s'agit ici, comme nous l'avons dit, d'une des rares méthodes qui pourra aider à la reconstitution des paléoclimats dans cette zone, a priori peu favorable, du dôme de Sangiran. D'autre part, il est capital de tenter de reconnaître, dans les couches d'érosion fluviale qui surmontent les couches de tufs compactés, voire entre ces derniers, les traces du démantèlement de sols.

- Le développement d'études permettant de mieux **caractériser les effluents volcaniques**. Le transect Dayu-Pucung a été très influencé par l'activité des volcans, et nous avons vu que les effluents primaires y étaient très abondants, par comparaison avec d'autres sites du dôme de Sangiran, sans doute plus éloignés des sources. Exoscopie, géochimie et pétrographie devront être développées en collaboration avec des spécialistes.

VI.3.2. Contribution au développement du site de Sangiran

Le dôme de Sangiran a été inscrit sur la liste du Patrimoine Mondial en 1996. Depuis 2008, le Gouvernement Indonésien a réalisé un investissement très important pour le développement du site. Ce programme (Figure 144) inclut non seulement le musée construit à Krikilan, avec toutes les structures de conservation et les laboratoires associés, mais aussi le développement de trois autres centres de visite (avec petits musées) à Ngebung, Bukuran et Dayu.

Ces centres locaux ont pour objectif de mettre l'accent sur des aspects particuliers relatifs à la valeur universelle du site (histoire des découvertes, paléoanthropologie, comportements des Hommes préhistoriques) et ainsi de contribuer à son interprétation auprès de toutes les catégories de visiteurs. Il s'agit d'une initiative très ambitieuse, et il est évident qu'elle doit mobiliser l'information scientifique qui pourra être mise à disposition par les programmes de recherche développés à Sangiran.

Notre étude, ainsi que le programme qui lui est associé, sont susceptibles de contribuer de façon significative à cette entreprise pour ce qui concerne le 'cluster' prévu à Dayu, où la construction du musée de site a déjà débuté.

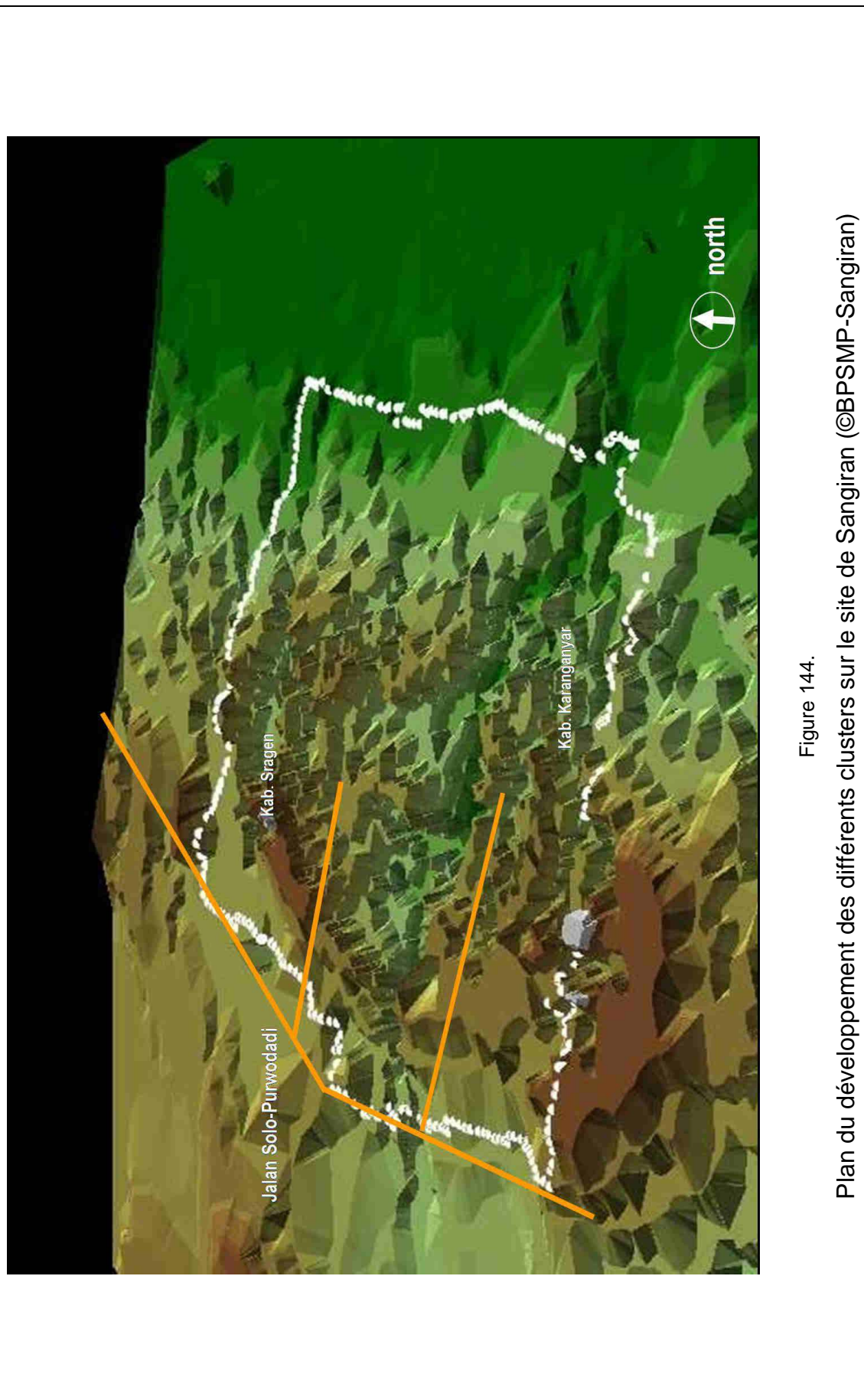


Figure 144.
Plan du développement des différents clusters sur le site de Sangiran (©BPSMP-Sangiran)

VI.3.2.1. Muséographie de base

Les découvertes faites le long du transect Dayu-Pucung sont nombreuses, et fournissent un matériel paléanthropologique, paléontologique et préhistorique abondant qui soulignera l'importance de cette zone et qu'il n'est pas besoin de décrire à nouveau ici.

L'intérêt diachronique du transect peut être mis en avant, puisque différentes périodes d'occupation du quadrant SSE du dôme de Sangiran seront représentées.

Le musée peut ainsi jouer pleinement son rôle de complément de la structure muséographique centrale de Krikilan, en décrivant l'intérêt, à l'échelle de la préhistoire eurasiatique, des découvertes faites dans le quadrant SSE du dôme de Sangiran. Diffusion de la tradition acheuléenne vers les archipels, migrations des faunes de mammifères continentaux selon la route siva-malaise, changements climatiques à l'aube du Pléistocène moyen, extension des territoires de l'*Homo erectus* à cette époque (déterminée entre autres par les gîtes de matière première) sont les mots-clés d'une telle présentation.

VI.3.2.2. Stratigraphie, paléoenvironnements et géologie structurale

Parler de stratigraphie, de reconstitutions paléoenvironnementales ou encore de géologie structurale représente un enjeu dans un musée de site destiné à tous les publics. Cependant, la chose apparaît a priori possible à Dayu.

En effet, le cluster de Dayu voit son musée construit sur la coupe même où ont été découverts les plus anciens éclats de Sangiran, et mettra immédiatement le visiteur en situation en lui permettant d'observer les couches stratigraphiques liées à la fin de la période de Pucangan et au début de la zone du Grenzbank.

La dynamique décrite le long du transect Dayu-Pucung peut donc aisément y être illustrée en complément, en insistant sur son développement chronostratigraphique et sur les principaux phénomènes naturels que nous avons analysés et qui ont conditionné la vie quotidienne des *Homo erectus* à la fin du Pléistocène inférieur et au début du Pléistocène moyen.

L'outil cartographique que nous avons commencé à construire est susceptible d'aider à décrire, dans un langage illustré et simple, l'histoire tectonique du dôme de Sangiran telle qu'elle est révélée par le cours de la kali Pucung.

VI.3.2.3. Le visiteur devient géologue et préhistorien

La préhistoire, nos origines, représentent un élément attractif pour tous les publics, quelque soit le niveau d'éducation ou l'origine culturelle. Le succès rencontré, sur certains sites célèbres, par les animations et ateliers en est l'une des preuves les plus claires.

La zone de Dayu est privilégiée à cet égard, et peut permettre au visiteur d'entrer en contact direct avec le terrain, après avoir eu le premier contact avec la coupe stratigraphique sur laquelle le musée de Dayu est construit.

En effet, un cheminement doit être construit depuis les affleurements des couches de Kabuh les plus hautes qui dominent la construction du musée de site jusqu'à ce dernier (Figure 145). Il apparaît indispensable que nous puissions suivre ces travaux, et contribuer à la protection, à la mise en valeur et à l'étude des coupes stratigraphiques qui seront dégagées par paliers le long d'un dénivelé de plus de 50 m.

De là, un ensemble de cheminements pour amateurs peut être mis en place le long de la rivière Pucung. Un aménagement simple des sentiers qui la bordent peuvent permettre de partager la connaissance avec les visiteurs le long d'un circuit de temps raisonnable, comprenant les sites, les aspects diachroniques présentés dans le musée, et aussi certains points de vue géologiquement parlants.

Les perspectives ouvertes par un tel projet, s'il peut se réaliser, sont importantes. Il peut en effet apporter une contribution à l'activité de nos amis, habitants des hameaux avoisinants, qui depuis longtemps participent aux prospections et aux fouilles. Ils pourront renforcer, mettre à jour, partager la connaissance des sites qu'ils ont acquis lors des campagnes. Ils pourront partager aussi en ces occasions une part de leur vie, de la terre qui les nourrit, de leur histoire et de leurs traditions. Ceci répond certainement à leur souhait, dont nous avons acquis la conviction, de participer activement à la protection, à la mise en valeur de leur patrimoine. Les

Chapitre VI : La région de Dayu et Pucung dans le dôme de Sangiran : géologie, paléontologie, anthropologie et archéologie préhistorique

aider à le réaliser sera certainement l'une des tâches les plus passionnantes durant notre travail à venir.

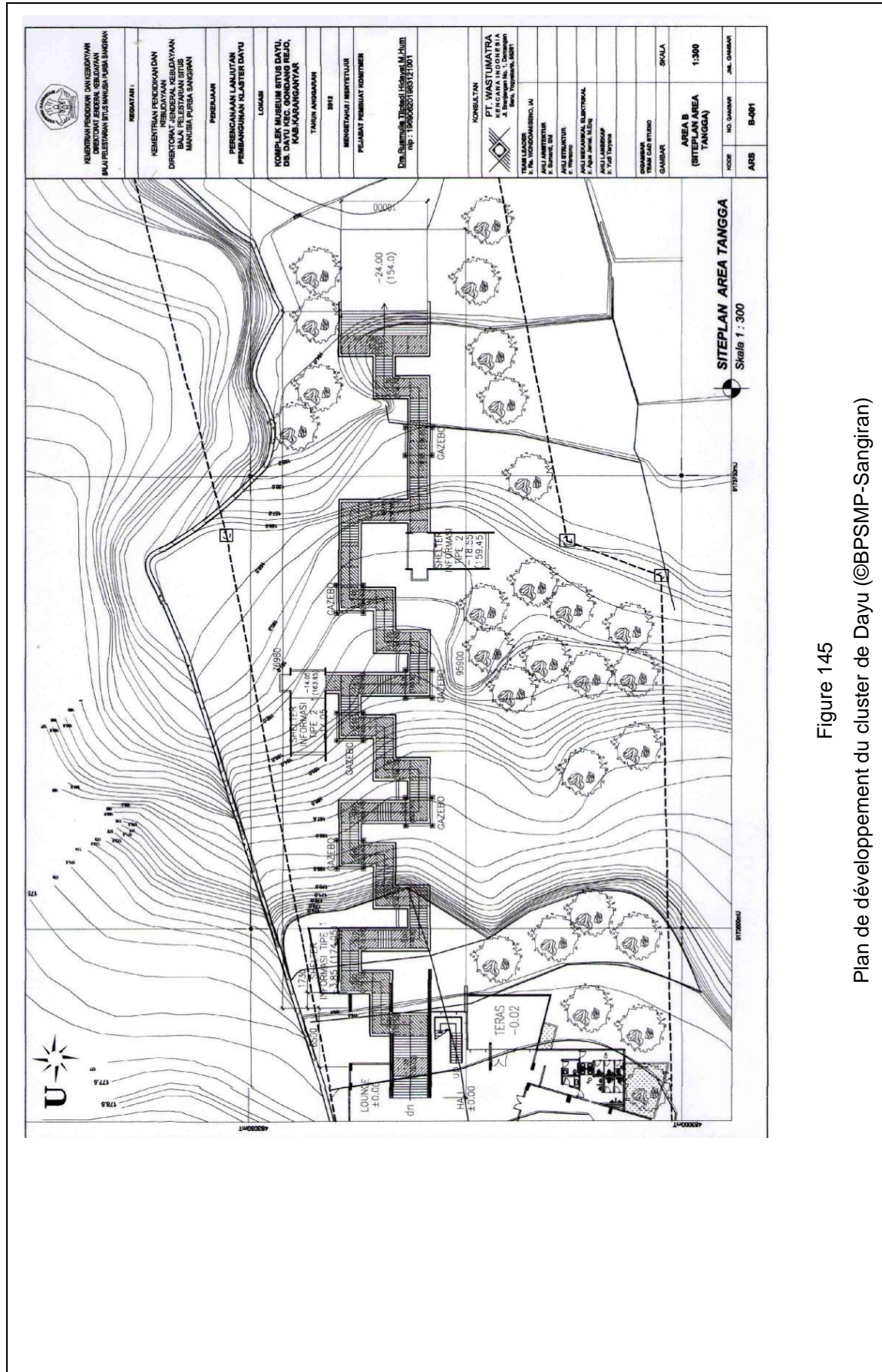


Figure 145
Plan de développement du cluster de Dayu (©BPSMP-Sangiran)

LIST DE FIGURES ET TABLES

CHAPITRE I : Introduction

Figure 01.	Carte physiographique de Java d'après van Bemmelen (1949) et modifiée par Sémah (1986a)..	5
Figure 02.	Dôme de Sangiran et sa succession stratigraphique (Semah 2010)	6
Figure 03.	Groupe d'groupes d' <i>Homo erectus</i> (D'après Widiyanto, 2011).	9
Figure 04.	Des ossements associés aux outils lithiques (niveau A) (Semah <i>et al.</i> 1992 ; Moigne <i>et al.</i> 2004)	11
Figure 05.	Bois, <i>Axis lydekkeri ngebungensis n.ssp.</i> (Moigne <i>et al.</i> 2004)	11
Figure 06.	Eclats de Sangiran (van Heekeren, 1972, p. 247)	13
Figure 07.	Eclats des Dayu (Widiyanto et Simanjuntak <i>et al.</i> 2011)	13

CHAPITRE II : L'Histoire des premiers peuplements insulaires au croisement du volcanisme, de la tectonique, du climat et des paysages

Figure 08.	Carte géographique Asie du Sud-est	23
Figure 09.	Limites biogéographiques et lignes de côtes lors de différentes régressions marines	24
Figure 10.	Subduction de la plaque Australie/Océan Indien sous la plaque asiatique	26
Figure 11.	Fluctuations du niveau marin dans le sud-est asiatique pendant le Pléistocène,	29
Figure 12.	Plateau de Sunda au dernier maximum glaciaire (LGM), montrant la distribution moderne de la terre en gris foncé et les terres supplémentaires exposés au cours de la LGM en gris clair (Bird <i>et al.</i> 2005 ; adapté de Voris, 2000). La limite nord de Plateau définie par la latitude 91N représenté par une ligne pointillée. L : Lac, 1. La Rivière Sunda Sud, 2. La Rivière Sunda Nord, 3. La Rivière Siam et 4. La Rivière Malacca.	31
Figure 13.	Répartition des dépôts en fonction de leur âge géologique sur l'île de Java	33
Figure 14.	Volcans majeurs de l'Indonésie, avec des éruptions depuis 1900 AD	37
Figure 15.	Carte de Volcan de Quarternaire de Java	38
Figure 16.	Le climat actuel de l'île de Java – a. Couvert végétal, b. pluviométrie à Java (en mm par an), Sumatra et Bornéo, et c. sécheresse à Java (en nombre de mois par an) ; ; (Ingicco, 2010 d'près Fontanel et Chantefort, 1978	40
Figure 17.	La végétation de l'île de Java (d'après Sémah A-M., 1986, et Whitten T. <i>et al.</i> , 1996, réédition 2000)	42
Figure 18.	Diagramme pollinique simplifié des séries de Kalibeng et de Pucangan de Sangiran. (A : argiles bleues ; B : calcaire à Balanes ; C : argiles noires ; c1 : brèche volcanique ; c2 : diatomites ; c3 : tuf ; 1 : mangrove ; 2 :	44

	forêt de marais ; 3 : Cyperaceae ; 4 : forêt humide ; 5 : forêt ouverte ; 6 : Poaceae ; 7 : AP (arboreal pollen) ; 8 : NAP (non arboreal pollen))	
Figure 19.	Corrélation de coupes stratigraphiques de sites à Java et la migration des mammifères fossiles pendant des MIS 19 à 22. Modifié d'après Sémah (2010)	45
Figure 20.	Migration des mammifères fossiles (A) et cadre biostratigraphique des faunes javanais (B)	49
Figure 21.	Contexte de la dépression de Solo	52
Figure 22.	Coupe structurale schématisée de la Collines de Kendeng	53
Figure 23	Carte des principaux sites paléontologiques de Java	55
Figure 24.	Mille Collines (Gunung Sewu en javanais), sud de la ville de Solo et près de la ville de Pacitan (©Semenanjung 2011)	58
Figure 25.	Schème Tectonogram d' l'effondrement volcanotectonic d'ancien Lawu à la fin de la période du Notopuro (Watanabe et Kadar, 1985 après van Bemmelen, 1949)	61
Figure 26.	Représentation schématisée des donnés paléogéographiques près de Sangiran(1. Sangiran, 2. Simo, 3. Gemolong, 4. Soko, 5. Barong, et 6. Bringinan) (Djubiantono, 1992)	64
Figure 27.	Structure du dôme de Sangiran (D'après van Es 1931)	67
Figure 28.	Dépôt d'argiles noires du Pucangan en Bukuran	72
Figure 29.	Grenzbank, le bloc du « banc-limite » au Dayu	72
Figure 30.	Dépôt volcano-sédimentaires de Kabuh au Pucung	73
Figure 31.	Des fossiles anthropologiques du Pléistocène inférieur et moyen	76
Figure 32.	Bola de Ngebung (dessin par Dayat Hidayat pour Semenanjung)	78
Figure 33.	Bola de Ngebung (dessin par Dayat Hidayat pour Semenanjung)	78
 CHAPITRE III : La zone étudiée : Le transect Dayu – Pucung		
Figure 34	<i>Grenzbank</i> de Ngebung (©Semenanjung 2005)	84
Figure 35	Dépôt des fossiles de <i>Corbicula</i> (©Semenanjung 2011)	86
Figure 36	<i>Grenzbank</i> préfigurant les alluvions de Kabuh (©Semenanjung 2011)	86
Figure 37	Pucangan supérieure érodée (©Semenanjung 2011)	87
Figure 38	Couche argileuse compactée (©Semenanjung 2011)	89
Figure 39.	Situation de la Kali Pucung (©Semenanjung 2011)	93
Figure 40.	Localité de la rivière Kali Pucung	94
Figure 41.	Coupe des les fouilles de la Harry Widiyanto (Widiyanto, 2001 : 160)	96
Figure 42.	Image virtuelle de crâne Sangiran 17	98
Figure 43.	Bola trouvée en surface au site de PCTS (©Semenanjung 2011)	100
Figure 44.	Situation générale de terrain de transect Dayu-Pucung (©Semenanjung 2011)	104
Figure 45.	Glissement de niveau Kabuh à la region de Pucung	105
Figure 46.	Feuille SB 49-15 de l'armée US	107

Figure 47.	Carte du site du Patrimoine Mondial Sangiran (©BPSMP Sangiran 2012)	109
Figure 48.	Carte géologiques de Sangiran (par von Koenigswald, 1940)	111
Figure 49.	Carte géologiques de Sangiran (par Watanabe et Kadar, 1985)	112
Figure 50.	Feuille officielle de Salatiga	113
Figure 51.	Cartographiques online de GoogleEarth®	115
Figure 52.	Mesure du pendage basé l'échelle de la couche	119
Figure 53.	Mesure du pendage basé l'échelle plurimétrique	119
Figure 54.	Représentation 3D. A. Carte du dôme de Sangiran; B. Profil topographique zone de Pucung (A) à Ngebung (A').	122
Figure 55.	Carte topographique 3D du transect Dayu-Pucung	124
Figure 56.	Profil en vue panoramique 3D du site PCTS sous trois angles différents	126
Figure 57.	Carte 3D topographique du site PCTS	127
Figure 58.	Carte topographique Dayu-PCTS de fond de travail version nue	129
Figure 59.	Carte topographique Dayu-PCTS de fond de travail avec points remarquables	129
Figure 60.	Schéma de la mesure du pendage de la Transect Dayu-Pucung en échelle de la Kali Pucung ; A. Utilisation de la direction de la Kali Pucung (N125E) pour définir l'orientation du pendage, B. Utilisation de diverse points d'altitude de Dayu à Pucung pour estimer l'angle du pendage	131
Figure 61.	Schéma du plan structural théorique ; A. Horizontal du pendage (perpendiculaire à l'ongle d'orientation du pendage), B. L'angle de la direction du pendage. H : angle que fait l'horizontale du plan avec nord, D : angle du pendage vers le sud (ver le bas)	132
Figure 62.	Résultats calcules des pendages	134
Figure 63.	Différents zones des pendages du transect Dayu-Pucung	135
Figure 64.	La série du Transect stratigraphique Dayu – Pucung PCTS	138

CHAPITRE IV : Les faciès sédimentaire : Choix, relevé et observation des coupes stratigraphiques étudiées et des sites fouillés

Figure 65	Localisation des coupes relevée – La coupe 'Section 4'	144
Figure 66	La coupe 'section 4'	145
Figure 67	Stratigraphie de la coupe de 'Chemin de Pucung'	148
Figure 68	La coupe 'Section II' – 1. argileux clairs ; 2. sables grossiers; 3. Sable oxydés ; 4. argilo-sableuse; 6. sableuse grossière ; 7. sables grossiers 8. sables grossiers ; 9. nouvelle série sableuse ; 10. sable fins ; 11. sables grossiers et graviers ; 12. sables moyenne ; 13. sables plus grossiers ; 15. sables moyens de couleur	151

	verdâtre; 16. sables de granulométrie moyenne.	
Figure 69	Stratigraphie de la coupe « Terrain de Wiji »	153
Figure 70	Gravier argileux de « Terrain de Wiji »	154
Figure 71	ponce non altérées de « Terrain de Wiji »	154
Figure 72	Tectite de « Terrain de Wiji »	154
Figure 73	Plan de la fouille de PCTS	157
Figure 74	Protection sur le berger de la rivière	158
Figure 75	Protection sur les couches de la fouille	158
Figure 76	La coupe de 'Section I'	160
Figure 77	Bolas du sondage KI	162
Figure 78	L'accumulation combinée de restes fossiles, archéologiques et de blocs de tufs	163
Figure 79	Sondages du KII. A: Section sud; B: Section nord	164
Figure 80	Dents du sondage KII	165
Figure 81	Crâne de bovidé (<i>Bubalus paleokerabau</i>)	167
Figure 82	Micro-bola en quartzite	167
Figure 83	Surface de sondage janvier 2011	168
Figure 84	La section Perpendiculaire avec la partie de la fouille 2011	169
Figure 85	Couche basales grossiers et tufs de deuxième coup du sondage de janvier 2011	170
Figure 86	Structure entrecroisée de sondage janvier 2011	171
Figure 87	Longue côte d'une mammifère (bovidé ou proboscidién)	173
Figure 88	Humérus du bovide	173
Figure 89	Profil sud de la Fouille PCTS (Block A)	174
Figure 90	Profile nord de la Fouille PCTS	175
Figure 91	Corrélation des coupes de la fouille PCTS	177
Figure 92	Répartition en plan XY Total KI	179
Figure 93	Répartition en plan XY Total KII	179
Figure 94	Répartition en plan XY insitu janvier 2011 : 1 = micro-bola ; 2 = bola ; 3 = bola ; 4 = éclat ; 5 = crane du bovidé	180
Figure 95	Répartition en plan XY insitu décembre 2011 : 1 =bola ; 2=dent humaine	180
Figure 96	Concentration des blocs de tuf de sondage KI	181
Figure 97	Profile du pendage KI	183
Figure 98	Répartition en verticale XZ de sondage KI	184
Figure 99	Répartition en verticale YZ de sondage KI	184
Figure 100	Répartition en verticale XZ de sondage KII	186
Figure 101	Répartition en verticale YZ de sondage KII	186
Figure 102	Répartition en verticale XZ de sondage janvier 2011	188
Figure 103	Répartition en verticale YZ de sondage Janvier 2011	188
Figure 104	Répartition en verticale XZ de sondage Décembre 2011	190
Figure 105	Répartition en verticale YZ de sondage Décembre 2011	190
Figure 106	Répartition en verticale XZ de sondage Décembre 2011 en fonction de position stratigraphique	191
Figure 107	List des fossiles de la faune du site PCTS	193
Figure 108	Fragmente tibia <i>Sus Subur</i>	193
Figure 109	Répartition des ossements en fonction de leur degré d'altération	195
Figure 110	Dents du sondage décembre 2011	195
Figure 111	Bola trouvée en surface	198
Figure 112	Bola découvertes en fouille du sondage KI	198

Figure 113	Bola découvertes en fouille du sondage janvier 2011.	198
Figure 114	8 « éclats de Sangiran »	198
CHAPITRE V : Les analyses effectuées		
Figure 115.	Courbe granulométrique ; a = courbe cumulative. b= courbe en fréquence. Md = médiane. Q1 = premier quartile. Q3 = troisième quartile. Echelle en log	202
Figure 116	Relation entre la forme de la courbe granulométrique cumulative et l'indice Nt (d'après Rivière, 1977). a = courbe et faciès parabolique(Nt >0) ; b = faciès sub-logarithmique (Nt = 0) ; c = courbe et faciès hyperbolique (Nt<0)	203
Figure 117	Courbes granulométrique cumulative des échantillons au transect argilo-tufacées Dayu Pucung	205
Figure 118	Classement dynamique en Fonction de X et l'indice NT des prélèvements argilo – tufacés. N= Indice Total Granulométrie. X = Moyenne en Log	206
Figure 119.	Coupe granulométrique cumulative des prélèvements de la « Section IV »	208
Figure 120	Classement dynamique en Fonction de X et l'indice NT de la coupe des « Section IV » N= Indice Total Granulométrie. X = Moyenne en Log	209
Figure 121	Valeur de So et Sk des coupes « section II »	210
Figure 122	Classement dynamique en Fonction de X et l'indice NT de la coupe des « Section II » N= Indice Total Granulométrie. X = Moyenne en Log	210
Figure 123	Coupe granulométrique cumulative des prélèvements de la « Section II »	211
Figure 124	a. Courbe granulométrique de la « Section I » Echant 1 & 3 = faciès Hyper-parabolique. Echant 5,6a,6b, 7a, 7b, 8a = Facies Hyper-parabolique marque	213
Figure 125	b. Courbe granulométrique de la « Section I » Echant 1 & 3 = faciès Hyper-parabolique. Echant 5,6a,6b, 7a, 7b, 8a = Facies Hyper-parabolique marque	214
Figure 126	Classement dynamique en Fonction de X et l'indice NT de la coupe de la « Section I » N= Indice Total Granulométrie. X = Moyenne en Log	215
Figure 127	Courbe granulométrique cumulative de la coupe de « Janvier 2011 » Echantillon 3 & 4 = faciès hyper-parabolique	216
Figure 128	Classement dynamique en Fonction de X et l'indice NT de la coupe de « Janvier 2011 » N= Indice Total Granulométrie. X = Moyenne en Log	217
Figure 129	Courbe granulométrique cumulative des échantillons de sites voisins 1 & 2 = coupe de Terrain de Wiji	218
Figure 130	Classement dynamique en Fonction de X et l'indice NT de site voisins	219

	1 (*) = la coupe de « Terrain de Wiji , 2 (^) = sables surmonte le tuf de base du PCTS	
Figure 131	Tubules d'origine hydrothermale sur un bloc de tuf de la base de Sondage KI	223
Figure 132	Exemples de formes des graviers de tuf 'sculptés'	226
Figure 133	Exemples de formes des graviers de tuf arrondi	226
Figure 134	Proportion sur la distribution des « Gravier des Tuf » dans différents » des sites Pucung PCTS	227
Figure 135	Minéraux sur les roches volcaniques et tufs du site de Pucung. Amphibole (A), Pyroxène & verres des volcaniques (B)	228
Figure 136	Représentation des roches dans le sédiment du Site Pucung PCTS	229
Figure 137	Images des minéraux des sables sur couche sableuse entrecroisée du site PCTS.	230
Figure 138	Détail et minéraux de Bloc de Tufs, détail de la surface de tufs observés au Microscope électronique	232
Figure 139	Détail et minéraux de Bloc de Tufs, spectre des absorbance des minéraux du bloc de tuf	232
Figure 140	Courbe de transmission de spectre d'infra rouge sur les échantillonnages carbonatés	235
Figure 141	Courbe de transmission de spectre d'infra rouge sur les échantillonnages non carbonatés	235

CHAPITRE VI : La région de Dayu et Pucung dans le dôme de Sangiran : géologie, paléontologie, anthropologie et archéologie préhistorique

Figure 142	Représentation structurale schématique du Transect Dayu-Pucung.	239
Figure 143	Log synthétique de la stratigraphie du Transect Dayu-Pucung. A et B = Les fouilles de Widiyanto a Dayu ; C = Tranche observation de T. Simanjuntak ; D = Tranchées de l'équipe japonaise Indonésienne par Watanabe et Kadar ; E := Le découvert de S17 ; F= Contact de Paléosol et de découvert de fossile bovidé par Brasseur, I = site du PCTS	241
Figure 144	Plan du développement des différents clusters sur le site de Sangiran (BPSMP-Sangiran)	248
Figure 145	Plan du développement du musée de Sangiran (BPSMP-Sangiran) a Dayu, Sangiran	252

BIBLIOGRAPHIE

- Aimi M. et Sudijono (1979) On the problematical species *Aceratherium Boschi* von Koenigswald 1933, *Bull. Geol. Res. And Dev. Center*, 1, 1979, pp. 37-45.
- Aimi M. et Azis F. (1985) Vertebrate fossils from the Sangiran dome, Mojokerto, Trinil and Sambungmacan areas, *Quaternary Geology of the Hominid Fossil Bearing Formations in Java*, Geological Research and Development Centre ed., Bandung, pp. 155-197.
- Antón S. C. (2003) Natural history of *Homo erectus*, *Yrbk. Phys. Anthropol.* 46, pp. 126-170.
- Aziz F. (1993) Fossil fauna Sulawesi dan Batas Wallace, *Jurn. Geol. Sumberdaya Min.* GRDC)3, pp. 2-9.
- Aziz F. (1994) Vertebrate faunal evolution of Sulawesi during the Late Neogene, R. Tsuchi (ed.), *Pacific Neogene Events in Time and Space: Contributions to the West Pacific*, IGCP-246, Shizuoka Univ., Japan, pp. 79-85.
- Aziz F., Bergh van den G.D. et al. (1995) The geology and stratigraphy of the vertebrate-bearing deposits in the Sengkang Basin: the terrestrial faunal evolution of South Sulawesi during the Late Pliocene and Quaternary, *Geol. Res. Dev. Centre, Spec. Publ.* 18, pp. 1-112.
- Aziz F. et Vos de J. (1999) The fossil faunas from the Citarum area, West Java, Indonesia, *D.E.I.N.S.E.A.*, 7, pp. 21-32.
- Balzeau A. (2005) *Spécificités des caractères morphologiques internes de squelette céphanique chez Homo erectus*, Thèse de Doctorat, Histoire Naturelle de l'Homme Préhistorique, Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris.
- Balzeau A., Grimaud-Hervé D. et Jacob T. (2005) Internal cranial features of the Modjokerto child fossil (East Java, Indonesia). *J.Hum.Evol.*, 48, pp. 535-553.
- Bandet Y., Sémah F., Sartono S. et Djubiantono T. (1989) Premier peuplement à la fin du Pliocène d'une région de Java Est (Indonésie), L'âge de la faune de Gunung Butak près de Kedungbrubus. *C.R.Acad.Sc. Paris*, 308 (II), pp. 867-870.

- Bardintzeff J.M. (1985) *Les nuées ardentes: pétrogenèse et volcanologie*, Thèse de doctorat d'État, Université Paris-Sud Orsay, Bull. PIRPSEV-CNRS, 1985, 393 p.
- Bardintzeff J.M. (1998) *Volcanologie*, Dunod, Paris, 284 p.
- Bartstra G.J. (1985) Sangiran, the stone implements of Ngebung and the Palaeolithic of Java, *Modern Quaternary Research in Southeast Asia*, 9, pp. 99-113.
- Bartstra G.J. et Basoeki (1989) Recent work on the Pleistocene and the Palaeolithic of Java, *Cur. Anthropol.*, 30(2), pp. 241-244.
- Bellon H., Polve M., Pringgoprawiro H., Priadi B., Maury R.C. et Soeria-Atmadja R. (1989) Chronologie 40K-40Ar du volcanisme Tertiaire de Java Central (Indonésie): mise en évidence de deux épisodes distincts de magmatisme d'arc, *Comptes Rendus Acad. Sci.*, Ser. II, 309, 19, pp. 1971-1977.
- Bemmelen R.W. van (1949) *The Geology of Indonesia and Adjacent Archipelagos*, 2 vol., Martinus Nijhoff, Den Haag, 732 p.
- Berggren, W. A. et van Couvering, J. A. (Eds.), (1984) *Catastrophes and Earth History: The New Uniformitarianism*, Princeton University Press, New Jersey.
- Bergh van den G.D. (1988) *The endemic Pleistocene bovid from Java (Indonesia)*, 56 p.
- Bergh van den G.D., Aziz F., Sondaar P.Y. et Vos de J. (1994) The first Stegodon fossils from central Sulawesi and a new advanced Elephas species from south Sulawesi, *Geological Research and Development Centre Bulletin*, 17, pp. 22-39.
- Bergh van den G.D., Aziz F., Sondaar P.Y. et Vos de J. (1996) Pleistocene zoogeographic evolution of Java (Indonesia) and glacio-eustatic sea level fluctuations: a background for the presence of *Homo*, *Bulletin Indo-Pacific Prehistory Association Bulletin*, Melaka papers No. 14, pp. 7-21.
- Bergh van den G.D. (1999) The Late Neogene elephantoid-bearing faunas of Indonesia and their palaeozoogeographic implications, a study of the terrestrial faunal succession of Sulawesi, Flores, and Java, including evidence for early hominid dispersal east of Wallace's Line, *Scripta Geologica*, 117, 419 p.

- Bergh van den G.D., Vos de J. et Sondaar P.Y. (2001a) The Late Quaternary palaeogeography of mammal evolution in the Indonesian Archipelago, *PALAEO*, 171, pp. 385-408.
- Bergh van den G.D., Vos de J., Aziz F et Morwood M. J. (2001b) Elephantoidea in the Indonesian region, new *Stegodon* findings from Flores, The World of Elephants, International Congress, Rome, 2001, pp. 623-627.
- Bettis III E.A., Zaim Y, Larick R.R., Ciochon R.L., Suminto, Rizal Y., Reagan M., Hertler C. (2004) Landscape development preceding *Homo erectus* immigration into Central Java, Indonesia, in the Sangiran formation lower lahar, *PALAEO*, 206, pp. 115-131.
- Bettis EA III, Milius A.K., Carpenter S.J., Larick R., Zaim Y., Rizal Y., Ciochon R.L., Tassier-Surine S.A., Murray D., Suminto, Bronto S. (2009) Way out of Africa: Early Pleistocene paleoenvironments inhabited by *Homo erectus* in Sangiran, Java, *J. Hum. Evol.*, 56, pp. 11–24.
- Bird P. (2003) An updated digital model of plate boundaries, *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, Vol. 4 Issue 3
- Bird, M. I., Hope G., et Taylor D. (2004) Populating PEP II: the dispersal of humans and agriculture through Austral-Asia and Oceania, *Quaternary International*, 118-119, pp. 145.
- Bird, M. I., D. Taylor, et C. Hunt (2005) "Palaeoenvironments of insular Southeast Asia during the Last Glacial Period: a savanna corridor in Sundaland?" *Quaternary Science Reviews* 24(20-21): 2228.
- Bouteaux A. (2005) *Paléontologie, paléoécologie et taphonomie des mammifères du Pléistocène moyen ancien du site à hominidés de Sangiran (Java central, Indonésie)*, Thèse de Doctorat, Histoire Naturelle de l'Homme Préhistorique, Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris, 387p.
- Bouteaux A., Moigne A.M., Sémah F., et Jacob T. (2007) Les assemblages fauniques associés aux sites à *Homo erectus* du dôme de Sangiran (Pléistocène moyen, Java Indonésie), *C.R.Palevol*, 6, pp. 169-179.
- Brasseur B. (2009) Dynamique et Histoire des dépôts du Pléistocène inférieur et moyen ancien du dôme de Sangiran (Java central, Indonésie). Caractérisation des surfaces d'occupation à *Homo erectus*, Thèse de

- Doctorat, Histoire Naturelle de l'Homme Préhistorique, Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris.
- Bronto S. (2006) Fasies gunung api dan aplikasinya, *Jurnal Geologi Indonesia*, 1, 2, June 2006, Badan Geologi, Bandung.
- Bronto S., Budiadi Ev., et Hartono H.G. (2006) A new perspective of Java Cenozoic volcanic arcs, *Proceedings*, The Jakarta International Geoscience Conference And Exhibition, Agustus 2006, pp. 14-16. (in press).
- Buller A.T. et McManus J. (1972) Modes of turbidite deposition deduced from grain-size analyses, *Geological Magazine*, 109, 06, November 1972, Cambridge University Press, Cambridge, pp 491-500.
- Buller, A.T. et McManus J. (1973) Distinction among pyroclastic deposits from their grain size frequency distributions, *Journal of Geology*, 81, 97, 1 January 1973, The University of Chicago Press, pp. 97-106.
- Chacornac-Rault M. (2005) Reconstitution de l'environnement, impacts climatiques et anthropiques, Mise en évidence de la néolithisation, Thèse de Doctorat, Histoire Naturelle de l'Homme Préhistorique, Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris, in : *BAR International Series*, 1441, 212 p.
- Charlton T.R. (2001) The Permo-Triassic evolution of Gondwanan eastern Indonesia, and the final Mesozoic separation of SE Asia from Australia. *Journal of Asian Earth Sciences*, 19, pp.595-617.
- Chotin P., Giret A., Rampoux J.P., Sumarso, et Suminta (1980) L'île de Java, un enregistreur des mouvements tectoniques à l'aplomb d'une zone de subduction, *C.R. Somm Soc. Geol. France*, 22, 5, pp. 175-177
- Clark J. A., Farrell W.E. et Peltierl W.R. (1978) Global changes in postglacial sea level: A numerical calculation, *Quaternary Research*, 9, 3, 265 p.
- Dermitzakis M., Sondaar P.Y., Vos de J. et Bergh van den G.D. (1997) Colonisation of Islands by man with special reference to Crete, *Anthropologia*, 4, pp. 5-26.
- Djubiantono T. (1992) *Les derniers dépôts marins de la dépression de Solo (Java Central, Indonésie) : Chronostratigraphie et Paléogéographie*, Thèse de Doctorat, Histoire Naturelle de l'Homme Préhistorique, Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris.

- Djubiantono T. et Sémah F. (1991) Lower Pleistocene marine-continental transitional beds in the Solo depression and their relation to the environment of the Pucangan hominids, *Bulletin Indo-Pacific Prehistory Association*, 11, pp. 7-13.
- Djubiantono T. et Sémah F. (1993) L'évolution de la région de Solo au Quaternaire, *Les dossiers d'archéologie*, 184, pp. 46-49.
- Dubois E. 1894, *Pithecanthropus erectus* : eine menschenähnliche Übergangsform aus Java, Landesdruckerei ed., Batavia, 39 pp.
- Duyfjes J. (1936) Zur Geologie und Stratigraphie des Kendenggebietes zwischen Trinil und Soerabaja (Java), *De Ingenieur in Nederlandsch Indië*, 8, pp. 136-149.
- Es van L.J.C. (1931) *The Age of Pithecanthropus*, Martinus Nijhoff ed., Den Haag, 142 p.
- Estienne P. et Godard A. (1970) *Climatologie*, Armand Colin, Paris, 380 p.
- Falguères C. (2001) Dating layers and fossils in Sangiran Dome: methods and results, in : Simanjuntak H.T., Prasetyo B. et Handini R., eds., *Sangiran: Man, Culture and Environment in Pleistocene Times*, Yayasan Obor Indonesia, Jakarta, pp. 309-319.
- Falguères C. et Yokoyama Y. (2001) Datation des hominidés fossiles en Asie, in: Sémah A.M., Sémah F., Falguères C. et Grimaud-Hervé D., eds., *Origine des peuplements et chronologie des cultures Paléolithiques dans le Sud-Est Asiatique*, Artcom', Paris, pp. 55-64.
- Flenley J.R. (1996) Problems of the Quaternary on mountains of the Sunda–Sahel region, *Quaternary Science Reviews*, 15, pp. 549–555.
- Fontanel J. et Chantefort A. (1978) *Bioclimates du monde Indonésien*, Travaux de la Section Scientifique et Technique, Pondichéry, India.
- Gallet X. (2004) *Dynamique de la sédimentation dans les grottes du karst de Punung (Pacitan, Java), Relations avec les occupations paléolithiques. Histoire naturelle de l'Homme préhistorique*, Thèse de Doctorat, Histoire Naturelle de l'Homme Préhistorique, Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris.
- Gingele F.X., Deckker de P., Girault A., et Guichard F. (2002) History of the South Java current over the past 80 ka., *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 183, 3-4, pp. 247

- Grimaud-Hervé D., Valentin F., Sémah F., Sémah A.M., Djubiantono T. et Widiyanto H. (1994) Le fémur humain Kresna 11 comparé à ceux de Trinil, *Comptes Rendus de l'Académie des Science*, Paris, 318, 2, pp. 1139-1144.
- Grimaud-Hervé D. (2001) Taxonomic position of the Sangiran 31 hominid, in: Simanjuntak H.T., Prasetyo B. et Handini R., eds., *Sangiran, Man, Culture, and Environment in Pleistocene Times*, Yayasan Obor Indonesia, Jakarta, pp. 46-53.
- Grimaud-Hervé D. et Widiyanto H. (2001) Les fossiles humains découverts à Java depuis les années 1980, in: Sémah F., Falguères C., Grimaud-Hervé D., et Sémah A.M., eds., *Origine des peuplements et chronologie des cultures paléolithiques dans le Sud-est asiatique*, Artcom', Paris, pp. 331-358.
- Grimaud-Hervé D., Widiyanto H., Détroit F., et Sémah F. (2012) Comparative morphological and morphometrical description of the hominin calvaria from Bukuran (Sangiran, Central Java, Indonesia), *J.Hum.Evol.*, 63, pp. 637-652.
- Grubb P.J. (1974) Factors controlling the distribution of forest types on tropical mountains: new facts and a new perspective, in: Flenley J.R., ed., *Altitudinal Zonation in Malesia*, Department of Geography of the University of Hull, Hull, pp. 13-46.
- Hall R. (2002) Cenozoic geological and plate tectonic evolution of SE Asia and the SW Pacific: computer-based reconstructions, model and animations, *Journal of Asian Earth Sciences*, 20, pp. 353-431.
- Hall R. (2009) The Eurasia SE Asian Margin as a Modern Example of an Accretionary Orogen, in: Cawood P.A. et Kroner A., eds., *Earth Accretionary Systems in Space and Time*, The Geological Society London, Special Publications 318, McGraw-Hill, New York, pp. 351–372.
- Hall R., Clements B., et Smyth H.R. (sous presse) Sundaland: Basement character, structure and plate tectonic development, *Proceedings*, Indonesian Petroleum Association, Thirty-Third Annual Convention and Exhibition, May 2009.

- Harger J.R.E. (1995) Air-temperature variations and ENSO effects in Indonesia, The Philippines and El Salvador: ENSO patterns and changes from 1866–1993, *Atmos Environ*, 29, pp. 1919–1942.
- Hartono H.M.S. et Tjokroprosapoetro S. (1986) Geological evolution of the Indonesian Archipelago, *Proceedings*, GEOSEAV, vol. II, Geological Society of Malaysia Bulletin, 20, pp. 97-136.
- Haryono E. et Day M. (2004) Landform differentiation within the Gunung Kidul Kegelkarst, Java-Indonesia, *Journal of Cave and Karst Studies*, 66, 2, pp. 56-63.
- Heekeren van H.R. (1972) The Stone Age of Indonesia, Martinus Nijhoff, Den Haag.
- Hooijer, D.A., 1946a, Some remarks on recent, prehistoric and fossil porcupines from the Malay Archipelago, *Zoologische mededelingen*, Leiden, 26, 251-267.
- Hooijer, D.A., 1946b, Prehistoric and fossil rhinoceroses from the Malay archipelago and India, *Zoologische mededelingen*, Leiden, 26, 1-138.
- Hutchison C.S. (1973) Tectonic evolution of Sundaland: a Phanerozoic synthesis, *Proc. Regional Conf. Geology of Southeast Asia*, Geological Society of Malaysia Bulletin, 6, pp. 61-86.
- Huffman O.F. (2001) Geologic context and age of the Perning/Mojokerto *Homo erectus*, East Java, *Journal of Human Evolution*, 40, pp. 353-362.
- Huffman O.F., Zaim Y, Kappelman J., Ruez D.R., Vos de J., Rizal Y., Aziz F., et Hertler C. (2006) Relocation of the 1936 Mojokerto skull discovery site near Perning, East Java, *Journal of Human Evolution*, 10, pp. 1–21.
- Indriati E. (Ed.) (2007) *Recent advances on Southeast Asian Paleoanthropology and Archaeology*, Proceedings, International Seminar on Southeast Asian Paleoanthropology (Yogyakarta, Java; July 23-29, 2007). Yogyakarta, Indonesia: Laboratory of Bioanthropology and Paleoanthropology, Gadjah Mada University.
- Ingicco T. (2010) *Les primates quaternaires de Song Terus (Java Est, Indonésie) implications paléobiogéographiques et archéozoologiques pour l'Asie du Sud-Est*, Thèse de Doctorat, Histoire Naturelle de l'Homme Préhistorique, Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris.

- Itihara M., Sudijono, Kadar D., Shibasaki T., Kumai H., Yoshikawa S., Aziz F., Soeradi T., Wikarno, Kadar A. P., Hashibuan F. et Kagemori Y. (1985). Geology and stratigraphy of the Sangiran area, in: Watanabe N. et Kadar D., (eds.), Quaternary Geology of the Hominid Fossil Bearing Formations in Java, Special Publication No. 4, Geology Research Development, Bandung, Indonesia, pp. 11–43.
- Itihara, M., Watanabe N., Kadar, D., et Kumai, H. (1994). Quaternary stratigraphy of the hominid fossils bearing formations in the Sangiran area, central Java. *Cour. Forsch. Inst., Senckenberg*, 171, pp.123-128.
- Jacob T. (1964) A New Hominid Skull Cap from Pleistocene Sangiran, *Anthropologica*, 6, 1, pp. 97–104.
- Jacob T. et Curtis G.H., 1971, Preliminary potassium/argon of early man in Java, *Contrib. Univ. of Calif. Arch. Res. Facilit.*, 12, 50.
- Joordens J.C.A., F.P. Wesselingh, J. de Vos, H.B. Vonhof, D. Kron. 2009. Relevance of aquatic environments for hominins : a case of study from Trinil (Java, Indonesia), *Journal of Human Evolution*, 57, 656-671.
- Katili J.A. (1975) Volcanism and plate tectonics in the Indonesian island arcs, *Tectonophysics*, 26, pp.165-188.
- Kaifu Y., Aziz F., et Baba H. (2005) Hominid mandibular remains from Sangiran 1952-1986 collection, *Am.J.Phys.Anth.*, 128, pp. 497-519.
- Kaifu Y., Aziz F., Indriati E., Jacob T., Kurniawan I., et Baba H. (2008) Cranial morphology of Javanese Homo erectus: New evidence for continuous evolution, specialization, and terminal extinction, *Journal of Human Evolution*, 55, pp. 551-580.
- Koenigswald von G.H.R. (1933) Beitrag zur Kenntnis der fossilen Wirbeltiere Javas I. Teil, *Dienst van den Mijnbouw in Nederlandsch-Indie*, Wetenschappelijke Mededeelingen, 23, pp. 1–127.
- Koenigswald von G.H.R. (1934) Zur stratigraphie des javanischen Pleistocän. De ingénieur Nederlandsch-Indië, 1(4), 185-201.
- Koenigswald von G.H.R. (1935) Die fossilen Säugetierfauna Javas, *Proc.Kon.Akad. v. Wetensch.*, 38, pp. 188-198.
- Koenigswald von G.H.R. (1936) Der gegenwärtige Stand des *Pithecanthropus*-Problems, in: *Handel VII. Ned.-Ind. Natuurwet. Congr. Batavia*, Druk, Kolff et Co, Batavia, pp. 724-732.

- Koenigswald von G.H.R. (1939) Das Pleistocän Javas, *Quartär*, 28-53.
- Koenigswald von G.H.R. (1940) Neue Pithecanthropus Funde 1936-1938, Ein beitrage zur kenntnis der praehominiden, *Dienst van den Mijnbouw in Nederlandsch-Indië. Wetenschappelijke Mededeelingen*, 28.
- Koenigswald von G.H.R. (1949), Vertebrate stratigraphy of the Neogene and Quaternary, *in* : Bemmelen van, The Geology of Indonesia and Adjacent Archipelagos, Martinus Nijhoff ed., Den Haag, **1**, 91-94.
- Koenigswald von G.H.R. (1954) "*Pithecanthropus*", "*Meganthropus*" and the Australopithecinae, *Nature*, 173, pp. 795-797.
- Koenigswald von G.H.R. (1956) Remarks on the correlation of mammalian faunas of Java and India and the Plio-Pleistocene boundary, *Proceedings koninklijke nederlandse akademie van wetenschappen*, Amsterdam, B, **59**, (3), 204-210.
- Koenigswald von G.H.R. (1964) Potassium-Argon dates and early man, *Rep. 6th I.N.Q.U.A. Cong.* 4, pp. 325-327.
- Koenigswald von G.H.R. (1968) Observations on the Pithecanthropus mandibles from Sangiran, Central Java. Koninklijke Akademie van Wetenschappen, Amsterdam, Series B 71:1-9.
- Koenigswald von G.H.R. (1973) *Australopithecus*, *Meganthropus* and *Ramapithecus*. *Journal of Human Evolution*, 2: 487-491.
- Koenigswald von G.H.R. (1975) Skelettkult und Vorgeschichte I, *Natur u. Museum*, 105, 1975, pp. 229-235.
- Kramer A., Djubiantono T., Aziz F., Bogard J.S., Weeks R.A., Weinand D.C., Hames W.E., Elam J.M., Durband A.C., et Agus (2005) The first hominid fossil recovered from West Java, Indonesia, *Journal of Human Evolution*, 48,6, pp. 661-667.
- Kuenen P. (1950) *Marine Geology*, Wiley J., New-York, 568 p.
- Larick R., Ciochon R.L., Zaim Y., Sudijono, Suminto, Rizal Y., Aziz F., et Heizler H. (2001) Early Pleistocene $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ages for Bapang formation hominins, Central Jawa, Indonesia, *P.N.A.S.*, 98, 9, pp. 4866-4871.
- Lavigne F. (1998) *Les lahars du volcan Merapi, Java central, Indonésie : déclenchement, budget sédimentaire, dynamique et zonage des risques associés*, Thèse de Doctorat, Université Blaise Pascal (Clermont-Ferrand), Atelier National de Reproduction des Thèses, Lille.

- Lehman von H. (1936) Morphologische Studien aus Java, *Geographische Abhandlungen*, Serie 3, 9, J. Engelhaus, Stuttgart, pp. 1-114.
- Leloup P.H., Lacassin R., et Tapponnier P. (2007) Discussion on the role of the Red River shear zone, Yunnan and Vietnam, *Journal of the Geological Society*, 164, London, pp. 1253-1260.
- Leinders J.J.M., Sondaar P.Y., et Vos de J. (1985) The age of hominid bearing deposits of Java: state of the art, *Geol. Mijnbouwkd*, 64, pp. 167–173.
- Lizon-Sureau B. (1979) *Essai de reconstitution de paléoenvironnement du Pithécantrophe de Java au Pléistocène moyen dans la région de Sangiran (Java central) par les méthodes d'analyse en sédimentologie classique et moderne*, Thèse de Doctorat, Université Paris VI, Paris.
- Maury R. C., Soeria-atmadja R., Bellon H., Joron J.L., Yuwono Y.S., et Suparka E. (1987) Nouvelles données géologiques et chronologiques sur les deux associations magmatiques du volcan Muria (Java, Indonésie), *C.R. Acad. Sci. Paris*, 304, II, 4, pp. 175-180.
- Moigne A.M., R. Due Awe, Sémah F., et Sémah A.M. (2004) The cervids from Ngebung site (Kabuh series, Sangiran dome, Central Java) and their biostratigraphical significance, *Modern Quaternary Research in Southeast Asia*, 18, pp. 31–44.
- Mollengraaf G.F. (1921) Modern deep-sea research in the East Indian Archipelago, *Geogr. Jour.*, 57, pp. 95-121.
- Moore, M.W. et Brumm, A. (2007) Stone artefacts and hominins in Island Southeast Asia: new insights from Flores, Eastern Indonesia. *Journal of Human Evolution*, 52, pp. 85-102.
- Morley R.J. (1982) A palaeoecological interpretation of a 10,000 year pollen record from Danau Padang, Central Sumatra, Indonesia, *Journal of Biogeography*, 9, 112-124.
- Ninkovitch D. et Burckle L. H. (1978) Absolute age of the base of the hominid-bearing beds in Eastern Java, *Nature*, 275, pp. 306-308.
- Nishimura S., Ikeda T. et Yokoyama T., 1981, A fundamental investigation on the fission-track method, Report for the Grant-in-Aid for Scientific Research, 5-11.
- Ollier C.D. (1985) The geological background to prehistory in island Southeast Asia. *Modern Quaternary Research in Southeast Asia*, 9, pp. 25-42.

- Pirazzoli P.A. (1991) *World Atlas of Holocene sea-level changes*, Elsevier Oceanography Series, vol. 58, Amsterdam.
- Pope G.G. (1984) The Antiquity and Paleoenvironment of the asian hominidae, in: Whyte R.O., ed., *The Evolution of the East Asian Environment*, University of Hong Kong, 2, pp. 822-847.
- Pratomo I. (2006) Klasifikasi gunung api aktif Indonesia, studi kasus dari beberapa letusan gunung api dalam sejarah, *Jurnal Geol. Indonesia*, 1, 4, pp. 209-227.
- Prihandoko G. (1994) *Geologi dan sedimentologi "Grenzbank" di daerah Sangiran dan sekitarnya, Kabupaten Sragen, Jawa Tengah*, Skripsi Sarjana, Jurusan Teknik Geologi, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Puymerail L. (2011) *Characterisation de l'Endostructure et des Propriétés Biomécaniques de la Diaphyse Fémorale: La Signature de la Bipédie et la Réconstruction des Paléo-Répertoires Posturaux et Locomoteurs des Homininés*, Thèse de Doctorat, Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris.
- Puymerail L., Ruff C. B., Bondioli L., Widiyanto H., Trinkaus E., et Macchiarelli R. (2012) Structural analysis of the Kresna 11 *Homo erectus* femoral shaft (Sangiran, Java), *Journal of Human Evolution*, 63, 5, Octobre 2012, pp. 741-9.
- Qu, T., Du, Y., Strachan, J., Meyers, G., et Slingo, J. (2005) Temperature and its variability in the Indonesian region. *Oceanography*, 18, 50-61.
- Quinif Y. et Dupuis C. (1985) Un karst en zone intertropicale: le Gunung Sewu a Java: aspects morphologiques et concepts évolutifs, *Rev. Geomorph. Dyn.*, 34, 1, pp. 1-16.
- Romeur M. (1991) *Séries magmatiques arc et arrière arc de la sonde : nature des sources impliquées (élément en trace et isotopes Sr-Nd-Pb) : Géodynamique, Géophysique et Géochimie des Océans*, Thèse de Doctorat, Université de Bretagne Occidentale, Brest, 432 p.
- Rose W. I. et Chesner C. A. (1987) Dispersal of ash in the great Toba eruption, 75 ka., *Geology*, 15, pp. 913-917.
- Rutten L.M.R. (1927) *Voordrachten over de geologie van Nederlandsh Oost-Indië*, Wolters, U.M., Groningen-den Haag, 839 p.

- Saint-Marc P., Paltrinieri F., et Situmorang B. (1977) Le Cénozoïque d'Indonésie occidentale, *Bulletin de la Société Géologique de France*, XIX, pp. 125-133.
- Saleki H. (1997) *Apport d'une intercomparaison des méthodes nucléaires ($^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$, ESR et $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$) à la datation de couches fossilifères dans le Pléistocène dans le dôme de Sangiran (Java, Indonésie)*, Thèse de Doctorat, Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris.
- Sartono S. (1964) On a new find of another *Pithecanthropus* skull: an announcement, *Bull. Geol. Surv. Indonesia*, 1, 1, pp. 1–5.
- Sartono, S. (1972) Discovery of another Hominid skull at Sangiran, Central Java. *Cur.Anthropol.*, 13, pp. 124-126.
- Sartono S. (1982) Characteristics and chronology of early men in Java, in: *L'Homo erectus et la place de l'Homme de Tautavel parmi les hominidés fossiles*, 1^{er} Congrès Intern.Pal.Hum., Nice, pp. 491-533.
- Schuster J. (1911) Die Flora der Trinil-Schichten, in: Selenka M.L. et Blanckenhorn M., eds., *Die Pithecanthropus-Schichten auf Java, Geologische und palaontologische Ergebnisse der Trinil-Expedition (1907-1908)*, Engelmann, Leipzig, pp. 235-257.
- Sémah A.-M. (1982) *Étude palynologique de sites à Hominidés de l'île de Java (Indonésie)*. Thèse de Doctorat de Spécialité, Université de Provence, 127 pp.
- Sémah A.-M. (1984) Palynology and Javanese Pithecanthropus Paléoenvironment. *Cour. Forsch. Inst. Senckenberg* 69, p. 237-243.
- Sémah A.-M. (1986) *Le milieu naturel lors du premier peuplement de Java*, Thèse de Doctorat d'Etat, Université de Provence, Aix–Marseille-1.
- Sémah A.-M. et Sémah F. 1998 - La signification paléoécologique des couches à hominidés de l'île de Java. In Sémah F., Falguères, C., Grimaud-Hervé, D., et Sémah A.-M. (eds.) *Origine des peuplements et chronologie des cultures Paléolithiques dans le Sud-Est Asiatique*, Semenanjung, Paris, pp. 251-278.
- Sémah A.-M. et Sémah F. (2001) La signification paléoécologique des couches à hominidés de l'île de Java, in: Sémah F., Falguères C., Grimaud-Hervé D., et Sémah A.M., eds., *Origine des peuplements et chronologie des*

- cultures paléolithiques dans le Sud-est asiatique*, Artcom', Paris, pp. 251-278.
- Sémah A.M., Sémah, F., Djubiantono, T., Brasseur, B. (2010) Landscapes and Hominids' environments: changes between the lower and the early middle Pleistocene in Java (Indonesia). *Quaternary International* 223-224, pp. 451-454.
- Sémah A.M. et Sémah F. (2011) The rain forest in Java through the Quaternary and its relationships with humans (adaptation, exploitation and impact on the forest), *Quaternary International Volume*, 249, 6 February 2012, Elsevier, Ltd., and the International Union for Quaternary Research (INQUA), pp. 120–128.
- Sémah A.-M., Sémah F., Moudrikah R., Fröhlich F., et Djubiantono T. (2004) A Late Pleistocene and Holocene Sedimentary Record in Central Java and Its Palaeoclimatic Significance., *Modern Quaternary Research in Southeast Asia*, Balkema, Rotterdam, 19, pp. 63-88.
- Sémah F. (1982) Pliocene and Pleistocene geomagnetic reversals recorded in the Gemolong and Sangiran domes (Central Java), *Modern Quaternary Research in Southeast Asia*, 7, pp. 151-164.
- Sémah F. (1984a) *Stratigraphie et paléomagnétisme du Pliocène supérieur et du Pléistocène de l'île de Java, Indonésie*, Thèse de Doctorat d'Etat, Université de Provence, Aix-Marseille-1.
- Sémah F. (1984b) The Sangiran dome in the Javanese Plio-Pleistocene chronology. *Cour. Forsch. Inst. Senckenberg*, 69, pp. 245-252.
- Sémah F. (1986) Le peuplement ancien de Java. Ebauche d'un cadre chronologique, *L'Anthropologie*, 90, 3, 359-400.
- Sémah F. (2001) La position stratigraphique du site de Ngebung 2 (dôme de Sangiran, Java Central, Indonésie), in: Sémah F., Falguères C., Grimaud-Hervé D., et Sémah A.M., eds., *Origine des peuplements et chronologie des cultures paléolithiques dans le Sud-est asiatique*, Artcom', Paris, pp. 299-330.
- Sémah F., Falguères C., Sémah A.-M., Purnomo A., Djubiantono T., Saleki H., Brasseur B. et Moigne A.-M., 2011. Multi-proxy chronological approach of Homo erectus bearing sites in Indonesia: the Ngebung example. Poster, 1st ESHE meeting, Leipzig, September.

- Sémah F., Sémah A.-M., et Djubiantono T. (1990) Ils ont découvert Java: il y a plus d'un million d'années / They discovered Java: more than one million years ago / Mereka menemukan pulau Jawa: lebih dari satu juta tahun yang lalu, Pusat Penelitian Arkeologi Nasional et Museum National d'Histoire Naturelle, Jakarta.
- Sémah F., Sémah A.M., Djubiantono T., et Simanjuntak H.T. (1992) Did they also make stone tools?, *Journal of Human Evolution*, 23, pp. 439-446.
- Sémah F., Salecki H., Falguères C., Féraud G., et Djubiantono T. (2000) Did early man reach Java during the late Pliocene?, *Journ.Archaolog.Sc.*, 27, pp. 763-769.
- Sémah F., Sémah A.M. et Djubiantono T. (2001) From the shoreline to the slopes of the volcanoes: the long Pithecanthropus trek, in: Simanjuntak H.T., Prasetyo B. et Handini R., eds., *Proceedings of the International Colloquium on Sangiran – Sangiran: Man, Culture, and Environment in Pleistocene Times*, pp. 195-218.
- Sémah F., Sémah A.M., et Simanjuntak H.T. (2002) More than one million years of human occupation in insular Southeast Asia. The early archaeology of Eastern and Central Java, in: Mercader J., ed., *Under the Canopy: The Archaeology of Tropical Rain Forests*, Rutgers University Press, Piscataway, N.J., pp 161–190.
- Simanjuntak H.T. (2001) New insight on the tools of the *Pithecanthropus*, in: Simanjuntak H.T., Prasetyo B., et Handini, R., eds., *Sangiran: Man, Culture and Environment in Pleistocene Times*, Yayasan Obor Indonesia, Jakarta, pp. 154-170.
- Simanjuntak H.T. (Ed.) (2002) Gunung Sewu in Prehistoric Times, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Simanjuntak H.T. et Nurani I.A. (2004) Early Holocene Human Settlement in Eastern Java, *Bulletin of the Indo-Pacific Prehistory Association*, 24, pp. 13-21.
- Simanjuntak H.T. et Sémah F. (1996) A new insight into the Sangiran flake industry, *Bulletin Indo-Pacific Prehistory Association*, 14, pp. 22-26.
- Simanjuntak H.T. et Sémah F. (2006) Indonesia-Southeast Asia: Climates, settlements, and cultures in Late Pleistocene, *Comptes Rendus Palevol*, 5, pp. 371-379.

- Simanjuntak H.T. et Budiman (2011) *Kehidupan Purba Sangiran*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Arkeologi Nasional, Badan Pengembangan Sumberdaya Kebudayaan dan Pariwisata, Kementerian Kebudayaan dan Pariwisata, Jakarta, 147 p.
- Stuijts I., Newsome J. C., et Flenley J. R. (1988) Evidence for Late Quaternary vegetational change in the Sumatran and Javan highlands, *Rev. Palaeobot. Palynol*, 55, pp. 207–216.
- Soejono R.P. (1982) New data on the Palaeolithic Industry in Indonesia, in: C. I., ed., *L'Homo erectus et la place de l'homme de Tautavel parmi les hominidés fossiles*, Vol. II, C.N.R.S., Nice. pp. 578-590.
- Sondaar P.Y., Vos de J., et Leinders J.J.M. (1984) The fauna from Trinil, type locality of Homo erectus: a reinterpretation, Reply facts and fiction around the fossil mammals of Java, *Geologie en Mijnbouw*, 16, 7746, pp. 339-343.
- Sondaar P.-Y. (1984) Faunal evolution and the mammalian biostratigraphy of Java. *Cour. Forsch. Inst., Senckenberg*, 69, pp. 219–235.
- Sudarsono U. et Sudjarwo I. B. (2008) Amblesan di daerah Porong, Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur, *Jurnal Geologi Indonesia*, 3, 1, Maret 2008, pp. 1-9
- Suzuki M., Wikarno, Budisantoso, Saefudin I., et Itihara M. (1985) Fission track ages of pumice tuff, tuff layers and javites of hominid fossil bearing formations in Sangiran area, Central Java. In: Watanabe N. et Kadar D., eds., *Quaternary geology of the hominid fossil bearing formations in Java*, Geological Research and Development Centre, Bandung, pp. 309-358.
- Swisher III C.C., Curtis G.H., Jacob T., Getty A.G., Suprijo A., Widiasmoro (1994) Age of the earliest known hominids in Java, Indonesia, *Science*, 263, pp. 1118-1121.
- Tapper N. (2002) Climate, Climatic Variability and Atmospheric Circulation Patterns in the Maritime Continent Region, in CATENA, ed., *Wallace's Line: The Environmental and Cultural History and Dynamics of the SE-Asian-Australian Region*, Verlag GMBG.
- Tapponnier P., Armijo R., Manighetti I., et Courtillot V. (1990) Bookshelf faulting and horizontal block rotations between overlapping rifts in southern Afar, *Geophys. Res. Lett.*, Vol.17, Issue 1, American Geophysical Union, pp.1–4.

- Terra, H. de (1943) Pleistocene geology on early man in Java. *Transaction of the American Philosophical Society* XXXII, pp. 437-466.
- Tjia H.D., Fujii S., Kigoshi K., Sugimura A., et Zakaria T. (1972). Radiocarbon dates of elevated shorelines, Indonesia and Malaysia, Part I, *Quaternary Research*, 2, 4, pp. 487-495.
- Tjia H.D. (1977) Geology of Indonesia: publications 1958-1975 and a few earlier publications, *Geol. Survey of Indonesia*, Special Publication 5, Direktorat Geologi, pp. 1-74.
- Tjia H.D. (1980) The Sunda shelf, Southeast Asia, *Zeitschrift für Geomorphologie*, 24,4, pp. 405-427.
- Tjia H.D. (1984) Changes during the Holocene in the coastal areas of the Sunda shelf, *Nmu Alam*, 12 et 13, pp. 91-105.
- Tokunaga S., Oshima H., Polhaupessy A.A . et Ito Y. (1985) A palynological study of the Pucangan and Kabuh formations in the Sangiran area, in: Quaternary geology of the hominid bearing formations in Java, Special Publication, n°4, Geological Research and Development Center, Bandung, pp. 199-217.
- Topinka, 1997.**
- Tregoning P., Brunner F.K., Bock Y., Puntodewo S.S.O., McCaffrey R., Genrich J.F., Calais E., Rais J. et Subarya C. (1994) First geodetic measurement of convergence across the Java Trench, *Geophys. Res. Lett.*, 21, pp. 2135-2139.
- Umbgrove J.H.F. (1938) Geological history of the East Indies, *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 22, pp. 1-70.
- Verbeek R.D.M. et Fennema R. (1896), *Geologische Beschrijving van Java en Madoera*, Amsterdam, 1135p.
- Vergnaud-Grazzini C. (1985) Mediterranean late Cenozoic stable isotope record: stratigraphic and paleoclimatic implications, in: Stanley D.J. et Wezel F.C., eds., *Geological Evolution of the Mediterranean Basin*, Springer, New York, pp. 413–451.
- Verstappen H.Th. (1975) The effect of Quaternary tectonics and climates on erosion and sedimentation in Sumatra, *Proc. 4th Ann. Conv. Indon. Petrol.*
- Verstappen H. Th. (1980) Quaternary climate changes and natural environment in SE Asia, *GeoJournal*, 4, pp. 45–54.

- Villeneuve M., Rehault J.P., Corneé J.J., Honthaas C. et Gunawan W. (1998) Geodynamic evolution of Eastern Indonesia from the Eocene to the Pliocene, *Compt. Rend. Acad. Sci. Paris, Ser. IIA, Earth Plan. Sci.* 327, 5, pp. 291-302.
- Voris H.K. (2000) Maps of Pleistocene sea levels in Southeast Asia: shorelines, river systems and time durations, *Journal of Biogeography*, 27, pp. 1153-1167.
- Vos de J et Sondaar P.Y. (1982) The importance of the “Dubois collection” reconsidered, *Modern Quaternary Research in Southeast Asia*, 7, pp. 35-63.
- Vos J. de., Sartono, S., Hardja-sasmita, S., et Sondaar, P.Y. (1982) The fauna from Trinil, type locality of *Homo erectus* ; a reinterpretation. *Geologie en Mijnbouw*, 16, pp. 207-216.
- Vos J. de (1983), The *Pongo* faunas from Java and Sumatra and their significance for biostratigraphical and paleo-ecological interpretations, *Proceedings Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen*, 4, (86), pp. 417-425.
- Vos de J., Sondaar P.Y., Bergh van den G.D., et Aziz F. (1994) The *Homo* bearing deposits of Java and its ecological context, *Cour. Forsch.Inst. Senckenb.* 171, pp. 129–140.
- Vos de J. et Sondaar P.Y. (1994) Dating hominid sites in Indonesia, *Science* 266: pp. 1726-1727.
- Vos de J., Bouteaux A. et Bautista A. (2007) The mammalian faunas chronology in island Southeast Asia, in: Sémah A.M. et Setiagama K., eds., *First Islanders; Human Origins Patrimony in Southeast Asia*, pp. 81-84.
- Wallace A.R. (1860) On the zoological geography of the Malay Archipelago, *Zoological Journal of the Linnaean Society of London*, 4, pp. 172-184.
- Watanabe N. et Kadar D. (1985) *Quaternary geology of the hominid bearing formations in Java*, Special Publication, No. 4, Geological Research and Development Center, Bandung.
- Whitmore T.C. (1975) *Tropical Rain Forests of the Far East*, Clarendon Press Editeurs, London.
- Widianto H. (1993) *Unité et diversité des hominidés fossiles de Java : Présentation de restes fossiles humains fossiles inédits*, Thèse de

Doctorat, Histoire Naturelle de l'Homme Préhistorique, Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris.

- Widianto H. (2001a) The Discovery of Stone Implements in the Grenzbank: New Insights into the Chronology of the Sangiran Flake Industry, *Indo-Pacific Prehistory Association Bulletin*, No. 21, Melaka Papers Volume 5, pp. 157-161
- Widianto H. (2001b) Searching for *Homo erectus* artifacts, in: Indriati E., ed., *A scientific life*, papers in honor of Prof. T. Jacob, Bigraf Publishing, pp. 75-89.
- Widianto H. (2006) *The Oldest Homo erectus stone tools in Java: from the lower Pleistocene Pucangan formation in Sangiran*, in: 18th Congress of the Indo-Pacific Prehistory Association, Manila 20–26 March 2006 (abstract)
- Widianto H., Budianto T. et Simanjuntak H.T. (1996) Laporan penelitian Sangiran Jilid 1, *Berita Penelitian Arkeologi*, No. 46, Pusat Penelitian Arkeologi Nasional, Jakarta.
- Widianto H., Budianto T., Simanjuntak H.T., et Hidayat M. (1997) *Laporan Penelitian Situs Sangiran: Proses Sedimentasi, Posisi Stratigrafi dan Kronologi Artefak Pada Endapan Purba Seri Kabuh dan Seri Notopuro*. Yogyakarta: Balai Arkeologi Yogyakarta.
- Widianto H., Budianto T., et Simanjuntak H.T. (2001a) The discovery of stone implements in the *Grenzbank*: new insights into the chronology of the Sangiran flake industry. *Bull. Indo-Pac. Prehist. Assoc.*, 21, pp. 157-161.
- Widianto H. et Grimaud-Hervé D. (2011). Un nouveau crâne humain fossile dans le dôme de Sangiran (Java, Indonésie), *Compte-Rendus de l'Académie des Sciences*, série sciences de la Terre et de l'Univers, Paris, 330, pp. 883-888.
- Widianto H., Grimaud-Hervé D. et Sartono. (2001b) The evolutionary position of the Ngawi calvaria, in: *16th Congress of the Indo-Pacific Prehistory Association*, Melaka, Malaysia, pp. 162-169.
- Widianto H. et Simanjuntak H.T. (2011) Sangiran Menjawab Dunia, Balai Pelestarian Situs Manusia Purba Sangiran, Sragen, 142p.
- Widianto H. et Sulistyanto B. (1997). Laporan penelitian Situs Sangiran: proses sedimentasi, posisi stratigrafi dan kronologi artefak pada endapan purba Seri Kabuh dan Seri Notopuro, *Berita Penelitian Arkeologi*, no. 01, Bagian

- Proyek Penelitian Purbakala Daerah Istimewa Yogyakarta, Balai Arkeologi Yogyakarta, Pusat Penelitian Arkeologi Nasional, Departemen Pendidikan dan Kebudayaan, Yogyakarta.
- Widianto H. et Zeitoun V. (2003) Morphological description, Biometry and Phylogenetic position of the skull of Ngawi 1 (East Java, Indonesia), *Int.J.Osteoarchaeol.*, 13, pp. 339-351.
- Widiasmoro (1984) *Geologi Daerah Tanjung dan Petrogenesis Formasi Kabuh di Daerah Sangiran Tengah, Jawa Tengah*, Proyek Penelitian Paleoanthropologi Nasional, (non publiée).
- Widiasmoro (1998) Late Tertiary- early Quaternary magmatic arc and its relationship to the sedimentation processes in Sangiran, Central Java, in: Simanjuntak H.T., Prasetyo B., et Handini, R., eds., *Sangiran: Man, Culture and Environment in Pleistocene Times*. Jakarta: Yayasan Obor Indonesia. pp. 45-46.
- Woodroffe S.A. et Horton B.P. (2005) Holocene sea-level changes in the Indo-Pacific, *Journal of Asian Earth Sciences*, 25, 2005, pp. 29–43.
- Wyrtki K. (1961) The thermohaline circulation in relation to general circulation in the oceans, *Deep-Sea Res.*, 8, 1, pp. 39-64.
- Wyrtki K. (1961) The flow of water into the deep sea basins of the western South Pacific Ocean, *Aust. J. Mar. Freshw. Res.*, 12, 1, pp. 1-16.
- Wyrtki K. (1961) *Optical measurements in the Coral and Solomon Seas*, Symp. on Radiant Energy in the Sea, Int. Un. Geod. Geophys., Monogr. No. 10, pp. 51-59.
- Wyrtki K. (1961) *Physical Oceanography of the Southeast Asian Waters*, Univ. Calif., NAGA Rept., No. 2, 195 pp.
- Yokoyama T. et Koizumi I. (1989) Marine transgressions on the Pleistocene Pucangan Formation in the Sangiran area, Central Java, Indonesia. *Palaeogeogr. Palaeocl. Palaeoecol.*, 72, pp. 177-193.
- Yokoyama Y., Falguères C., Sémah F., Jacob T., et Grün R. (2008) Gamma-ray spectrometric dating of late *Homo erectus* skulls from Ngandong and Sambungmacan, Central Java, Indonesia. *J. Hum. Evol.*, 55, pp. 274-277.
- Zaim Y. (1989) *Les formations "volcano-sédimentaires" quaternaires de la région de Patiayam (Java Central, Indonésie)*, *Milieu de Sédimentation et Minéralogie*, Thèse de Doctorat, spécialité : Géologie, Paléontologie

- Humaine, Préhistoire, Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris, 264 p.
- Zaim Y. (2010) Geological evidence for the earliest appearance of hominins in Indonesia, in: Fleagle J.G., Shea J.J., Grine F.E., Baden A.L., et Leakey R.E, eds., *Out of Africa I: The first hominin colonization of Eurasia*, Springer, Dordrecht, pp. 97-110.
- Zanolli C. (2011) *L'organisation endostructurale de restes humains dentaires du Pléistocène inférieur-final au Pléistocène moyen-initial d'Indonésie et d'Afrique, avec une attention particulière à Homo erectus s.s. Caractérisation comparative à haute résolution et problématiques taxinomiques*, Thèse de Doctorat, Histoire Naturelle de l'Homme Préhistorique, Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris.
- Zanolli C., Bondioli L., Mancini L., Mazurier A., Widiyanto H., et Macchiarelli R. (2012) Brief communication: Two human deciduous molars from the Sangiran dome (Java, Indonesia) : Outer and inner morphology, *Am J Phys Anth*, 2012 Mar, 147, 3, pp. 472-81.