

## LE SITE ARCHEO-PALEONTOLOGIQUE DE LA BELLE-ROCHE (BELGIQUE) DANS LE CADRE DE L'EVOLUTION GEOMORPHOLOGIQUE DE LA VALLEE DE L'AMBLEVE INFERIEURE

Etienne JUVIGNÉ<sup>1</sup>, Jean-Marie CORDY<sup>2</sup>, Alain DEMOULIN<sup>1</sup>, Raoul GEERAERTS<sup>3</sup>,  
Joseph HUS<sup>3</sup> et Virginie RENSON<sup>1</sup>

1. Université de Liège, Département de Géographie, Sart-Tilman, Bâtiment B11, B-4000 Liège

2. Université de Liège, U.R. « Evolution des vertébrés et évolution humaine », Institut Léon Frédéricq, (Bât. L1), place Delcour, 17, B-4020 Liège

3. Centre de Physique du Globe, B-5670 Dourbes

(8 figures)

**RESUME.** La mise en place des dépôts du site archéo-paléontologique de La Belle-Roche est située dans le cadre de l'évolution géomorphologique de l'Amblève inférieure, depuis son émergence, remontant à la régression oligocène. La sédimentologie des dépôts de terrasse conservés sur le versant de Fraiture - La Belle-Roche est décrite et quelques données paléomagnétiques sont présentées. Les modèles chronologiques actuellement disponibles pour les terrasses de la Meuse conduisent à admettre que le cailloutis en place dans le site archéo-paléontologique de La Belle-Roche s'est déposé entre 0,85 et 1 Ma, période incluant l'Événement de Jaramillo. Une épaisse nappe caillouteuse (plus de 5,5m) qui subsiste sur des replats de la terrasse principale une dizaine de mètres sous le niveau de la grotte peut être rapportée au Stade isotopique 22, et le paléomagnétisme y indique la possibilité de l'existence d'une transition 'inverse-normal'. Ceci implique que le paléomagnétisme normal reconnu antérieurement dans les dépôts fossilifères pourrait n'être pas hérité de la Période de Brunhes, mais bien de l'Événement de Jaramillo. Si cette hypothèse devait être confirmée, elle vieillirait la présence de l'Homme de 0,5 à 1 Ma dans nos régions. La vitesse d'encaissement de l'Amblève inférieure est mise en relation avec le soulèvement de l'Ardenne au Néogène et au Quaternaire. Elle a été très faible de l'Oligocène au Pliocène (5 mm/ka), puis elle a connu deux périodes d'accélération : la première qui a conduit à une vitesse moyenne de 38 mm/ka dès la transition plio-pléistocène, et la seconde à 100 mm/ka dès le début des grandes glaciations quaternaires (OIS-22). Des données téphrochronologiques permettent de déduire un ralentissement à ~20 mm/ka pendant le Pléistocène supérieur.

**Mots-clés :** Belgique, Ardenne, Quaternaire, géomorphologie, sédimentologie, paléontologie, archéologie.

**ABRIDGED ENGLISH VERSION. The archeo-paleontological site of La Belle-Roche (Belgium) within the framework of the geomorphological evolution of the lower Ambleve valley.** The archeo-paleontological site of 'La Belle-Roche' is situated some 20 km SW of Liège (Belgium). It is a hole filled with quaternary sediments : fluvial gravel of the Ambleve river, immediately overlain by slope deposits containing fossils and flints of human origin. The paleofauna was given an age of 0.5 Ma using : (i) an U/Th age older than 0,350 Ma, (ii) the normal paleomagnetism of the fossiliferous terrain (ascribed to the Brunhes Period) ; (iii) a biochronological time scale. The age of 0.5 Ma was challenged by preliminary geomorphological and sedimentological studies of the site (Renson *et al.*, 1999) which have shown that : (i) the fluvial gravel could be 1 Ma old ; (ii) there is no stratigraphical gap between this gravel and the overlying fossiliferous terrain. A new hypothesis consequently suggested that the normal paleomagnetism of the fossiliferous terrain had to be correlated with the Jaramillo Event. Hence, additional geomorphological investigations were required in order to verify the age of the gravel and to find fluvial layers with a reverse paleomagnetism corresponding to the final phase of the Matuyama Period in terrains younger than the fossiliferous layers of La Belle-Roche.

The Ambleve River originally flowed on the Oligocene sand cover which veiled the Paleozoic basement of the NE Ardenne. From the time it reached the present-day altitude of 260 m (Fig. 1 : Fraiture ridge), the lower Ambleve was constrained in its present valley. The highest remnants of rounded pebbles, with more than 50% quartz, were found at 210 m in cracks and solution pockets of karstified limestones. The correlation with a chronological model established for the Meuse terraces in the Maastricht area indicates an age of 2.5 Ma for the corresponding terrace, showing that the river incision proceeded very slowly from the Oligocene to the upper Pliocene (~5mm/ky).

From 210 m to 160 m (i.e. the altitude of the top of the La Belle-Roche hole), reworked pebbles are scattered over the slope. When the river flowed at 160 m altitude, its valley was still widely open (Figs 2 and 3).

The highest *in situ* fluvial gravel is preserved in the hole ; it is a well stratified, 1-m-thick deposit between 157 and 158 m. Extended terrace remnants (Fig. 1 : R1 and R2) with a >5,5 m-thick gravel cover are preserved about ten meters lower (figs. 4 and 5); both structure and texture of their gravel refer to a high rate of sedimentation in a periglacial environment. The correlation with the chronological model of the Meuse terraces assigns bracketed ages of 0,85-1,03 Ma (including the Jaramillo Event) to the gravel of the hole, while the 'main terrace' (R1-R2) should have formed during the OIS-22 (0.83-0.78 Ma), corresponding to the first major glaciation of the Lower Pleistocene, just before the transition Matuyama-Brunhes (Fig. 8). Preliminary paleomagnetical results from samples taken in lenses of fine material within the main terrace deposits also suggest the presence of a transition from reverse to normal paleomagnetism. These results confirm that the age determination of the archeo-paleontological layers of the La Belle-Roche hole (0,5 Ma or 1 Ma?) definitely depends on demonstrating the existence of a stratigraphical gap at the contact between the lower fossiliferous layer and the underlying fluvial gravel (Renson *et al.*, 1999).

As for the Amblève river evolution, the inferred mean rate of valley downcutting should have been ~38 mm/ky during the Lower Pleistocene. Then, during at least the first half of the Middle Pleistocene, the incision rate strongly increased (up to ~100 mm/ky), producing a V-shape valley. Finally, tephrochronological evidence suggests that the downcutting dramatically slowed down during the Upper Pleistocene (20 mm/ky).

**Keywords :** Belgium, Ardenne, Quaternary, geomorphology, sedimentology, paleontology, archeology.

## 1. Introduction

Le site archéo-paléontologique de La Belle-Roche est une grotte entièrement colmatée de sédiments. Elle se situe à 20 km au SSE de Liège (Fig. 1A), dans le village de Fraiture (Sprimont) sur le versant droit de la vallée de l'Amblève inférieure (Fig. 1B). Environ 50.000 ossements attestant une faune vieille d'environ 500 ka d'après la biochronologie et des artefacts rudimentaires (chopping tools) ainsi qu'un biface trouvés dans la couche supérieure (Cordy, 1980 ; Ullrich-Closset & Cordy, 1991 ; Draily, 1998). Une récente étude sédimentologique et géomorphologique a permis d'émettre l'hypothèse que la mise en place du remplissage pourrait remonter à l'Événement de Jaramillo, ce qui implique que l'âge de l'ensemble des pièces découvertes serait plutôt compris entre 0,9 et 1 Ma (Renson *et al.*, 1999). Dans la mesure où cette hypothèse vieillirait du simple au double, à la fois l'échelle biochronologique et l'arrivée de l'Homme dans cette partie de l'Europe, des recherches géomorphologiques et sédimentologiques complémentaires ont été entreprises. Les résultats en sont présentés dans cet article.

## 2. Cadre géologique et géomorphologique

La grotte se situe sur le versant droit de la vallée de l'Amblève, à l'intérieur d'un méandre qui, au fil de son encaissement, a glissé vers le Sud (Fig. 1B). Elle a été creusée dans le flanc nord très redressé d'un synclinal, développé dans le calcaire du Viséen et du Tournaisien, lequel repose sur des psammites du Famennien supérieur formant la crête anticlinale de Fraiture (Fig. 2).

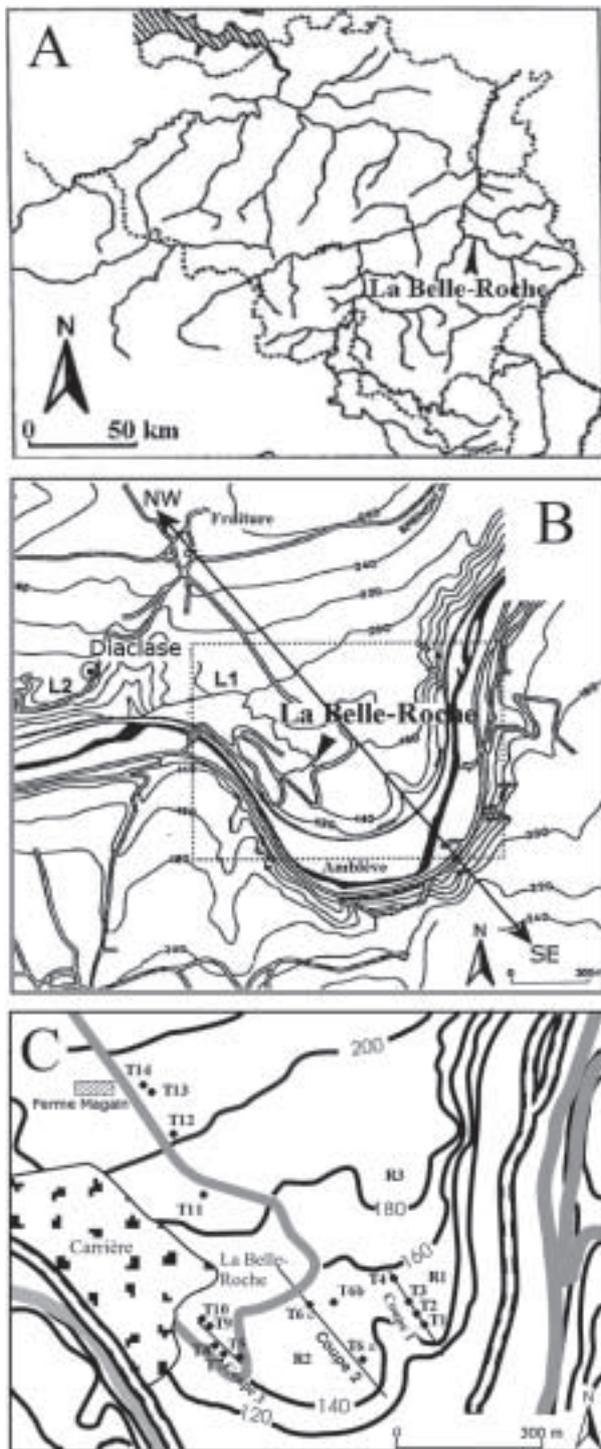
Au Crétacé supérieur, la région a été recouverte par la mer. En raison de la présence de silex épars en surface sur la crête de Hoyemont, la carte géologique y renseigne un placage de Crétacé sur du Famennien inférieur, à 290 m d'altitude (Fig. 2). Toutefois, cette crête se situe plus de

100 mètres sous le niveau de la surface pré-crétacique en cet endroit (Demoulin, 1986; Bless *et al.*, 1990), si bien que les silex qui y ont été observés doivent s'y trouver en position secondaire.

Quant à la surface 'pré-tongrienne' (Demoulin, 1995), sur laquelle la mer s'est avancée une dernière fois à l'Oligocène inférieur, elle se situe vers 300-320 m d'altitude dans la région de l'Amblève inférieure. La crête de Hoyemont (290 m) en dérive donc assez directement, mais celle de Fraiture (260 m) a été plus nettement abaissée par la suite. Après le retrait de la mer tongrienne, l'évacuation de la couverture sableuse qu'elle avait accumulée sur les franges de l'Ardenne dura plusieurs millions d'années, le sommet de cette couverture servant probablement de niveau de base au développement de plusieurs baies d'aplanissement vers le cœur du massif ardennais (Demoulin, 1995).

Le Miocène constitue une période relativement mal documentée dans cette région. Quoique celle-ci se situe à proximité immédiate de la zone de fort soulèvement néogène et quaternaire de l'Ardenne du NE, il est vraisemblable que l'évolution morphologique y ait été assez semblable à celle que les argiles préservées dans le cryptokarst du Condroz et de l'Entre-Sambre-et-Meuse permettent de reconstituer plus à l'ouest (Dupuis *et al.*, 2003).

Les sédiments continentaux les plus anciens connus dans la vallée de l'Amblève moyenne et inférieure consistent en cailloutis fluviaux riches en quartz qui peuvent être attribués à un ancêtre de ce cours d'eau. À hauteur de La Belle-Roche, la terrasse correspondant à ce cailloutis se trouve vers 210 m d'altitude (Ek, 1957). Le cailloutis contient 63% de galets de quartz dans la fraction [23<L<64] mm. La terrasse qui lui correspond se prolonge dans l'Ourthe inférieure, et se raccorde à la Trainée mosane qui passe à Liège à 180 m d'altitude (Macar, 1957). Si le raccord de la Trainée mosane avec les dépôts de l'Ubagsberg, dans le Limbourg néerlandais, est correct (Macar, 1957 ; Juvigné et Renard, 1992), alors le cailloutis de 210 m à La Belle-Roche s'est mis en place pendant la partie finale du

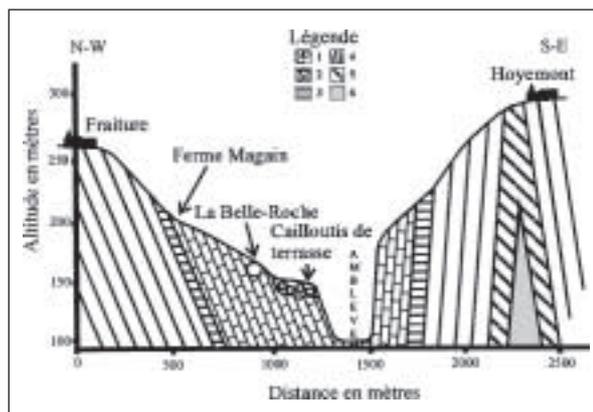


**Figure 1.** Localisation de la grotte de La Belle-Roche, ainsi que des tranchées, sondages sismiques et coupes réalisés au cours du présent travail.

Explications: B. Diaclase : remplissage d'une diaclase par du limon caillouteux (voir plus loin) ; L1, L2, lieu où une mince couverture limoneuse sur calcaire karstifié a été observée antérieurement (Widart, 1996) ; NW-SE, localisation de la coupe géologique de la figure 2. C. Rx : désignation des replats étudiés ; Tx : localisation des tranchées exécutées à la pelle mécanique ; Coupe x : localisation des coupes des figures.

**Figure 1.** Localisation of La Belle-Roche cave, as well as excavations, seismic sounding and cross sections discussed in this paper.

Explanation: B. Diaclase : diaclyse filled up by silt and gravel ; Lx, places where a thin silty cover overlying karstified limestone has been previously observed (Widart, 1996) ; NW-SE : profile of the cross section of figure 2. C. Rx : label of investigated flat surfaces ; Tx : localisation of excavations dug by a machine ; Coupe x : localisation of cross sections of figures 4, 5, and 6.



**Figure 2.** Coupe géologique à travers la vallée de l'Ambève entre Fraiture et Hoyemont (localisation sur la figure 1B : NW-SE). Légende : 1, cailloutis de terrasse de l'Ambève ; 2, calcaires viséen (V2 et V1) et tournaisien (T2 et T1) ; 3, calcaire et schiste (Fa2d). Roches siliceuses : 4, Fa2c&b ; 5, Fa1c ; 6, Fa1b&a.

**Figure 2.** Cross section through the Ambève valley from Fraiture to Hoyemont (localisation in figure 1B : NW-SE). Legend : 1, gravel (terrace of the Ambève river) ; 2, limestone (Viséan : V2&V1 / Tournaisian (T2&T1) ; 3, limestone and shale (Fa2b) ; Siliceous rocks: 4, Fa2c&b ; 5, Fa1c ; 6, Fa1b&a.

Pliocène aux environs de 2,5 Ma (Felder & Bosch, 1989 ; Vandenberg, 1996). Lors de son encaissement postérieur, l'Ambève inférieure a abandonné des lambeaux de terrasses qui ont été raccordés en neuf niveaux (Ek, 1957). Ek (1957), Girolimetto (1990), Widart (1996) et Renson (1997) ont décrit des replats qui se situent sur le versant de l'Ambève, en contrebas de Fraiture. Parmi ceux-ci, ceux situés en L1 et L2 (Fig. 1B) ont été présentés comme

des terrasses de l'Ambève bien qu'aucun cailloutis en place n'y ait été signalé. Toutefois, le replat L2 (Fig. 1B), situé vers 195 m, dans la côte du Pont de Scay à l'entrée de Fraiture (Fig. 1B : L2) peut être considéré comme un lambeau de terrasse dénudé, dont des restes du cailloutis sont conservés à l'état remanié par effondrement, dans une diaclase largement ouverte par la dissolution et mise au jour récemment par la construction d'une habitation

(Fig. 1B : Diaclase). Les replats situés sous 190 m entre la ferme Magain (Fig. 1C) et l'Amblève ont été interprétés comme des terrasses de l'Amblève par les auteurs précités, sur la base de l'observation de cailloux roulés à la surface du sol. Pour notre part, nous y avons effectué des tranchées à la pelle mécanique ; les observations correspondantes, rapportées plus loin conduisent à des interprétations plus nuancées.

### 3. Les dépôts de la grotte

L'ensemble des dépôts colmate une ancienne grotte ramifiée dont le conduit principal a environ 3 m de diamètre ; la base est à 157 m et le plafond à 160 m. Un cailloutis fluvial abandonné par l'Amblève tapisse le plancher de cette grotte sur un mètre d'épaisseur. Il est surmonté par des dépôts de versant qui sont entrés dans la grotte par des fissures karstiques, et l'ont entièrement colmatée (Cordy, 1980). Trois vagues principales de tels dépôts se sont succédé, mettant en place trois couches fossilifères qui ont été appelées, par ordre chronologique : 'Limon inférieur', 'Blocaille moyenne' et 'Cailloutis supérieur' (Cordy, 1980). La paléofaune qui y a été trouvée atteste une transition continue d'un climat froid à un climat tempéré de type interglaciaire (Cordy *et al.*, 1993). On sait aujourd'hui que de telles transitions peuvent avoir lieu en quelques siècles, voire quelques décennies ('oscillations de Dansgaard-Oeschger' : Dansgaard *et al.*, 1993).

Une étude sédimentologique détaillée a été réalisée par Renson (1997). Pour la bonne compréhension du présent article, le contenu des couches est présenté ci-dessous dans l'ordre stratigraphique :

- Le cailloutis fluvial qui tapisse le fond de la grotte est constitué d'une association de galets siliceux qui a la même composition que celle de l'Amblève inférieure (essentiellement des roches paléozoïques du massif de Stavelot), si bien que la mise en place du cailloutis peut être attribuée à un ancien écoulement, localement souterrain, de l'Amblève. De tels recoupements souterrains de méandres sont fréquents (grotte de Bohon à Barvaux-sur-Ourthe, galerie des Sources à Chaleux, sur la Lesse, etc.).
- Le 'Limon inférieur' est composé d'une matrice de limon d'origine éolienne dominante contenant des cailloux de calcaire local (majoritaires), et des galets roulés de roches siliceuses (minoritaires), provenant d'une terrasse de l'Amblève, préexistant sur le versant en contre haut de la grotte.
- La 'Blocaille moyenne' est constituée essentiellement de blocs et cailloux anguleux de calcaire enrobés dans une matrice de limon d'origine éolienne.
- Le 'Cailloutis supérieur' consiste essentiellement en cailloux de calcaire fortement émoussés par la corrosion, et enrobés dans une matrice de limon d'origine éolienne. Il ne s'agit donc pas d'un cailloutis fluvial.

### 4. Fouilles en tranchées dans les replats au-dessus de La Belle-Roche

Des tranchées à la pelle mécanique ont été réalisées sur le versant entre Fraiture et l'Amblève avec, pour objectifs de :

- retrouver un maximum de niveaux de cailloutis de l'Amblève pour reconstituer l'évolution de son encaissement ;
- comprendre la composition des couches fossilifères de la grotte par l'étude des dépôts qui subsistent à l'amont sur le versant ;
- déterminer la polarité magnétique dans des cailloutis immédiatement postérieurs à celui de la grotte et, éventuellement, trancher le problème de l'âge des couches fossilifères.

La profondeur maximale des excavations a été de 5,5 m. Les altitudes ont été mesurées à la lunette de nivellement au départ d'un point géodésique fixé dans le site de La Belle-Roche à 156,77 mètres.

#### 4.1. Fouilles sur le versant descendant de Fraiture vers la grotte de La Belle-Roche

Depuis le sommet de la crête de Fraiture à 260 m jusqu'à environ 210 m d'altitude (ferme Magain ; Figs 1B et 2C), les têtes de bancs de psammite sont visibles de façon systématique sous un sol d'une vingtaine de centimètres d'épaisseur. Aucun caillou roulé n'y a été trouvé. Entre la ferme Magain à 210 m et le site de La Belle-Roche, il existe trois replats que nous avons excavés.

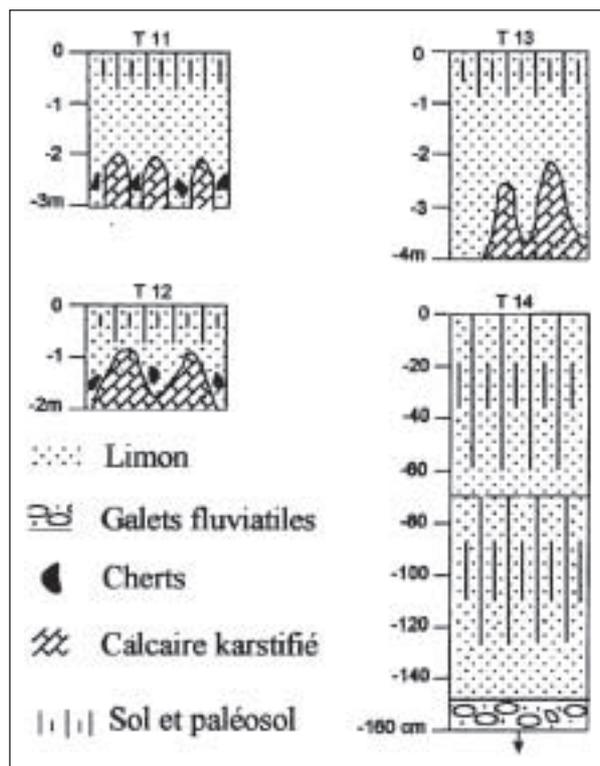
##### 4.1.1. Excavation de la ferme Magain à 210 m (T13 et T14)

Nous avons profité d'une excavation (T14) réalisée pour la construction d'une nouvelle étable (Fig. 1C). Jusqu'à 1,6 m de profondeur, la roche en place n'a pas été atteinte.

La coupe est constituée essentiellement de limon d'origine éolienne dans lequel sont conservés :

- de la surface jusqu'à 30 cm de profondeur, l'horizon cultivé du sol actuel ;
- de 30 à 70 cm, le sol actuel pénétrant dans le paléosol sous-jacent ;
- de 70 à 150 cm, une racine de paléosol (pseudo-gley) ;
- de 150 à 160 cm, une importante charge de galets roulés. Les quartz représentent environ 63% de l'ensemble des galets ( $23 < L < 64$  mm) ; les autres roches siliceuses, principalement des quartzites et quartzophyllades, constituent la part restante. Ces galets peuvent être les restes d'un cailloutis fluvial que ce replat a porté puisque, en cet endroit, on ne connaît aucun niveau de terrasse plus élevé qui eut pu être remanié.

Dans la tranchée T13, creusée à une dizaine de mètres de la fosse T14, nous avons trouvé essentiellement 210 à 370 cm de limon sur le socle calcaire fortement karstifié. Les galets siliceux de la tranchée T14 sont absents en T13.



**Figure 3.** Lithologie des terrains excavés sur le versant descendant de Fraiture vers la grotte de La Belle-Roche. Les endroits excavés sont localisés sur la figure 1C : T14, T13, T12.

**Figure 3.** Lithology of strata excavated on the slope from Fraiture to the La Belle-Roche hole. The excavations are localised in figure 1C : T14, T13, T12.

#### 4.1.2. Tranchée à 200 m (T12)

Le calcaire fortement karstifié a été atteint à 1 m de profondeur sous une couverture essentiellement limoneuse dans ses 50 cm supérieurs, et chargée de blocs et cailloux de calcaire et cherts notamment dans les creux karstiques. Aucun caillou roulé n'a été trouvé. Girolimetto (1981) avait fait des observations identiques plus à l'W, au sommet du front de taille de la carrière (Fig. 1C : lieu L1).

#### 4.1.3. Tranchée à 190 m (T11)

Le calcaire fortement karstifié a été atteint à 2 m de profondeur. La couverture meuble consiste en limon argileux brun rougeâtre contenant une forte charge de blocs et cailloux de cherts et de calcaire.

#### 4.1.4. Synthèse

La partie du versant située entre la crête à Fraiture et la ferme Magain est une topographie d'érosion sur psamnite portant un sol très mince. Entre la ferme Magain et le site de La Belle-Roche, il existe une couverture de limon d'origine éolienne sur calcaire fortement karstifié.

Dans le fond des creux karstiques, le limon contient des cailloux de calcaire et de cherts. Des galets roulés d'origine fluviatile, à dominante de quartz, n'ont été observés que sur le replat à 210 m.

## 5. Les replats R1 et R2

De part et d'autre d'un vallon à écoulement sporadique, il existe deux replats bien développés (Fig. 1C : R1 et R2) dont la partie aval se situe aux environs de 150 m d'altitude. Ces deux replats, signalés par Ek (1957), présentent un intérêt fondamental pour la question de l'âge du site de La Belle-Roche (voir plus haut). En effet, la dénivelée qui sépare le cailloutis fluviatile de la grotte, des replats R1 et R2, ne représente qu'un sixième de l'encaissement total de l'Amblève après l'abandon de la grotte. Indépendamment du fait que la vitesse d'encaissement de l'Amblève n'a pas été linéaire, on pourrait donc supposer que les terrasses R1 et R2 se soient formées pendant la partie finale de l'Époque Matuyama, si le cailloutis fluviatile du site paléontologique correspond effectivement à l'Événement de Jaramillo (Renson *et al.*, 1999).

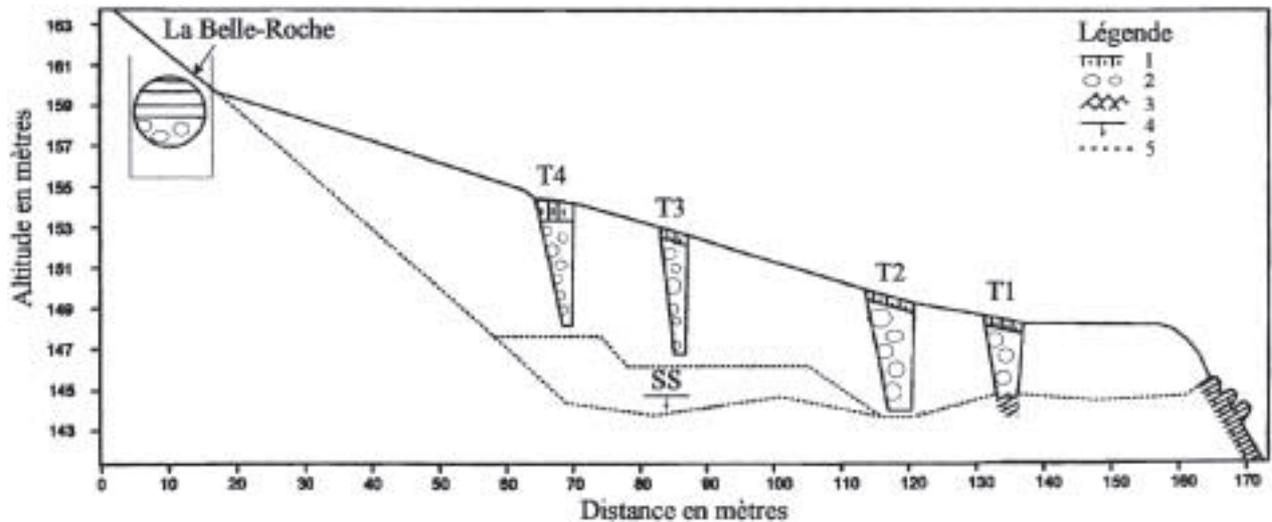
### 5.1. Replat R1

#### 5.1.1. Description

Le bed rock calcaire affleure dans la partie supérieure du versant qui sépare la terrasse de la plaine alluviale actuelle. Il a été atteint à 3,5 m de profondeur en T1, mais en T2, T3 et T4, il se trouve à une profondeur supérieure à 5,5 m. En T3, un sondage sismique a indiqué que la roche en place devrait se trouver à plus de 6 m de profondeur. Les observations faites dans les excavations montrent que ce résultat est acceptable.

Dans chaque cas, des colluvions limoneuses épaisses d'une cinquantaine de centimètres scellent les dépôts. Le cailloutis fluviatile est immédiatement sous-jacent. Le gravier et la blocaille (blocs jusqu'à  $L=50$  cm) constituent l'essentiel de la masse (voir plus loin). Il n'y a pas de structures fluviatiles visibles dans les 2 m supérieurs qui ont subi la pédogenèse, les bioturbations, cryoturbations, ... Plus en profondeur, une structure en lentilles d'environ 1 m de longueur, incluant des lentilles limoneuses et sableuses, indique un écoulement en tresses. Des cryoturbations syngénétiques ont été observées.

Dans l'ensemble, la matrice du cailloutis grossier est fortement limoneuse (origine loessique) : 31 à 47% de la fraction  $< 8\text{mm}$  sont inférieurs à  $62,5 \mu\text{m}/\phi_4$  (6 échantillons). Dans la tranchée T4, qui occupe une position plus marginale dans la terrasse, les lentilles de matériaux fins sont plus abondantes, et la matrice du cailloutis grossier encore plus riche en limon et argile (75 à 93% de la fraction  $< 8\text{mm}$  sont inférieurs à  $62,5 \mu\text{m}/\phi_4$  (4 échantillons). Il existe 15% de galets de quartz dans la classe  $23 < L < 64 \text{ mm}$  ; les autres sont essentiellement des roches siliceuses du Paléozoïque.



**Figure 4.** Coupe à travers le replat R1 (localisation sur la figure 1C : Coupe 1).

Légende : 1, sol actuel ; 2, cailloutis de terrasse de l'Amblève en position primaire ; 3, substratum calcaire ; 4, sondage sismique indiquant que la roche en place n'a pas été atteinte ; 5, profils hypothétiques de la base du cailloutis.

Explications. Le site de La Belle-Roche (avec ses quatre unités lithologiques) est virtuel dans cette coupe. Il a été reporté à son altitude réelle de façon à montrer sa relation altimétrique avec le lambeau de terrasse étudié.

**Figure 4.** Cross section through flat surface R1 (localisation on figure 1C : Coupe 1).

Legend: 1, present soil ; 2, gravel of Amblève terrace in primary position ; 3, bed-rock (limestone); 4, seismic sounding (the arrow indicates that the bed-rock has not been reached at the relevant depth) ; 5, hypothetical profiles of the base of the gravel.

Explanation. The Belle-Roche cave (including its four lithological units) is virtual in this section. It is represented at its real altitude so that the altimetric relationship with the studied terrace appears directly.

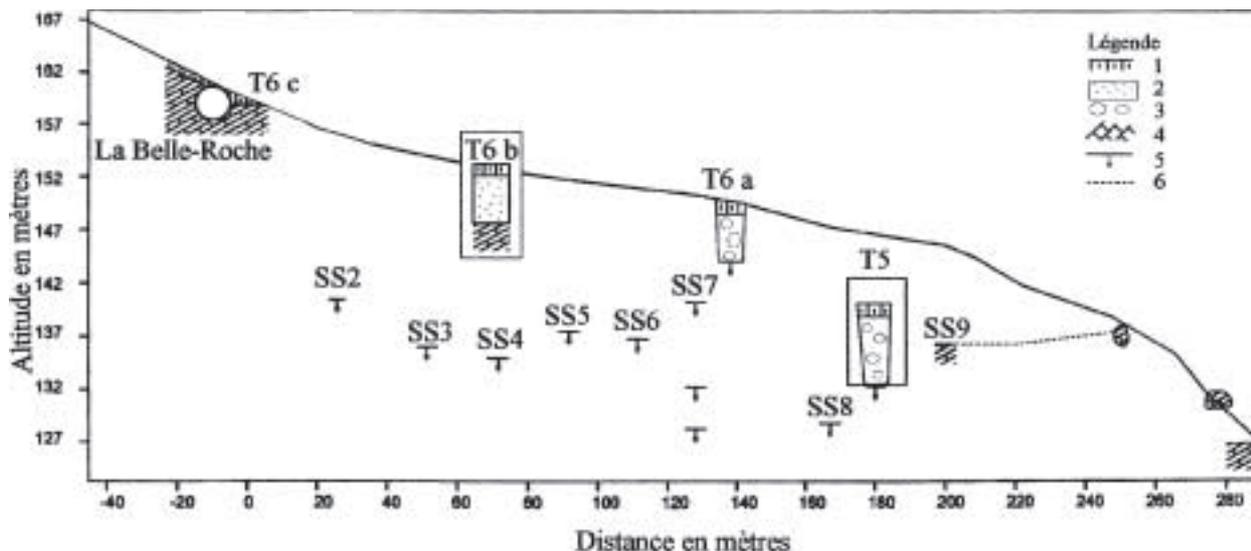
### 5.1.2. Interprétation

L'importance de la fraction loessique dans la matrice fine, les lentilles de petite taille (écoulement tressé) et les cryoturbations syngénétiques indiquent que la mise place des dépôts fluviatiles s'est faite dans des conditions périglaciaires. La couche de limon éolien recouvrant le cailloutis s'épaissit à l'amont de T3, c'est-à-dire dans la concavité de pied de versant et au-dessus de 153 m. La base du cailloutis dans la zone T1-T2 se situe vers 145 m d'altitude. En T3 et T4, elle est nécessairement en dessous de 147 m, et le sondage SS-1 montre qu'elle pourrait être au même niveau qu'en T1-T2. L'épaisseur du cailloutis fluviatile dépasse 5,5 m dans tous les endroits excavés (sauf T1), et dans sa partie la plus épaisse (secteur T3-T4), elle pourrait atteindre un peu plus de 8 m (de 145 à 153 m) dans le cas d'une nappe caillouteuse unique, mais seulement entre 5,5 et 8 m, s'il existe des nappes étagées avec des bases respectives à 148,5 m (T4), à 147 m (T3) et 145 m (T1-T2). Dans ce second cas, le cailloutis de T4 serait plus ancien que celui de T2, dans le premier, c'est l'inverse. Des prélèvements pour les recherches paléomagnétiques ont donc été effectués en T2 et en T4. Dans tous les cas, les observations nouvelles relatives à l'épaisseur des cailloutis de l'Amblève inférieure, attestent des valeurs nettement supérieures à celles estimées antérieurement (Ek, 1956).

### 5.2. Replat R2

#### 5.2.1. Description

Le calcaire en place affleure dans la partie méridionale du replat. Trois tranchées ont pu être réalisées sur le replat R2 en T6a, T6b et T6c. Les autorisations n'ont pas été accordées sur les parcelles localisées le long de la coupe 2, qui n'ont pu être explorées que par sondages sismiques. En T6a, à 150 m d'altitude, l'excavation a atteint 5,5 m de profondeur (144,5 m) à travers un cailloutis fluviatile identique à celui décrit dans les tranchées T1, T2 et T3 du replat R1 ; le calcaire en place n'a pas été atteint. Le cailloutis observé dans l'excavation T6a sur le replat R1 est à un niveau identique (144,5 à 150 m) à celui du replat R2. Les parts des galets de quartz et de matrice fine sont aussi respectivement identiques. Ces deux cailloutis devraient donc appartenir à une même terrasse fluviatile. Deux autres tranchées ont été réalisées sur le flanc oriental du replat (T6b et T6c) à des altitudes respectives de 150,75 m (T6b) et 159 m (T6c). Une mince couverture (< 2 m) de limon éolien, ne contenant que peu de galets, y repose directement sur le calcaire en place fortement karstifié. Le secteur des tranchées T6b/c est donc un aplanissement qui se raccorde à la terrasse fluviatile de la partie aval du replat R2.



**Figure 5.** Coupe à travers le replat R2 (localisation sur la figure 1C : Coupe 2).

Légende : 1, sol actuel ; 2, limon d'origine éolienne ; 3, cailloutis fluviatile en place ; 4, substratum calcaire ; 5, sondage sismique (la flèche indique que la roche en place n'a pas été atteinte) ; 6, profil connu du contact cailloutis/roche en place.

Explications: La coupe de la tranchée T5 est virtuelle dans cette coupe. Elle a été reportée à son altitude réelle de façon à montrer sa relation altimétrique avec le lambeau de terrasse étudié.

**Figure 5.** Cross section through flat surface R2 (localisation on figure 1C : Coupe 2).

Legend: 1, present soil ; 2, silt of eolian origin ; 3, gravel of Amblève terrace in primary position ; 4, bed-rock (limestone) ; 5, seismic sounding (the arrow indicates that the bed-rock has not been reached at the relevant depth) ; 6, profiles of the contact gravel/limestone.

Explanation: The Belle-Roches cave (including its four lithological units) is virtual in this section. It is represented at its real altitude so that the altimetric relation with the studied terrace appears directly.

Huit sondages sismiques ont été réalisés le long de la coupe 2. Dans l'ensemble, les sondages SS-2 à SS-8 ont atteint en profondeur l'altitude de 137 m, sans que la vitesse du calcaire massif ait été atteinte. Les vitesses mesurées (quelques centaines de m/sec) ne permettent pas de faire la différence entre du cailloutis fluviatile, des dépôts de pente limoneux et un bed rock calcaire déstructuré et karstifié. La relation entre SS-2/3/4 et les observations faites dans les tranchées T6b et T6c confirment notamment que les faibles vitesses sismiques enregistrées sous l'aplanissement amont du replat R2 sont liées à la karstification de son substrat.

Dans la partie aval du replat R2, un seul sondage, SS-9, a atteint une vitesse caractéristique du calcaire à 136,25 m, sous 10 m de matériaux moins conducteurs.

### 5.2.2. Interprétation

Le cailloutis observé dans l'excavation T6a permet d'attribuer la partie aval du replat R2 à une terrasse fluviale dont la base est à 144,5 m, ou un peu plus bas. Dans l'ensemble, les faibles vitesses obtenues par sondages sismiques dans les terrains de surface sont en relation non seulement avec la présence de formations meubles, mais probablement aussi avec la forte karstification du calcaire. De profondes poches de dissolution remplies de limon caillouteux affleurent d'ailleurs dans la partie supérieure du front de taille de la carrière.

### 5.3. Synthèse des recherches sur les replats R1 et R2

Les cailloutis périglaciaires observés en T1, T2 et T6a appartiennent à un même niveau de terrasse de l'Amblève ; ils couvrent une tranche d'altitude comprise au moins entre 144,5 et 150 m. Au niveau de T3 et T4, des bases de terrasse en gradins sont possibles, et aideraient à s'en tenir à des épaisseurs raisonnables de cailloutis entre 155 m (T4) et 144,5 m (T6a).

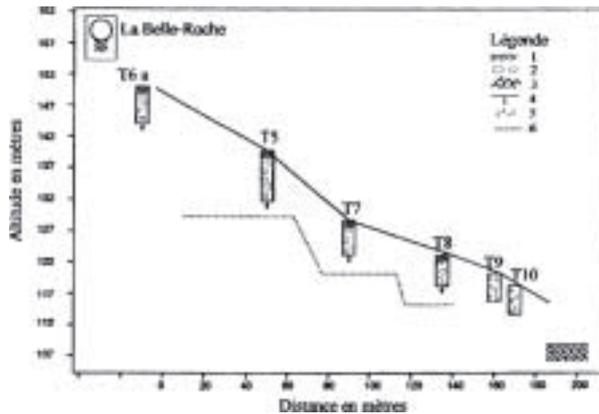
## 6. Les terrasses sous le niveau des replats R1 et R2

Dans le chemin qui descend du replat R2 vers la carrière, des affleurements de cailloux roulés ont été observés, et des excavations ont été réalisées de façon à déterminer leur position primaire ou secondaire (tranchées T5 et T7 à T10).

### 6.1. Fouilles en tranchées

Sur le flanc occidental du replat R2, cinq tranchées ont été réalisées en bordure du chemin qui descend vers la carrière (Fig. 6).

En T5 la tranchée a été faite au pied d'un talus de chemin exhibant du cailloutis fluviatile en place sur 3 m de hauteur. Sur toute la profondeur de l'excavation (5,5 m) le



**Figure 6.** Coupe sur le flanc occidental du replat R2 (localisation sur la figure 1C : coupe 3).

Légende : 1, sol actuel ; 2, cailloutis fluviatile en place ; 3, bed rock calcaire ; 4, bed rock non atteint à la profondeur correspondante ; 5, débris rocheux rejetés de la carrière ; 6, forme hypothétique du profil du contact cailloutis/calcaire.

Explications: La grotte de La Belle-Roche et la tranchée T6a sont virtuels dans cette coupe. Ils ont été reportés à leurs altitudes respectives de façon à montrer leur relation altimétrique avec les cailloutis fluviatiles excavés le long du profil.

**Figure 6.** Cross section through flat surface R2 (localisation on figure 1C : Coupe 3).

Legend: 1, present soil ; 2, gravel of Amblève terrace in primary position ; 3, bed-rock (limestone); 4, bed rock non reached at the corresponding depth ; 5, rock debris of the quarry ; 6, hypothetical profile of the contact gravel/limestone.

Explanation: The Belle-Roche cave and the trench T6a are virtual in this section. They are represented at their real altitudes so that their altimetrical relationship with the studied gravel appears directly.

cailloutis fluviatile a été observé, et la roche en place n'a pas été atteinte. Ceci porte à un minimum de 8,5 m l'épaisseur du cailloutis existant à cet endroit ; son altitude s'étend de 139,75 à 131,25 m. Il s'agit de la plus forte épaisseur de cailloutis jamais observée pour une terrasse de l'Amblève, et même pour n'importe quelle terrasse d'un cours d'eau ardennais. Cette observation a aussi été projetée dans le plan de la coupe 2 de la figure 5.

En T7 et T8, des cailloutis fluviatiles ont été observés sur toute la profondeur des excavations (5,5 m) ; leurs altitudes s'étendent respectivement de 128,75 à 123,25 m (T7) et de 123,25 à 117,75 m (T8). Nous avons trouvé 16% de galets de quartz en T7 et 12% en T8, et la matrice de ces cailloutis est également très riche en fraction fine.

En T9 et T10, les excavations n'ont montré que des remblais de carrière.

N.B. Dans les tranchées T5, T7 et T8, aucun indice de remblai anthropique, ni aucun débris du socle n'ont été observés à plus de 50 cm de profondeur. Une attention particulière a été accordée à ces possibilités en raison de

l'épaisseur exceptionnelle qui est supposée pour les nappes de cailloutis. Dans les trois cas, aucun élément suspect n'a été observé ; rien n'empêche donc de considérer que les cailloutis sont en position naturelle.

## 6.2. Interprétation

Les cartes topographiques antérieures à la carrière ne montrent aucun gradin sur la retombée occidentale de R2. L'hypothèse de terrasses en gradins, portant chacune une épaisseur de cailloutis d'au moins 5,5 m n'a pas de support topographique. L'épaisseur de cailloutis d'au moins 5,5 m, déjà reconnue sur les replats R1 et R2, se confirme pour des cailloutis plus récents de l'Amblève. Il y a au moins 8,5 m de cailloutis en place en T5, ce qui conforte l'hypothèse d'une nappe nettement plus épaisse que 5,5 m sur R1 et R2. L'hypothèse d'une grande poche de dissolution colmatée, orientée W-E parallèlement à la stratification, peut aussi être envisagée. Toutefois, la disposition des galets dans T5, T7 et T8 ne montre aucun indice d'effondrement.

## 7. Etude des cailloutis

### 7.1. Granulométrie

Une granulométrie globale du cailloutis des replats R1 et R2 a été réalisée (Fig. 7A). Elle est représentative des divers cailloutis en place qui ont été excavés sur les deux replats. Les blocs de 50 cm présents dans les cailloutis fluviatiles n'ont pas été considérés dans la distribution, car il aurait alors fallu traiter un volume déraisonnable de sédiment. De toute façon le transport de tels blocs relève probablement d'un processus de transport par radeau de glace indépendant des mouvements de la charge de fond.

La distribution des galets et du sable est unimodale et s'étale de 25,6 cm à 62,5  $\mu$ m, avec une forte dissymétrie positive, et une classe modale comprise entre 64 et 128 mm qui contient à elle seule 26%-poids du sédiment. La part des limons et argiles représente 4%-poids, ce qui est élevé pour un cailloutis fluviatile en place. En effet, en appliquant la même méthode au cailloutis de l'Amblève actuelle, on ne trouve que moins de 1%-poids de matrice. En y ajoutant l'intercalation de lentilles de sable et limon, observées notamment en R2, le cailloutis des replats R1-R2 peut donc être attribué à un écoulement chargé de type périglaciaire, suggérant une phase d'agradation particulièrement intense qui expliquerait l'épaisseur exceptionnelle du cailloutis.

Les cailloutis des tranchées T7 et T8 présentent des distributions granulométriques identiques à celle des cailloutis des replats R1 et R2 ; ils peuvent donc également être attribués à des écoulements chargés de type périglaciaire.



quartz, ce qui indique qu'ils ne proviennent pas d'une très haute terrasse, mais bien d'un niveau à peine plus élevé, peut-être même celui du cailloutis de la grotte (157 m).

## 8. Paléomagnétisme

Des échantillons orientés à la boussole ont été prélevés dans des lentilles de sédiments fins (limono-argileux) des tranchées T2 et T4 dans le but de déterminer leur polarité magnétique. Tous les échantillons prélevés ont subi une désaimantation partielle par champs alternatifs pour isoler l'aimantation rémanente caractéristique stable. Les échantillons prélevés à la base de la tranchée T2 portent une aimantation à direction intermédiaire, caractérisée par une déclinaison élevée. Tous les autres échantillons ont une aimantation caractéristique relativement stable de polarité normale, probablement d'origine détritique. Aucune inversion du champ n'a donc été enregistrée. Les directions intermédiaires à la base de la tranchée T2 sont probablement causées par la présence de graviers dans les échantillons ou pourraient refléter le champ transitoire pendant une inversion. Seul un examen plus approfondi en cours permettra de trancher.

## 9. La vitesse d'encaissement de l'Amblève inférieure

La discussion relative à la vitesse d'encaissement de l'Amblève inférieure passe nécessairement par une tentative de corrélation avec les modèles chronologiques proposés pour les terrasses de la Meuse dans le Limbourg néerlandais (Felder & Bosch, 1989 ; van den Berg, 1996 ; Van Balen *et al.*, 2000).

### 9.1. Raccord des terrasses de la Belle-Roche avec celles de la Meuse

Sur ce plan, divers auteurs sont en désaccord. Cornet (1995) et Pissart *et al.* (1997) rapportent le cailloutis de la grotte à la 'terrasse principale' de la Meuse (sous-entendu: la terrasse de Hermée, soit T4 de Macar, 1938). Renson *et al.* (1999) en font par contre un équivalent de la terrasse d'Eben-Sint Geertruid 3 (*sensu* Juvigné & Renard, 1992), intercalée entre les niveaux T4/4' et T5 de Macar (1938). Quant à van Balen *et al.* (2000), ils considèrent que le cailloutis de la grotte « correspond grossièrement à T4 », parce qu'il est situé légèrement au-dessus de restes de la 'terrasse principale inférieure', qu'ils reconnaissent dans les replats R1 et R2.

A ces divergences, il faut ajouter que Felder *et al.* (1989), puis Juvigné & Renard (1992) ont montré, entre autres, qu'il n'était pas possible de maintenir comme tel le niveau de terrasse principale de la Meuse *sensu* Macar (1938), car la corrélation entre la terrasse de Hermée et le plateau de Campine n'est pas possible, même quand on tient compte

des paléoméandres encaissés développés successivement par la Meuse entre Liège et Maastricht.

Deux éléments peuvent faire avancer la discussion. D'un côté, l'ensemble des études de terrasses dans les bassins de la Meuse inférieure, et du Rhin à l'intérieur du Massif schisteux rhénan et dans la Baie du Rhin inférieur, soulignent indiscutablement l'existence d'un niveau de terrasse principale, composé en réalité d'un complexe de plusieurs niveaux très proches les uns des autres en altitude. Outre l'extension globale de cet ensemble de niveaux, il a pour caractéristique d'être le niveau charnière entre les larges paléovallées du Pléistocène inférieur et l'entaille très nette développée ultérieurement (Hoselmann, 1996 ; Meyer & Stets, 1998). A La Belle-Roche, ce niveau correspond de toute évidence aux replats R1 et R2, dont la position sur le versant, l'extension et la puissance des dépôts sont bien celles d'une unité principale. Dans la région de Liège et Maastricht, il peut être assimilé au complexe de terrasses mosanes de Hermée, Sint Pietersberg et Plateau de Campine.

Dans la région de Visé, la base de la terrasse de Bombay (T5) est à 129 m d'altitude, soit ~13 m plus haut que celle de la terrasse de Hermée (T4). Plus au nord, à hauteur de Maastricht, elles sont respectivement à ~125 et 109 m, la base de la terrasse d'Eben-Sint Geertruid 3 s'intercalant à 116 m. Or, à La Belle-Roche, les dépôts fluviaux de la grotte sont situés environ 12 m au-dessus de la base de la terrasse R1-R2. Si celle-ci peut être assimilée à T4, on serait alors tenté de rapporter le cailloutis de la grotte au niveau T5 de la Meuse puisque, a priori, les niveaux de terrasse successifs divergent généralement d'amont en aval. Le raccord R1-R2 {niveau 6 de Ek (1957)} avec T4 avait déjà été proposé par Macar (1957).

Par ailleurs, les auteurs s'accordent à mettre le Plateau de Campine en corrélation avec la jünger Hauptterrasse du Rhin et de la Moselle (jHT). L'âge de cette dernière est basé sur des déterminations du sens du paléomagnétisme faites dans la carrière de Kärlich, laquelle se trouve dans une zone où la subsidence est subcontinue depuis l'Oligocène. De la base au sommet du dépôt fluvial, une alternance de sens 'normal- inverse- normal' y a été reconnue et a été attribuée à la période qui va de l'Événement de Jaramillo à la transition Brunhes-Matuyama (Koci *et al.*, 1973 ; Brunnacker *et al.*, 1976 ; Boenigk & Frechen, 1998). En conséquence, le niveau du replat principal, corrélé à la terrasse T4 de la Meuse, a été abandonné à Kärlich au début de la Période de Brunhes, c'est-à-dire il y a environ 0,79 Ma. Cet âge devrait donc être commun aux parties finales de la jHT et du Plateau de Campine (Fromm, 1987; Felder & Bosch, 1989; Meyer & Stets, 1998; van Balen *et al.*, 2000).

Ces considérations, à la base des modèles chronologiques de Felder & Bosch (1989), van den Berg (1996) et van Balen *et al.* (2000) pour les terrasses de la Meuse limbourgeoise, conduisent à attribuer des âges respectifs d'environ 0,79 Ma au niveau R1-R2 de l'Amblève inférieure, et d'environ 1 Ma au cailloutis fluvial de la grotte de La Belle-Roche. Le paléomagnétisme normal du 'limon

inférieur' de la grotte, immédiatement sus-jacent à ce cailloutis, ne serait donc pas nécessairement un héritage de la Période Brunhes, comme l'ont proposé Cordy *et al.* (1993), mais pourrait tout aussi bien appartenir à l'Événement de Jaramillo, comme l'ont suggéré Renson *et al.* (1999).

## 9.2. La vitesse d'encaissement de l'Amblève inférieure

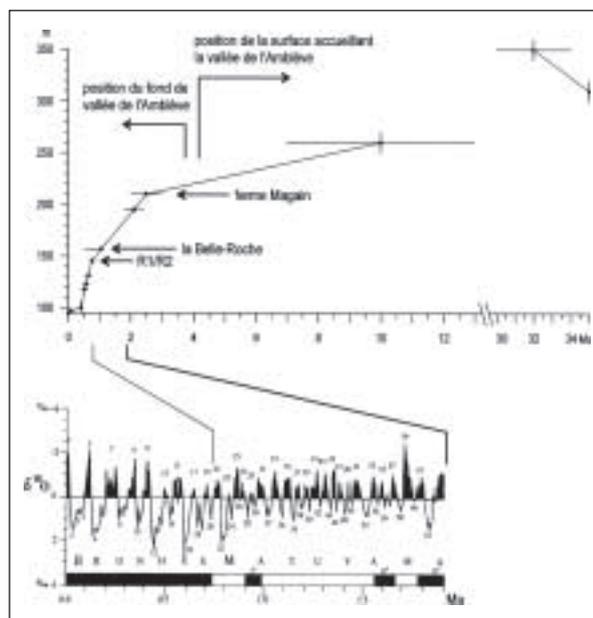
La vitesse d'encaissement de l'Amblève doit être mise en relation avec le soulèvement de l'Ardenne. En conséquence des considérations précédentes, les points d'ancrage suivants sont disponibles pour esquisser l'évolution de l'incision de la vallée de l'Amblève inférieure:

- La trace de la surface pré-oligocène se trouve à une altitude de l'ordre de 320 m au droit de La Belle-Roche (Demoulin, 1986). Si on tient compte de l'existence d'une couverture sableuse tongrienne qui ne dépassa probablement pas quelques dizaines de mètres d'épaisseur, l'Amblève inférieure pourrait s'être installée originellement (vers 30 Ma?) sur une surface dont l'altitude actuelle serait d'environ 350m.
- Le raccord de la plus haute terrasse de l'Amblève inférieure (210 m d'altitude à La Belle-Roche) avec la Trainée Mosane lui assigne un âge d'environ 2,5 Ma.
- Le cailloutis fluviatile de la grotte de La Belle-Roche devrait s'être mis en place soit pendant l'Événement de Jaramillo, soit très peu de temps auparavant (entre 0,85 Ma et 1,03 Ma).
- La terrasse des replats R1 et R2 a probablement été abandonnée aux environs de la transition Matuyama-Brunhes (0,79 Ma).
- Paulissen (1971) a montré que l'encaissement de la Meuse dans le Limbourg est inférieur à 5 mètres depuis la mise en place de la terrasse d'Eisden (Riss).
- Quinif (1998) a constaté que des stalagmites se formaient déjà au niveau de la plaine alluviale actuelle des rivières ardennaises vers 0,4 Ma. Ceci implique un ralentissement brusque de l'incision des rivières ardennaises au cours du Pléistocène moyen.
- La présence du téphra de Rocourt (0,1-0,06 Ma) est limitée aux plus basses terrasses de la Meuse et de ses affluents ardennais, au maximum quelques mètres plus hautes que la plaine alluviale actuelle (Bustamante, 1971 ; Juvigné, 1979).

L'ensemble des données actuellement disponibles sur le site de La Belle-Roche s'intègre donc parfaitement dans le schéma proposé d'une incision quaternaire des rivières ardennaises s'accéléralant brusquement entre ~0,8 et 0,4 Ma, pour ensuite ralentir considérablement (Fig. 8A). A La Belle-Roche, nous calculons des vitesses d'incision de ~5 mm/ka avant 2,5 Ma, 38 mm/ka entre 2,5 et 0,79 Ma et 100 mm/ka entre 0,79 et 0,4 Ma. Ces valeurs sont compatibles avec celles de dénudation déduites de l'étude des isotopes cosmogéniques pour l'ensemble de l'aire de drainage de la Meuse en amont de Maastricht, lesquelles sont respectivement de 25-35 mm/ka entre 1,6 et 0,7 Ma,

et 30-60 mm/ka après 0,7 Ma (Schaller *et al.*, 2003).

En ce qui concerne la cause du soulèvement de l'Ardenne, pas plus dans l'Amblève inférieure qu'ailleurs dans le massif, il n'est encore possible de définir avec certitude la (les) cause(s) exacte(s) de cette accéléralation. Elle pourrait aussi bien avoir répondu à une impulsion tectonique (mais avec quel retard?) qu'au déséquilibre engendré par l'occurrence à partir de 0,8 Ma de périodes nettement plus froides qu'auparavant (Fig. 8B). Dans ce dernier cas, il faudrait aussi supposer qu'un nouvel équilibre dynamique aurait été atteint vers 0,4 Ma. Toutefois, la modélisation du soulèvement induit par le panache mantellique de l'Eifel reproduit assez fidèlement la distribution des soulèvements mesurés dans le Massif schisteux rhénan et l'Ardenne pour la période 0,79-0,4 Ma (Garcia-Castellanos *et al.*, 2000) et favorise jusqu'à nouvel ordre l'origine tectonique de l'accéléralation de l'incision des rivières.



**Figure 8.** Variations de la vitesse d'encaissement de l'Amblève inférieure depuis l'Oligocène. Avant 2,5 Ma, les valeurs indiquées concernent l'altitude actuelle des topographies tertiaires peu différenciées dans lesquelles l'Amblève évolua successivement. Après 2,5 Ma, elles se rapportent à l'altitude actuelle des bases des terrasses répertoriées. Les incertitudes sur l'âge et l'altitude des niveaux successifs sont figurées par des barres horizontales et verticales. En bas, stades isotopiques et périodes paléomagnétiques du Quaternaire (Specmap, d'après Imbrie *et al.*, 1981).

**Figure 8.** Incision rate variations of the lower Amblève since the Oligocene. Before 2.5 Ma, the plot displays the present-day elevation of the tertiary-levelled topographies which the Amblève river successively flowed on. After 2.5 Ma, it shows the present-day elevation of the bases of the identified fluvial terraces. Horizontal and vertical bars respectively denote the uncertainty of age and elevation of the successive levels. Bottom. Quaternary isotopic stages and palaeomagnetic periods (Specmap, after Imbrie *et al.*, 1981).

## 10. Conclusion

La confrontation que ce papier propose entre les données déjà publiées à propos du site archéologique de La Belle-Roche et des données nouvelles concernant les terrasses et l'évolution quaternaire de la vallée de l'Amblève inférieure conforte l'hypothèse avancée par Renson *et al.* (1999) à propos de l'âge ancien (~1 Ma) du cailloutis fluvial sur lequel reposent les dépôts fossilifères à artefacts de la grotte de La Belle-Roche. Cette conclusion montre que, plus que jamais, la clef de l'âge des niveaux archéologiques se trouve dans la démonstration de la présence ou de l'absence d'une lacune stratigraphique importante (500 ka) entre le cailloutis fluvial et le 'limon inférieur' de la grotte. Ceci est d'autant plus vrai qu'après les doutes émis quant à l'origine humaine des artefacts trouvés à Kärlich, en Allemagne (Baales, communication écrite), le site de La Belle-Roche demeure le seul en Europe nord-occidentale où une présence humaine si ancienne serait attestée.

Sur le plan géomorphologique, les fouilles réalisées dans les terrasses de l'Amblève à La Belle-Roche ont mis en évidence l'épaisseur anormalement importante des dépôts alluviaux correspondant à plusieurs niveaux de terrasse à partir de R1-R2. Ces épaisseurs dépassent avec certitude 5,5 m, et pourraient bien atteindre 8 m sur les replats R1-R2. En T5, les dépôts fluviaux dépassent même 8,5 m d'épaisseur. Ces épaisseurs, qu'aucune particularité tectonique locale ne semble pouvoir justifier, n'ont à ce jour reçu aucune explication.

Enfin, les données géomorphologiques recueillies dans la région de Fraiture – La Belle-Roche, et notamment l'identification des replats R1-R2 comme équivalents de la 'terrasse principale' des rivières ardennes-rhénanes, permettent de caler l'encaissement de l'Amblève inférieure dans le modèle actuellement admis du soulèvement quaternaire du massif ardennais. On calcule ainsi des vitesses d'incision de 38 mm/ka entre 2,5 et 0,79 Ma et de 100 mm/ka entre 0,79 et 0,4 Ma, parfaitement compatibles avec les vitesses déduites de l'étude des isotopes cosmogéniques.

**Remerciements.** Nous remercions le Fonds national de la Recherche scientifique qui nous a accordé un 'Crédit aux Chercheurs' sans lequel ce travail n'aurait pas été possible.

## 11. References

- BLESS, M.J.M., DEMOULIN, A., FELDER, P.J., JAGT, J.W.M. & REYNDERS, J.P.H., 1990. The Hautes Fagnes area (NE Belgium) as a monadnock during the Late Cretaceous. *Annales de la Société géologique de Belgique*, 113: 75-93.
- BOENIGK, W. & FRECHEN, M., 1998. Zur Geologie der Deckschichten von Kärlich/Mittelrhein. *Eiszeitalter und Gegenwart* 48, 38-49.
- BRUNNACKER, K., BOENIGK, W., KOCI, A. & TILMANN, W., 1976. Die Matuyama-Brunhes-Grenze an Rhein und Donau. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie* 151, 358-378.
- BUSTAMANTE, S., 1974. Les minéraux lourds des alluvions du bassin de la Meuse. *Compte Rendu de l'Académie des Sciences de Paris*, 278 : 561-564.
- CORDY, J.-M., 1980. Le paléokarst de la Belle-Roche (Sprimont, Liège), premier gisement paléontologique et archéologique du Pléistocène moyen ancien en Belgique. *Compte Rendu de l'Académie des Sciences de Paris, série D*, 291: pp. 749-751.
- CORDY, J.-M. & ULRIX-CLOSSET, M., 1991. Synthèse des dernières campagnes de sauvetage au gisement du Paléolithique inférieur de la Belle-Roche (Sprimont). *Notae Praehistoricae*, 10: pp.3-13.
- CORDY, J.-M., BASTIN, B., DEMARET-FAIRON, M., EK, C., GEERAERTS, R., GROESSENS-VAN DYCK, M.-C., OZER, A., PEUCHOT, R., QUINIF, Y., THOREZ, J. et ULRIX-CLOSSET, M., 1993. La grotte de la Belle-Roche (Sprimont, Province de Liège) : un gisement paléontologique et archéologique d'exception au Benelux. *Bulletin de l'Académie royale de Belgique, Classe des Sciences*, 6<sup>e</sup> s., 4 : 165-186.
- CORNET Y., 1995. L'encaissement des rivières ardennaises au cours du Quaternaire. In Demoulin A. Ed., *L'Ardenne. Essai de géographie physique*, Département de Géographie physique, Université de Liège: 155-177.
- DANSGAARD, W., JOHNSEN, S.J., CLAUSEN, H.B., DAHL-JENSEN, D., GUNDESTRUP, N.S., HAMMER, C.U., HVIDBERG, C.S., STEFFENSEN, J.P., SVEINBJÖRNS-DOTTIR, A.E., JOUZEL, J. & BOND, G., 1993. Evidence for a general instability of past climate from a 250-kyr ice-core record. *Nature*, 364: 218-220.
- DEMOULIN, A., 1986. Les surfaces d'érosion crétaciques et paléogènes du nord de l'Ardenne-Eifel. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 30: 53-69.
- DEMOULIN, A., 1995. Les surfaces d'érosion méso-cénozoïques en Ardenne-Eifel. *Bulletin de la Société géologique de France*, 166: 573-585.
- DRAILY, C., 1998. L'industrie lithique du Paléolithique ancien de « La Belle-Roche » à Sprimont (province de Liège). *Etudes et documents*, Namur, 5 : 23-56.
- DUPUIS, C., NICAISE, D., DE PUTTER, D., PERUCHOT, A., DEMARET, M. & ROCHE, E., 2003. Miocene cryptokarsts of Entre-Sambre-et-Meuse and Condroz plateaus. Paleoenvironment, evolution and weathering processes. *Géologie de la France*, 2003(1): 27-31.
- EK, C., 1956. *L'évolution de l'Ourthe et de l'Amblève inférieures au cours du Quaternaire*, Laboratoire de Géographie physique, Université de Liège, Mémoire de licence inédit, 120 pp.

- EK, C., 1957, L'évolution de l'Ourthe et de l'Amblève inférieures. *Annales de la Société géologique de Belgique*, 80 : B 333-354.
- FELDER, W.M. & BOSCH, P.B., 1989. *Geologische kaart van Zuid-Limburg en omgeving, 1/50.000*, Afzettingen van de Meuse. Rijks Geologische Dients, Heerlen.
- FROMM, K., 1987, Paläomagnetische Bestimmungen zur Korrelierung altpleistozäner Terrassen am Mittelrhein. *Mainzer geowissenschaftliche Mitteilungen*, 16: 7-29.
- GARCIA-CASTELLANOS, D., CLOETINGH, S. & VAN BALEN, R., 2000. Modelling the Middle Pleistocene uplift in the Ardennes-Rhenish Massif: thermo-mechanical weakening under the Eifel? *Global and Planetary Change*, 27: 39-52.
- GIROLIMETTO, F., 1990. *Texte explicatif de la carte géomorphologique de la Belgique, Feuille 49 : Spa*. Centre national de Recherches géomorphologiques, Section wallonne, Documents de Travail 29, 120 p.
- HOSELMANN, C., 1996. Der Hauptterrassen-Komplex am unteren Mittelrhein. *Zeitschrift der deutschen geologischen Gesellschaft*, 147: 481-497.
- IMBRIE, J., HAYS, D., MARTINSON, D.G., MCINTYRE, A., MIX, A.C., MORLEY, J.J., PISIAS, N.G., PRELL, W.L. & SHACKLETON, N.J., 1984. The orbital theory of Pleistocene climate: support from a revised chronology of the marine <sup>18</sup>O record. In A. Berger et al., (eds) *Milankovitch and climate*, 269-306, Dordrecht.
- JUVIGNE, E., 1979. L'encaissement des rivières ardennaises depuis le début de la dernière glaciation. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 23: 291-300.
- JUVIGNE, E. & RENARD, F., 1992. Les terrasses de la Meuse de Liège à Maastricht, *Annales de la Société géologique de Belgique*, 115(1) : 167-186.
- KOCI, A., SCHIRMER, W. & BRUNNACKER, K., 1973. Paläomagnetische Daten aus dem mittleren Pleistozän des Rhein-Main-Raumes. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie* 148, Mh 9, 545-554.
- MACAR, P., 1938. Compte-rendu de l'excursion du 24 avril 1938 consacrée à l'étude des terrasses de la Meuse entre Liège et l'Ubagsberg (Limbourg hollandais). *Annales de la Société géologique de Belgique*, 61: B187-217.
- MACAR, P., 1957. Résultats d'ensemble d'études récentes sur les terrasses fluviales et les formes d'érosion associées en Haute Belgique. *Annales de la Société géologique de Belgique*, 80 : 395-412.
- MEYER, W. & STETS, J., 1998. Junge Tektonik im Rheinischen Schiefergebirge und ihre Quantifizierung. *Zeitschrift der deutschen geologischen Gesellschaft*, 149: 359-379.
- PAULISSEN, E., 1971. *Morfologie en Kwartair-stratigraphie van de Maasvallei in Belgisch Limburg*. Katholiek Universiteit Leuven, Proefschrift, 387 p.
- PISSART, A., HARMAND, D. & KROOK, L., 1997. L'évolution du cours de la Meuse de Toul à Maastricht depuis le Miocène : corrélations chronologiques et traces de capture de la Meuse lorraine d'après les minéraux denses. *Géographie physique et Quaternaire*, 51 : 267-284.
- QUINIF, Y., 1998. Karst et évolution des rivières: le cas de l'Ardenne. *Spéléochronos HS*: 145-148.
- RENSON, V., 1997. *La grotte de La Belle-Roche- Etude sédimentologique et chronostratigraphique*. Département de Géographie physique, Université de Liège, Mémoire de licence inédit, 148 pp.
- RENSON, V., JUVIGNE, E. & CORDY, J.-M., 1999. Découverte en faveur d'une révision de la chronologie du Quaternaire: la grotte de La Belle-Roche (Belgique); hypothèse nouvelle concernant l'ancienneté de l'Homme en Europe du nord-ouest. *Compte Rendu de l'Académie des Sciences de Paris (Sciences de la Terre et des Planètes)*, 328: 635-640.
- SCHALLER, M., VON BLANCKENBURG, F., HOVIU, N. & KUBIK, P., 2003. Response of catchment-wide erosion rates on climatic and tectonic changes over the last 1.6 Ma. *Geophysical Research Abstracts*, 5: 536.
- ULRIX-CLOSSET, M. et CORDY, J.-M., 1991. Les premiers peuplements humains dans le Bénélux. In Bonifay, E. et Vandermeersch, B. (éds), *Les premiers européens*, Ed. Com. Trav. Hist. et Scient., 177-197, Paris.
- VAN BALEN, R.T., HOUTGAST, R.F., VAN DER WATEREN, F.M., VANDENBERGHE, J. & BOGAART, P.W., 2000. Sediment budget and tectonic evolution of the Meuse catchment in the Ardennes and the Roer Valley Rift System. *Global and Planetary Change*, 27 : 113-129.
- VAN DEN BERG, M. W., 1996. *Fluvial sequences of the Maas : a 10 Ma record of neotectonics and climatic change at various time-scales*, Thesis University Wageningen, 181 pp.
- WIDART, S., 1996. *Grotte de la Belle-Roche. Paléoenvironnement et géomorphologie. Vers une stratégie de protection*. Mémoire de Licence inédit. Université de Liège, Département de Géographie physique, 228 p.

Manuscrit reçu le 16.03.2004; accepté pour publication le 20.08.2004.