Zeitschrift: Cahiers d'archéologie romande

Herausgeber: Bibliothèque Historique Vaudoise

Band: 152 (2015)

Artikel: Onnens-Praz Berthoud (canton de Vaud, Suisse) : contexte, environnement et occupations du Mésolithique au début du Néolithique

Autor: Jakob, Bastien / Falquet, Christian / Arbogast, Rose-Marie

Kapitel: 4: Étude malacologique

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-835636

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 11.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

4. Étude malacologique

Nigel Thew
traduit de l'anglais par Jeannette Kraese

4.1. Introduction

De nombreuses colonnes de sédiments ont été prélevées au cours de la fouille du site d'Onnens-Praz Berthoud. Trois d'entre elles (col. 7, 14 et QX-267) ont été choisies pour une étude environnementale qui couple analyse malacologique, sédimentologique et micromorphologique (chap. 3). Elles se localisent au nord-est de la surface fouillée, à proximité de la résurgence karstique (fig. 23), là où se trouvent les couches les plus épaisses et les moins décalcifiées.

L'analyse des faunes malacologiques avait pour but l'étude diachronique des changements environnementaux locaux, y compris l'impact des activités anthropiques, la compréhension du contexte sédimentaire dans lequel les différentes couches ont été déposées et la recherche d'indices de changements climatiques. Cette analyse devait également faciliter la corrélation entre les couches des colonnes étudiées. En outre, les informations tirées de la biostratigraphie malacologique devaient apporter des indications concernant la datation relative des différents ensembles sédimentaires.

4.2. Méthodes

Quarante-deux échantillons de sédiment en vrac de 1 à 5 kg ont été prélevés dans les trois colonnes d'étude en vue d'analyses malacologiques. De ces quarante-deux échantillons en vrac, vingt-quatre ont été retenus (fig. 29), de façon à ce que la séquence stratigraphique soit représentée en entier, tout en mettant l'accent sur l'étude des couches inférieures attribuées au Mésolithique et au Néolithique.

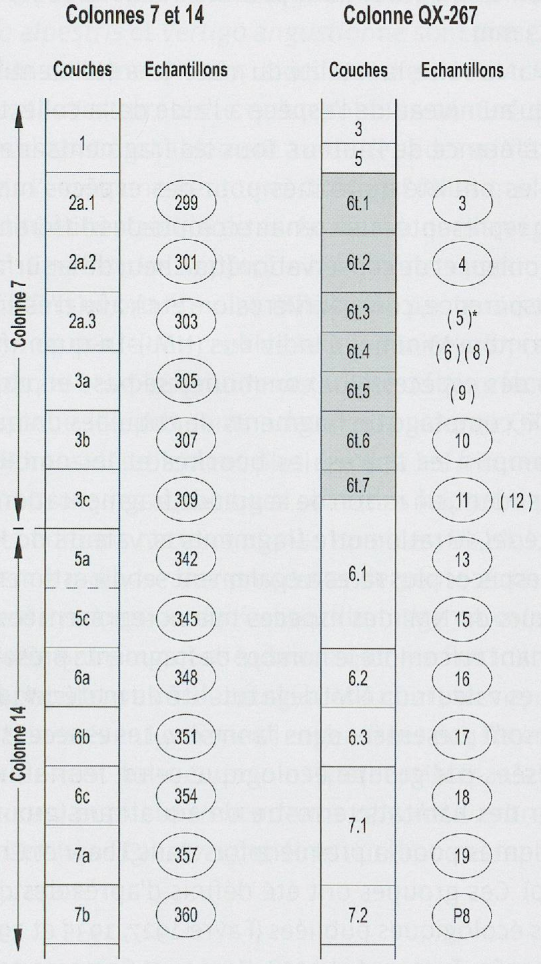


Fig. 29. Position stratigraphique des 24 échantillons retenus. Les colonnes 7 et 14 se complète pour formé le premier profil, alors que le second profil, la colonne QX-267, comprend des couches de tuf (en grisé).
* Matériel de ces échantillons survolé, mais pas analysé en détail.

Pour les échantillons sélectionnés, 0.55 à 2.1 kg de sédiment ont été tamisés avec de l'eau dans une série de tamis de 4 mm, 2 mm, 1 mm, 0.5 mm et 0.3 mm. Après séchage, les résidus de 0.5 mm et plus ont été triés en entier sous une loupe binoculaire, de façon à extraire les matériaux malacologiques. En ce qui concerne les résidus de 0.3 mm, seuls les échantillons les plus pauvres ont été triés (éch. QX-267-P8, QX-267-19 et QX-267-8). Toutes les coquilles entières et fragmentées ont été extraites des fractions de 4 mm, 2 mm et 1 mm de tous les échantillons. Les coquilles entières, les *apices* et les fragments de coquilles quantifiables ont été extraits de la fraction de 0.5 mm pour des espèces bien représentées, alors que pour des taxons plus rares tous les fragments identifiables ont été triés. Pour les échantillons pauvres en mollusques, tous les fragments de coquilles ont été extraits pour les fractions de 0.5 mm et 0.3 mm.

Par la suite, la totalité du matériel a été identifiée jusqu'au niveau de l'espèce à l'aide de la collection de référence de l'auteur. Tous les fragments identifiables ont été quantifiés pour des espèces moins bien représentées, en tenant compte des différences de couleur et de conservation (fraîcheur de la surface, transparence, corrosion/érosion, etc.), afin d'estimer le Nombre Minimal d'Individus (NMI). La quantification des espèces plus communes se base en partie sur le comptage de fragments de coquilles uniques, y compris les apices, les bouches et les ombilics. Cependant, en raison de la grande fragmentation du matériel, le ratio entre fragments et valeurs du NMI des espèces plus rares a également servi à estimer les valeurs du NMI des espèces mieux représentées en prenant en compte le nombre de fragments présents.

Les valeurs du NMI de la totalité du matériel identifié sont présentées dans l'annexe 4. Les espèces sont classées par groupe écologique selon leur affinité pour des habitats terrestre ou aquatique (groupes présentés pour la première fois dans Thew et Chaix 2000). Ces groupes ont été définis d'après des données écologiques publiées (Favre 1927, 1935 et 1941 ; Ellis 1962 ; Turner *et al.* 1998 ; Kerney et Cameron 1999 ; Glöer et Meier-Brook 2003) ainsi que des observations de terrain de l'auteur en Suisse et dans les pays limitrophes. L'expression des valeurs des groupes d'affinité terrestre en pourcentages permet une vision plus claire des tendances écologiques. Le tableau répertorie également les restes biologiques terrestres (granules de lombrics, charbons, graines, coquilles d'œufs d'oiseaux ainsi que des fragments d'ossements de mammifères petits et grands), le matériel archéologique (micro-esquilles de silex et de cristal, micro-fragments de céramique et pierres brûlées), le matériel biologique aquatique (valves d'ostracodes et fourreaux de trichoptères minéralisés), de même que les informations concernant la nature des sédiments échantillonnés (description de l'échantillon, fréquence des fragments de tuf).

4.3. Résultats

Au total, on compte un nombre minimum de 47'319 individus dans le matériel malacologique des 24 échantillons analysés qui se répartissent entre 44'951 mollusques terrestres de 72 espèces et 2368 mollusques aquatiques de six taxons. Il y a également 169 individus de l'espèce souterraine *Cecilioides acicula* qui n'ont pas été inclus dans le décompte total parce que ce mollusque fouisseur peut descendre jusqu'à un mètre ou plus sous la surface du sol (Evans 1972).

Le matériel est bien conservé mais très fragmenté, y compris les coquilles dans les dépôts de tufs, les tufs limoneux et les limons tufeux (c. 7a, 6c, 6b, 6a, 6.2, 6.1 et 6t.6 à 6t.1). Ce fait surprend, car d'habitude les coquilles provenant de sédiments tufeux sont conservées en entier. Ce taux de fragmentation élevé pourrait être dû à une compaction sédimentaire post-dépositionnelle, bien que des sédiments terrestres fins à faible contenu organique tels que des tufs ne sont généralement pas sujets à ce problème. En comparaison, les coquilles des sédiments tufeux analysés des sites à l'ouest du village d'Onnens (Beau Site, La Golette, Le Motti et La Léchère) étaient beaucoup mieux conservées (Stucki et Thew 2011). Il est donc plus probable que la fragmentation des coquilles de Praz Berthoud a eu lieu avant leur enfouissement, c'est-à-dire pendant leur déplacement par le ruissellement de surface. La présence constante et en quantités relativement élevées de pierres jurassiques et alpines dans les dépôts indique l'existence d'un environnement sédimentaire influencé de manière régulière par l'eau courante, y compris les eaux phréatiques résurgentes et le ruissellement de surface. En raison de

la situation géographique des trois colonnes d'étude à la base des premiers contreforts de la chaîne du Jura, le matériel malacologique a probablement été lessivé des coteaux proches. L'absence d'une abrasion importante de la surface des coquilles confirme que leur transport et leur enfouissement étaient rapides, avec un déplacement sur quelques mètres seulement pour la plupart du matériel.

4.4. Malacozones, biostratigraphie et datation relative

Les résultats de l'analyse malacologique des trois colonnes d'étude montrent que tous les échantillons, même ceux prélevés dans les parties inférieures, possèdent du matériel malacologique, mais en fréquences très variables (annexe 4). Une évaluation détaillée des assemblages a permis de disposer les vingt-quatre échantillons analysés dans sept malacozones principales (PB-1 à PB-7). Cette répartition est basée sur la fréquence ou l'absence des espèces marqueurs biostratigraphiques, les hausses ou les baisses de pourcentages dans les espèces les plus courantes ainsi que la représentation proportionnelle des différents groupes écologiques. Il a également été possible de faire des subdivisions en subzones sur la base de différences plus fines entre les assemblages.

Les corrélations entre les couches des trois colonnes d'échantillons (fig. 30) sont basées sur les malacozones et les caractéristiques sédimentaires des dépôts documentées sur le terrain et déterminées par l'observation des résidus de tamis (annexe 4). La définition des malacozones et des corrélations entre les colonnes sont établies sur des comptages de 840 à plus de 7000 mollusques par échantillon. La possibilité d'une fausse corrélation est minimale avec des assemblages d'une telle importance. La présence de mollusques aquatiques, un très bon indicateur de l'activité de la source, a également été utile pour définir les malacozones et les corrélations.

Par la suite, les malacozones de Praz Berthoud ont été datées de manière relative par rapport à des biozones régionales (fig. 30) en les comparant avec les malacozones de la séquence bien datée du marais de Bataillard (Liniger et Thew 2008) et la séquence partiellement datée de l'abri de la Cure à Baulmes (Thew, à paraître). Les malacozones de Praz Berthoud sont également comparées à celles définies pour une série de sites localisés à l'ouest du village d'Onnens (Beau Site, La Golette, Le Motti et La Léchère ; Stucki et Thew 2011).

De petites différences entre les assemblages des colonnes QX-267 et 14 ont quelque peu compliqué la définition des malacozones. Ainsi, en colonne 14, les espèces marqueurs *Helicodonta obvoluta* (fig. 31) et *Sphyradium doliolum* apparaissent dans la malacozone PB-2a (annexe 4), mais en colonne QX-267, le premier de ces deux taxons n'apparaît qu'à la fin de la subzone PB-2b, et le deuxième n'apparaît même qu'en zone PB-3a. De même, *Trichia edentula* apparaît dans la malacozone PB-3a en colonne QX-267, mais seulement en zone PB-4a en colonne 14. De plus, les espèces *Columella edentula, Vertigo pusilla, Vertigo alpestris* et *Vertigo angustior* ne sont présentes qu'en colonne QX-267, alors que l'espèce *Acicula lineata* n'est présente qu'en colonne 14. Ces différences sont probablement à imputer à des variations dans l'environnement terrestre local telles que l'humidité et la stabilité de surface ainsi que la végétation. En effet, les dépôts de la colonne 14 sont plus grossiers et ont été plus influencés par le ruissellement de pente que ceux de la colonne QX-267, ce qui implique une plus grande instabilité de la surface. En revanche, les sédiments tufeux de la colonne QX-267 sont considérablement plus épais et les fréquences de mollusques aquatiques sont plus hautes, signes de conditions nettement plus humides. De plus, l'influence moindre des processus de pente et la plus grande résolution de l'échantillonnage en colonne QX-267 ont pour conséquence que les fluctuations des populations malacologiques à court terme, dont certaines éventuellement engendrées par l'homme, deviennent beaucoup plus perceptibles. L'abondance variable d'*Helicodonta obvoluta* entre les échantillons QX-267-13 et 10 est un bon exemple de ce propos.

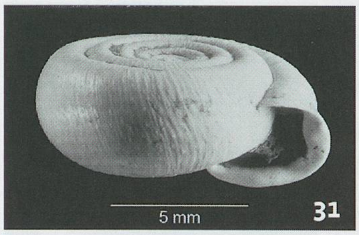
4.4.1. Malacozone PB-1

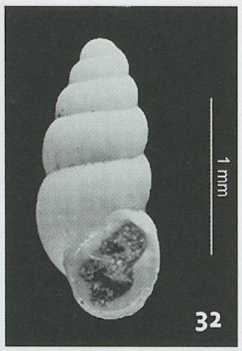
La malacozone PB-1 est caractérisée par la présence de certaines espèces forestières et d'ombre,

Biozones régionales	Onnens-Praz Berthoud: Colonnes 7 et 14 C.	Colonnes 7 et 14 Ech.	Colonne QX-267 C.	Colonne QX-267 Ech.	Evénements érosifs	Malacozones	Malacozones des autre sites de la région: Sites de la colline d'Onnens (VD) (Stucki et Thew 2011)	Marais du Bataillard (NE) (Liniger et Thew 2008)
Subatlantique	2a.1	299	2			PB-7d	Décalcifié	Bat-10
	2a.2	301				PB-7c		
	2a.3	303				PB-7b		
						Hiatus		
	3a	305	3			PB-6c/7a		Bat-9b
Subboréal	3b	307				PB-6b		
	3c	309				PB-6a		
						Hiatus		
	5a	342	5			PB-5b		Bat-9a
	5c	345				PB-5a		
Atlantique récent						Hiatus	On-5c	Bat-8b
							On-5b	Bat -8a
Atlantique ancien	6a	348				PB-4b	On-5a	Bat-7
						Hiatus	On-4	
	6b	351	6t.1	3		PB-4a		
	6c	354	6t.2	4		PB-3b	On-3b	Bat-6b
			6t.3	(5)*				
			6t.4	(6) (8)		PB-3a	On-3a	Hiatus
			6t.5	(9)				
			6t.6	10				
Boréal			6t.7	11 (12)				
	7a	357	6.1	13		PB-2b	On-2b	Bat-6a
				15				
			6.2	16				
	7b	360	6.3	17		PB-2a	On-2a	
Préboréal tardif						Hiatus		
			7.1	18		PB-1	On-1	Bat-5b
				19				
	8		7.2	P8				
Préboréal						Hiatus		Bat-5a

c. = couches; Ech. = échantillons ← érosion marquée ← érosion sévère ← érosion très sévère

Fig. 30. Malacozones d'Onnens-Praz Berthoud corrélés aux biozones régionales, à la séquence stratigraphie du site (à gauche) ainsi qu'aux malacozones des sites de la colline d'Onnens (VD) et du marais de Bataillard (NE) (à droite).
* Matériel de ces échantillons survolé, mais pas analysé en détail.





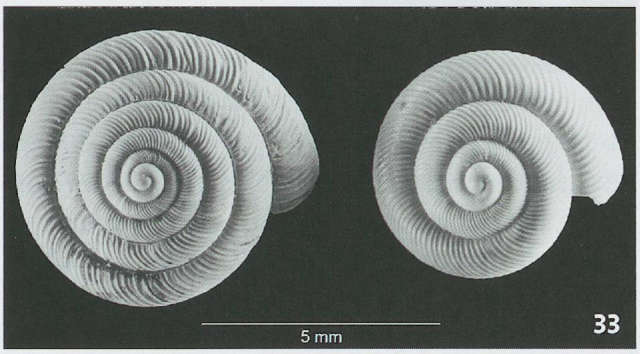


Fig. 31. *Helicodonta obvoluta*.

Fig. 32. *Carychium tridentatum*.

Fig. 33. *Discus rotundatus* (à gauche) et *Discus ruderatus* (à droite ; pas complet).

telles que *Aegopinella nitens*, *Carychium tridentatum* (fig. 32), *Cochlodina laminata*, *Discus rotundatus* (fig. 33) et *Macrogastra plicatula*, apparues dans l'ouest de la Suisse au courant du Préboréal. En revanche, d'autres taxons forestiers tels que *Aegopinella pura*, *Helicodonta obvoluta* ou *Macrogastra lineolata*, qui apparaissent à la fin du Préboréal, sont absents. L'espèce boréo-alpine *Discus ruderatus* (fig. 33) est présente. La malacozone PB-1 correspond donc à la dernière partie du Préboréal (fig. 30).

Un petit nombre d'individus des espèces aquatiques *Pisidium casertanum* et *Radix peregra* est également présent.

Une rupture très nette entre les faunes de PB-1 et PB-2 témoigne d'un important hiatus entre ces deux malacozones.

4.4.2. Malacozone PB-2

La malacozone PB-2 est caractérisée par l'apparition de nouvelles espèces d'affinité forestière (annexe 4), y compris *Aegopinella pura*, *Clausilia cruciata*, *Macrogastra lineolata* et *Macrogastra ventricosa*. *Helicodonta obvoluta* (fig. 31) et *Sphyradium doliolum* sont présentes en colonne 14, mais absentes de la colonne QX-267, à l'exception de quelques rares spécimens du premier taxon à la fin de la subzone PB-2b. Les espèces boréo-alpines *Discus ruderatus* et *Nesovitrea petronella* sont présentes. En subzone PB-2b, les proportions des mollusques forestiers augmentent ; de plus, les espèces de milieu ouvert diminuent, en dépit de l'apparition de quelques rares *Jaminia quadridens*. La malacozone PB-2a semble correspondre à la fin du Préboréal, alors que la subzone PB-2b appartient à la première partie du Boréal (fig. 30).

Les individus des espèces aquatiques *Pisidium casertanum* et *Radix peregra* sont très nombreux. Un nouveau bivalve, *Pisidium personatum*, apparaît au début de la subzone PB-2b.

4.4.3. Malacozone PB-3

La malacozone PB-3 est caractérisée par l'apparition de nouvelles espèces forestières (annexe 4). Il s'agit d'*Isognomostoma isognomostomos* et *Trichia edentula* en subzone PB-3a, et de *Cochlostoma septemspirale* et *Helicigona lapicida* en subzone PB-3b. Les proportions des mollusques forestiers sont en hausse, alors que les espèces de milieu ouvert diminuent encore, en particulier en subzone PB-3b, en dépit de l'apparition de quelques rares *Vallonia pulchella* en subzone PB-3a. Les espèces boréo-alpines *Discus ruderatus* et *Nesovitrea petronella* sont toujours présentes. La surface d'érosion constatée en PB-3a n'est pas reflétée par une rupture dans les faunes malacologiques, ce qui montre qu'il n'y a pas de hiatus sédimentaire significatif. La subzone PB-3a correspond à la partie finale du Boréal, alors que la subzone PB-3b semble concorder avec la première partie de l'Atlantique ancien (fig. 30). Le matériel archéologique présent dans les échantillons QX-267-12 (juste survolé) et QX-267-11 se trouve dans la première partie de la subzone PB-3a.

Les espèces aquatiques *Pisidium casertanum*, *Pisidium personatum* et *Radix peregra* sont bien

représentées, mais elles diminuent dans le courant de la subzone PB-3b. Il y a quelques rares spécimens des bivalves *Pisidium amnicum* et *Pisidium subtruncatum* en subzone PB-3a.

4.4.4. Malacozone PB-4

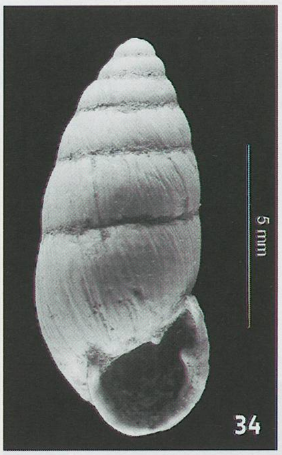
La malacozone PB-4 est caractérisée par une nouvelle hausse des proportions et fréquences des mollusques forestiers (annexe 4). On assiste également à l'apparition de la nouvelle espèce sylvestre *Oxychilus helveticus*. Les mollusques de milieu ouvert sont toujours en diminution. L'espèce boréo-alpine *Nesovitrea petronella* disparaît dans le courant de la subzone PB-4b, tandis que *Discus ruderatus* (fig. 33) est toujours présente. On constate une augmentation de *Trichia edentula* en subzone PB-4a et il y a des hausses significatives de *Cochlostoma septemspirale* et *Helicodonta obvoluta* (fig. 31) en subzone PB-4b. On constate une petite rupture entre les faunes de PB-4a et PB-4b indiquant un petit hiatus sédimentaire. Cette malacozone date de l'Atlantique ancien ; la subzone PB-4b correspond à la deuxième partie de cette biozone régionale (fig. 30).

Les espèces aquatiques *Pisidium casertanum* et *Radix peregra* sont bien représentées, mais *Pisidium personatum* devient assez rare dans le courant de PB-4a et disparaît au début de la subzone PB-4b.

Il y a une rupture très nette entre les faunes de PB-4 et PB-5, ce qui témoigne d'un important hiatus sédimentaire entre les deux malacozones. Les assemblages typiques de l'Atlantique récent sont absents.

4.4.5. Malacozone PB-5

La malacozone PB-5 est caractérisée par l'apparition de nouveaux taxons de milieu ouvert (annexe 4), dont *Chondrula tridens* (fig. 34), *Truncatellina cylindrica* et *Vertigo pygmaea* dans le courant de subzone PB-5a, ainsi que *Pupilla muscorum* et *Vallonia excentrica* (fig. 35) en subzone PB-5b. On observe une diminution significative des mollusques forestiers, malgré l'apparition de l'espèce sylvestre *Monachoides incarnatus* en subzone PB-5a, qui va de pair avec l'augmentation des espèces de milieu ouvert en subzone



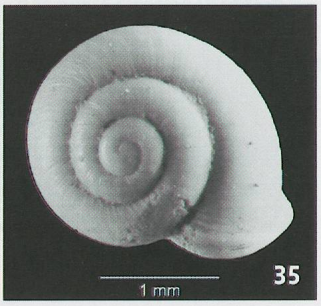


Fig. 34. *Chondrula tridens*.

Fig. 35. *Vallonia excentrica*.

PB-5a, une tendance qui se poursuit en PB-5b. Néanmoins, il y a une augmentation significative de l'espèce d'ombre *Cochlostoma septemspirale* au début de PB-5a et cette hausse continue en PB-5b. L'espèce boréo-alpine *Discus ruderatus* est absente. Les subzones PB-5a et PB-5b correspondent à la première partie du Subboréal (fig. 30).

Les mollusques aquatiques diminuent très rapidement. L'espèce *Radix peregra* est toujours présente en petit nombre, mais *Pisidium casertanum* est rare.

La rupture très nette entre les faunes de PB-5 et PB-6 témoigne d'un important hiatus sédimentaire entre ces deux malacozones.

4.4.6. Malacozone PB-6

La malacozone PB-6 est caractérisée par l'apparition de nouvelles espèces de milieu ouvert (annexe 4), y compris *Candidula unifasciata* (fig. 36) en subzone PB-6a et *Helicella itala* en subzone PB-6b, ainsi que l'espèce d'ombre *Helix pomatia* en PB-6b. On observe une augmentation de la fréquence et de la proportion

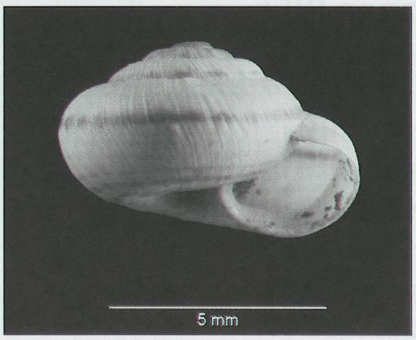


Fig. 36. *Candidula unifasciata*.

des mollusques de milieu ouvert aux dépens des espèces d'affinité forestière. Cette malacozone correspond au milieu et à la fin du Subboréal et probablement à la première partie du Subatlantique (fig. 30). Les espèces marqueurs biostratigraphiques *Helicella itala* et *Helix pomatia* sont arrivées à Praz Berthoud à la même période que dans le marais du Bataillard et le delta de l'Areuse dans le canton de Neuchâtel ainsi que l'Abri de la Cure dans le canton de Vaud (Thew dans Brombacher *et al.* 2013a). Dans ces derniers sites, leur arrivée date de l'âge du Bronze récent, plus précisément vers 1200 avant J.-C.

On constate une nouvelle diminution des mollusques aquatiques. Quelques *Radix peregra* et de rares *Pisidium casertanum* sont toujours présents.

Le début de la malacozone PB-7 dans la couche 3a paraît être défini par une hausse rapide des espèces marqueurs *Candidula unifasciata* et *Helicella itala*. Toutefois, cette augmentation est probablement due à un mélange avec la couche sus-jacente (2a.3) qui s'est produit au cours de l'échantillonnage (Falquet com. pers.). Pour cette raison, l'assemblage de la couche 3a (éch. 14-305) est indiqué comme appartenant à la subzone PB-6c/7a car cette subzone représente un mélange de mollusques de la partie finale de la malacozone PB-6 et de quelques-uns du début de la malacozone PB-7. La rupture nette entre les faunes des malacozones PB-6 et PB-7, coïncidant avec un important hiatus sédimentaire entre les couches 3a et 2a.3, a donc été effacée par le mélange des sédiments pendant l'échantillonnage.

4.4.7. Malacozone PB-7

La malacozone PB-7 est caractérisée par une augmentation progressive mais significative des espèces de milieu ouvert (annexe 4), avec des hausses rapides de *Candidula unifasciata* et *Helicella itala*, exceptée l'espèce *Vallonia costata* qui montre une nette baisse. On observe également une diminution nette et régulière des mollusques forestiers, même s'ils sont toujours présents en nombre important dans cette zone. Les subzones PB-7b à PB-7d montrent des fluctuations dans les proportions des mollusques de milieu ouvert et d'affinité forestière. Cette malacozone correspond à la première moitié du Subatlantique (fig. 30).

Il y a toujours quelques mollusques aquatiques, à savoir des *Radix peregra* et *Pisidium casertanum*.

4.5. Corrélation des couches entre les colonnes d'étude

Les couches des colonnes 14 et QX-267 (fig. 30) ont été corrélées à l'aide des malacozones décrites ci-dessus et des caractéristiques sédimentaires des dépôts échantillonnés telles qu'elles ont été documentées sur le terrain et lors de l'examen des résidus de tamis (annexe 4). En général, la nature des sédiments des deux colonnes reflète le degré de la stabilité de surface tel qu'il a été déterminé par le développement progressif de la végétation forestière durant l'Holocène et le niveau d'influence de la source située à proximité. Les dépôts de la colonne 14 contiennent plus de graviers en raison du plus grand impact du ruissellement de surface. De plus, en dépit de leur nature tufeuse, ils ont été beaucoup plus affectés par les processus pédologiques que les sédiments de la colonne QX-267. Ces derniers sont plus fins (avec moins de gravier), en raison d'une influence moins importante du ruissellement ; de plus, ils sont nettement plus riches en carbonate et ont été moins affectés par la pédogenèse parce qu'ils se sont accumulés dans des conditions beaucoup plus humides.

La couche 7b de la colonne 14 (éch. 360) peut être corrélée avec la couche 6.3 de la colonne QX-267 (éch. 17) en raison de son appartenance à la même malacozone (PB-2a) et la proportion similaire de matériel tufeux: leur contenu carbonaté se chiffre à 21% dans la colonne 14 et à 17% dans la colonne QX-267 (annexe 1 du chap. 3). Il y a une limite nette à la base de la couche 7a en colonne 14, au-dessus de laquelle les sédiments ont une couleur beaucoup plus claire et sont plus tufeux. Un changement similaire est visible à la base de la couche 6.2 en colonne QX-267. La couche 7a de la colonne 14 (éch. 357) semble correspondre aux couches 6.2, 6.1 et 6t.7 de la colonne QX-267 (éch. 16 à 11): elles appartiennent aux mêmes malacozones (PB-2b/3a) et on observe une augmentation semblable dans la proportion du matériel tufeux (à 36% de carbonate dans l'échantillon 14-357, à 52% pour l'échantillon QX-267-15, à 78% pour l'échantillon QX-267-13 et à 90% pour l'échantillon QX-267-12). De plus, le bivalve aquatique *Pisidium personatum* apparaît dans les échantillons 14-357 et QX-267-16, ce qui

indique une hausse significative de l'influence de la source. En effet, les nombreuses coquilles aquatiques montrent qu'un étang peu profond était présent à l'endroit de la colonne QX-267 pendant l'accumulation des couches 6.2, 6.1 et 6t.7. Par contre, les sédiments de la colonne 14 n'ont subi qu'une influence sporadique de l'écoulement des eaux de source, ce qui explique pourquoi cette colonne est beaucoup plus touchée par les processus pédogénétiques. La base de la couche 6c en colonne 14 montre un nouveau changement très net, avec des sédiments encore plus clairs et plus tufeux, alors que la limite équivalente en colonne QX-267 à la base de la couche 6t.6 correspond au début de la séquence de tufs poudreux et granuleux de couleur blanche à beige crème. Les couches 6c et 6b en colonne 14 (éch. 354 et 351) correspondent donc probablement aux couches 6t.6 à 6t.1 de la colonne QX-267 (éch. 10 à 3), parce qu'elles appartiennent aux mêmes malacozones (PB-3a, 3b et 4a) et qu'elles montrent une hausse similaire de la proportion de matériel tufeux (à 53 et 61% dans les échantillons 14-354 et 351, et à 96-98% pour les échantillons QX-267-10, 7, 5 et 3). Cette hausse s'explique par le fait que ces couches ont été affectées de façon similaire par l'écoulement sporadique des eaux de source. La couche 6a en colonne 14 (éch. 348, 68% de carbonate) est un peu plus foncée et paraît avoir subi une plus grande influence des processus pédogénétiques, ce qui est en concordance avec la disparition de *Pisidium personatum* et une baisse dans la fréquence des autres mollusques aquatiques. Ces observations suggèrent une diminution de l'influence de la source située à proximité. Il n'y a pas de couche correspondante dans la colonne QX-267. Les couches 5, 3, 2 et 1 ont pu être aisément repérées dans les colonnes 14 et QX-267.

4.6. Le climat

Toute la séquence malacologique analysée de Praz Berthoud date de l'Holocène. Pendant cette époque, la majorité des événements climatiques était de courte durée. Par exemple, la détérioration climatique majeure connue sous le nom de « événement 8.2 ka BP » n'a duré que 150 ans (Lowe *et al.* 2008). Ainsi, la résolution des échantillons de la séquence de Praz Berthoud n'est généralement pas assez fine pour détecter de tels événements. L'Atlantique ancien, pour citer un exemple, qui a duré environ 2000 ans, n'est représenté que par trois échantillons dans les deux colonnes. Le Boréal, qui a duré 1400 ans, n'est représenté que par deux échantillons de la colonne 14. Par contre, en colonne QX-267, le Boréal est représenté par onze échantillons (QX-267-6 à 16), dont cinq ont été analysés, ce qui permet de détecter des évènements courts.

En outre, les fluctuations climatiques de l'Holocène n'étaient que de l'ordre de quelques degrés Celsius en Europe centrale (Mayewski *et al.* 2004 ; Jansen *et al.* 2007 ; Wanner *et al.* 2008 ; Ljungqvist 2011 ; Renssen *et al.* 2012). Globalement, le climat est resté plus chaud que la valeur de seuil d'environ 15/16 °C pour les températures moyennes de juillet/août qui auraient provoqué la disparition des espèces plus sensibles au climat observées dans les échantillons de Praz Berthoud (p. ex. *Chondrula tridens*, *Monachoides incarnatus*, *Oxychilus helveticus*, *Sphyradium doliolum* ou *Vertigo antivertigo*). Il n'est donc pas surprenant qu'aucun changement faunique attribuable aux seules variations de température n'ait pu être détecté dans la séquence malacologique de ce site.

En revanche, il est souvent possible de documenter des changements paléoclimatiques en décelant les variations de l'humidité, comme le montrent les études de Michel Magny concernant les niveaux anciens des lacs subjurassiens et d'autres régions (Magny 1995). Cependant, les indices de fluctuations de l'humidité dans la séquence de Praz Berthoud auraient pu être influencés de manière significative par des facteurs locaux tels que la végétation, le comportement variable du drainage de surface, la stabilité de la surface et les effets d'accumulation des sédiments. Une hausse du nombre de mollusques aquatiques au cours de la subzone PB-3b en colonne 14, par exemple, coïncide avec une nette baisse des mollusques de cette affinité en colonne QX-267, ce qui pourrait suggérer que l'écoulement principal des eaux de source a quelque peu changé de direction. De plus, au cours de l'âge du Bronze ancien le début d'une sédimentation colluviale plus rapide a provoqué l'enfouissement progressif et l'assèchement d'un grand nombre des suintements, étangs peu profonds et dépressions marécageuses. Malgré ces réserves, un certain nombre des fluctuations des fréquences absolues et proportionnelles des mollusques aquatiques observées dans les colonnes

d'étude pourraient être dues à des changements climatiques. Dans les échantillons QX-267-19 à 10 par exemple, on observe une baisse de la proportion de mollusques aquatiques dans la subzone PB-2a qui correspond à la fin du Préboréal, suivie d'une hausse au début de PB-2b qui marque le commencement du Boréal, et ensuite une nouvelle baisse. Au début de la subzone PB-3a on observe une nouvelle hausse, puis une autre baisse pendant la deuxième partie de cette zone, à la fin du Boréal. La confrontation de ces résultats avec la séquence établie par Michel Magny montre que sa phase Joux 1 des hauts niveaux des lacs jurassiens correspond au début du Boréal, alors que sa phase Joux II commence vers le milieu de cette période (Magny 2004). Ces deux phases plus froides et humides correspondent très bien aux phases plus humides enregistrées durant le Boréal à Praz Berthoud.

4.7. L'environnement local

4.7.1. Préboréal tardif

Les assemblages de la **malacozone PB-1** sont assez pauvres, mais on peut néanmoins en tirer des conclusions pertinentes. Les espèces d'affinité forestière sont assez bien représentées (35.8% du total des mollusques terrestres pour les groupes écologiques 1 à 4 des échantillons QX-267-P8, 19 et 18 mis ensemble ; pl. 4,). Toutefois, la rareté des mollusques du groupe 1, typiques de forêts de feuillus matures, suggère l'existence d'une forêt assez ouverte avec une proportion relativement importante de conifères (à cette époque, il s'agit essentiellement de pins ; Hadorn 1994), associés à quelques grands feuillus matures. L'abondance des espèces des groupes 6 et 7 (53.5%) et la petite proportion d'espèces de milieu ouvert (4.4%), indiquent un sous-bois riche avec des herbes hautes et des buissons, alors que les espaces ouverts et pauvres en végétation sont rares. Malgré la présence de matériel archéologique dans les trois échantillons, les assemblages ne sont pas assez riches pour déterminer l'impact des activités anthropiques sur la végétation. La présence, à la fois d'espèces palustres et d'une proportion importante de mollusques aquatiques, démontre qu'il y avait des mares marécageuses et des étangs peu profonds alimentés par la source située en amont de la colonne QX-267. De plus, le sol à l'emplacement de cette colonne devait également être assez humide. Les analyses granulométrique et géochimique de la couche 7.1 (*cf.* chap. 3 ; éch. QX-267-19) concordent avec les observations stratigraphiques et la nature grossière des résidus de tamis, qui démontrent une formation due à des processus de pente pour les couches 7.2 et 7.1. Ces éléments confirment que le couvert végétal local était assez ouvert, favorisant ainsi le ruissellement de surface. L'érosion due au ruissellement de surface concentré pourrait expliquer la formation de rigoles incisées assez importantes dans lesquelles les sédiments de la couche 7.1 se sont accumulés.

Les assemblages malacologiques contemporains analysés dans les autres sites autour du village d'Onnens témoignent d'une plus grande stabilité des pentes, ce qui a permis l'accumulation de tufs fins et poudreux sur les versants occidentaux du drumlin situé sous le village d'Onnens. Cependant, l'environnement local de ces sites est resté beaucoup plus ouvert qu'à Praz Berthoud car le caractère marécageux d'une grande partie du sol a freiné la colonisation forestière (Stucki et Thew 2011).

Les assemblages de la **malacozone PB-2a** sont très différents de ceux de PB-1 en raison d'un important hiatus sédimentaire entre les deux malacozones, dû à un épisode d'érosion majeur. Une hausse de la diversité et de la fréquence des mollusques forestiers, y compris un net accroissement des espèces du groupe 1, typiques de forêts de feuillus mature, ainsi qu'une baisse des taxons du groupe 6, indiquent un développement rapide de la forêt en amont des colonnes d'étude. Cette forêt était en majorité peuplée de feuillus dont un certain nombre de grands fûts matures. Néanmoins, le fait que 40 à 44% des mollusques appartiennent aux groupes 6 et 7 montre que la surface boisée est restée assez ouverte par endroits avec un sous-bois composé de hautes herbes et de buissons, alors que le pourcentage de 5 à 6% pour les espèces du groupe 9 atteste la présence de petites surfaces ouvertes avec une végétation herbacée relativement pauvre.

L'augmentation des mollusques palustres et aquatiques témoigne de la persistance en amont de mares marécageuses et de petits étangs peu profonds alimentés par la source et des suintements. De même, le sol à l'emplacement des colonnes d'étude était certainement assez humide. La présence de fragments de tuf dans les échantillons confirme l'existence de résurgences à proximité et indique également un ralentissement des processus de pente.

La hausse rapide de la fréquence et de la diversité des assemblages malacologiques au début de cette malacozone est à expliquer par une grande augmentation de la stabilité de surface allant de pair avec un taux de sédimentation plus lent, ce qui a favorisé la pédogenèse. Ces faits sont confirmés par les analyses géochimiques et micromorphologiques. Nonobstant, des événements érosifs importants ont eu lieu au début et à la fin de cette subzone, provoqués par ruissellement de surface durant des épisodes de fortes précipitations et/ou lors de fontes des neiges au printemps. Les observations faites sur le terrain, le caractère grossier des résidus de tamis ainsi que les résultats des analyses granulométriques et micromorphologiques (*cf.* chap. 3) démontrent que la couche 7.1 s'est largement formée par colluvionnement.

La comparaison avec des assemblages malacologiques contemporains des autres sites autour d'Onnens montre que le développement forestier était beaucoup plus rapide à Praz Berthoud en raison des meilleures conditions de drainage sur les premiers contreforts du Jura. De plus, la survivance de plusieurs espèces pionnières boréo-alpines et arctico-alpines (telles que *Columella columella*, *Vertigo genesii* et *Vertigo geyeri*) dans ces autres sites montre que les surfaces ouvertes gorgées d'eau étaient encore fréquentes sur le flanc ouest du drumlin situé sous le village d'Onnens.

4.7.2. Boréal

Les assemblages malacologiques de la **malacozone PB-2b** montrent de nouvelles hausses en termes d'abondance et de diversité. Les fréquences plus grandes des mollusques forestiers et une petite baisse dans la proportion des espèces de milieu ouvert témoignent du développement biosuccessionnel continu de la forêt de feuillus. En dépit de la présence de petites quantités de matériel daté du Mésolithique moyen dans les couches 7a, 6.2 et 6.1 des deux colonnes d'échantillonnage, il n'y a que peu d'indices de perturbation du couvert forestier ou d'interférence humaine sur la forêt en colonne 14. Toutefois, ceci n'est pas surprenant, car la majeure partie du matériel mésolithique se trouve en aval des endroits échantillonnés. Dans la colonne QX-267 en revanche, la baisse significative de la proportion des taxons forestiers du groupe 3 dans l'échantillon QX-267-16, en plus des hausses des mollusques des groupes 4, 6 et 7, témoigne d'une perturbation de la forêt et du sous-bois. Cette tendance se poursuit de manière intensifiée dans l'échantillon QX-267-15. On observe ainsi une baisse de la proportion des espèces du groupe 1 typiques des forêts matures, un pourcentage assez bas des taxons du groupe 3, des fréquences élevées des mollusques des groupes 4 et 6, une hausse de l'espèce de milieu ouvert *Vallonia costata* du groupe 9 (fig. 37), ainsi que l'apparition du taxon *Jaminia quadridens* du groupe 10, caractéristique d'un milieu ouvert sec, caillouteux et pauvre en végétation. Tous ces indices témoignent d'une perturbation importante du couvert forestier, liée à l'apparition de petits espaces ouverts dans les environs de la source. Des tendances contradictoires peuvent être observées dans l'échantillon QX-267-13, ce qui démontre que cet assemblage reflète au moins deux épisodes différents. Une hausse significative des mollusques forestiers, y compris des espèces des groupes 1, 3 et 4, montre un développement considérable de la forêt avec un nombre important d'arbres matures et un sous-bois dense composé de hautes herbes, de buissons et de jeunes arbres. En revanche, une hausse majeure de l'espèce de milieu ouvert *Vallonia costata* du groupe 9, associée à des augmentations importantes des espèces du groupe 6 telles que *Bradybaena fruticum*, *Cochlicopa lubrica*, *Trichia sericea* et *Vitrea crystallina*, témoigne d'une perturbation assez importante du couvert forestier dans les environs proches de la source avec la création d'espaces ouverts assez grands. De même, des fréquences plus élevées de granules de lombric dans cet échantillon indiquent un ruissellement de surface et

une érosion plus importants en raison de l'ouverture de la forêt. Les arbres ayant besoin de temps pour arriver à maturité, il semble plus logique du point de vue faunique que la régénération de la forêt s'est produite pendant la première partie de l'intervalle représenté par cet échantillon, suivie d'une perturbation forestière et de défrichements limités pendant la deuxième partie.

Les différences entre les faunes présentes dans les deux colonnes excluent toute possibilité que les variations fauniques observées dans la colonne QX-267 soient dues au hasard. Il y a plusieurs explications possibles pour les indices de perturbation forestière et de l'apparition de zones ouvertes à proximité de l'emplacement de la colonne QX-267. Celles-ci incluent une hausse de l'humidité de surface ou une plus grande instabilité du sol causées par un ruissellement de surface plus important dû à une hausse des précipitations durant une période de péjoration climatique. Des événements naturels tels que des tempêtes ou des feux de forêt peuvent également en être la raison, ou encore des activités des populations du Mésolithique moyen. Une instabilité de surface peut probablement être exclue au vu des résultats de l'analyse granulométrique de la couche 6.1s (fig. 25), qui indiquent que celle-ci est mieux triée que les couches sous-jacentes (*cf.* chap. 3). Les taux de concentration des fragments de charbons sont plus bas ou égaux dans les échantillons qui montrent des signes de perturbation forestière que dans ceux qui n'en montrent pas, cette explication peut donc être éliminée. De même, des ouvertures dues à des chutes d'arbres lors de tempêtes n'entraînent pas une hausse des mollusques de milieu ouvert parce que ces surfaces sont trop rapidement envahies par les hautes herbes et des jeunes arbres. Un taux d'humidité plus élevé pourrait avoir provoqué des variations fauniques, mais il ne semble pas avoir été le facteur principal puisque les plus grands signes de perturbation forestière ne coïncident pas avec les proportions et fréquences les plus élevées des mollusques aquatiques. De plus, la colonne 14 présente des proportions semblables pour les mollusques aquatiques sans qu'il y ait des variations fauniques similaires parmi les mollusques terrestres. En outre, les signes analogues de perturbation forestière n'ont pas été observés dans la séquence malacologique du Marais de Bataillard, ceci en dépit d'importantes fluctuations de la nappe phréatique (Liniger et Thew 2008 ; Tréhoux *et al.* 2008). Finalement, il est important de rappeler que les signes d'ouverture du couvert forestier coïncident avec la présence de matériel mésolithique. Il semblerait donc que des interférences humaines soient la cause la plus probable pour les perturbations du couvert forestier dont témoignent les faunes malacologiques. Durant la période correspondant à l'échantillon QX-267-16, ces activités pouvaient prendre la forme de coupes de jeunes arbres et de buissons dans les environs de la source, favorisant la croissance de hautes herbes. Pour l'échantillon QX-267-15, on peut supposer des défrichements limités près de la source, avec la coupe de jeunes arbres et probablement de quelques grands fûts ainsi que l'enlèvement du sous-bois. Enfin, l'échantillon QX-267-13 témoigne de défrichements encore plus importants dans les environs de la source.

Les taxons palustres sont toujours assez bien représentés, mais les fréquences des mollusques aquatiques, parmi lesquels se trouve la nouvelle espèce *Pisidium personatum*, sont en hausse. Ce petit bivalve affectionne les ruisseaux, les sources, les marais et les habitats souterrains. Il tolère de courtes périodes d'assèchement, mais on ne le trouve jamais dans des eaux stagnantes alimentées uniquement par l'eau de pluie (Favre 1927 et 1941 ; Ellis 1962). Son apparition coïncide avec une augmentation majeure de la part des concrétions tufeuses dans les sédiments des deux colonnes, due au passage d'eaux ruisselant ou coulant doucement. La faune aquatique assez riche et la présence d'un fourreau de trichoptère minéralisé dans

Fig. 37. Vallonia costata.

les échantillons de la colonne QX-267 indiquent que les résurgences alimentaient alors à cet endroit un petit étang marécageux peu profond, sujet à des assèchements saisonniers. Cette déduction est confirmée par une analyse granulométrique qui montre que les limons de l'échantillon QX-267-13 se sont essentiellement accumulés par décantation dans un petit plan d'eau peu profond (fig. 25, QX-267-6.1s).

Par comparaison, les assemblages malacologiques contemporains des autres gisements autour d'Onnens continuent d'attester un développement forestier retardé par rapport à Praz Berthoud. Des populations florissantes des espèces pionnières boréo-alpines et arctico-alpines y ont survécu, signes de la persistance d'importantes surfaces ouvertes gorgées d'eau sur le versant ouest du drumlin qui s'étend sous le village d'Onnens.

La **malacozone PB-3a** est marquée par une hausse majeure de l'abondance et de la diversité des mollusques forestiers. Néanmoins, le taux de 4% de mollusques appartenant au groupe 9 et celui de plus de 30% pour les taxons du groupe 6 de l'échantillon 14-357 signifient que la couverture forestière était encore assez ouverte avec un sous-bois composé de hautes herbes, de petits buissons et d'arbres très jeunes, ainsi que de petites surfaces herbacées ouvertes. La faune de l'échantillon QX-267-11, qui coïncide avec du mobilier mésolithique, permet de détecter qu'il y a eu une régénération forestière après une perturbation importante (proportions élevées de mollusques des groupes 4 et 6, spécimens abondants de *Vallonia costata* et apparition de *Vallonia pulchella*, taxons de milieu ouvert du groupe 9). L'assemblage de l'échantillon QX-267-10 présente des évidences encore plus claires de perturbation forestière dans les environs immédiats de la source. On constate notamment des baisses des espèces affiliées aux groupes 1, 3 et 4 qui vont de pair avec des pics dans les nombres de mollusques des groupes 6, 7, 8 et 9. Selon les arguments présentés plus haut, il paraît peu probable que des dégâts dus à des orages ou à des feux de forêt soient la cause de ces perturbations fauniques qui, de plus, se produisent indépendamment des fluctuations de l'humidité. En ce qui concerne la stabilité du sol, on observe une surface d'érosion très marquée entre l'échantillon QX-267-11 de la couche 6t.7 et QX-267-10 de la couche 6t.6, ce qui indique que les épisodes de ruissellement de surface étaient toujours assez importants en dépit d'un couvert végétal plus dense. De plus, les analyses micromorphologiques et granulométriques confirment que la formation de la partie supérieure de la couche 7a en colonne 14 est principalement due à des processus de colluvionnement (*cf.* chap. 3). Néanmoins, une plus grande instabilité de surface ne peut pas être la cause des variations fauniques décrites ci-dessus car celles-ci sont uniquement perceptibles en colonne QX-267, alors que les processus de pente ont eu nettement plus d'influence sur les sédiments de la colonne 14. En outre, l'échantillon QX-267-10 coïncide avec le début de sédimentation des tufs de couleur blanc crème en colonne QX-267 (c. 6t.6) et des tufs limoneux en colonne 14 (c. 6c, fig. 30) ce qui est signe d'une plus grande stabilité du sol, elle-même due à une réduction du ruissellement de surface. A nouveau, l'interférence anthropique constitue l'explication la plus plausible pour les perturbations forestières perceptibles dans les faunes malacologiques. L'échantillon QX-267-11 semble témoigner de défrichements limités, avec la coupe de jeunes arbres et de quelques arbres matures dans la zone à proximité de la source, permettant le développement subséquent d'une végétation herbacée, de buissons et de jeunes arbres.

Malgré l'absence de matériel mésolithique dans l'échantillon QX-267-10, l'assemblage malacologique semble témoigner de l'épisode de défrichement le plus important constaté dans la séquence de Praz Berthoud. En effet, il existe des indices de coupes d'arbres jeunes et matures et de l'enlèvement du sous-bois à proximité immédiate de la source et autour de l'étang peu profond qui existait toujours à l'endroit où la colonne QX-267 a été prélevée.

Les taxons palustres sont toujours assez bien représentés et les mollusques aquatiques sont assez abondants, alors que les sédiments deviennent davantage plus tufeux. Il est intéressant de relever la présence des bivalves aquatiques *Pisidium amnicum* et *Pisidium subtruncatum* dans l'échantillon QX-267-11. Ces espèces sont typiques d'eau en mouvement ou courante, y compris de petits ruisseaux. Néanmoins, la géométrie et la nature fine du dépôt de tuf limoneux montrent que l'eau coulait doucement.

L'abondante faune aquatique et la présence de valves d'ostracodes dans cet échantillon indiquent que les eaux de la source continuaient à alimenter un petit étang peu profond sujet à des assèchements saisonniers à l'endroit futur de la colonne QX-267. Toutefois, la nette baisse des mollusques d'affinité aquatique en QX-267-10, montre que l'alimentation en eau avait quelque peu diminué à cet endroit et que l'étang peu profond s'était en partie rempli de limons. Cette baisse des mollusques aquatiques coïncide avec un changement sédimentaire de limons gris clair tufeux à des tufs poudreux ou granulés de couleur crème, ce qui suggère que l'étang était en train d'être remplacé par des filets d'eau coulant de la source. De plus, une augmentation de la fréquence des mollusques aquatiques observée dans les sédiments contemporains en colonne 14 (éch. 357) montre que le flux principal des eaux de source avait partiellement changé de direction.

Dans les assemblages contemporains des autres sites autour d'Onnens, on observe une hausse des mollusques d'affinité sylvestre, ce qui signifie que les forêts de feuillus ont commencé à coloniser les surfaces ouvertes et marécageuses du versant ouest du drumlin qui s'étend sous le village actuel d'Onnens. Malgré cela, la présence d'importantes populations d'espèces pionnières boréo-alpines et arctico-alpines montre que d'assez grandes surfaces ouvertes gorgées d'eau ont persisté.

4.7.3. Atlantique ancien

La **malacozone PB-3b** coïncide avec une série de tufs et de tufs limoneux de couleur crème (c. 6c et 6t.3 à 6t.2) qui témoignent de la grande stabilité de la surface. Une hausse majeure de la fréquence des mollusques en colonne 14 est liée à des taux de sédimentation plus bas. Une hausse significative de la fréquence et de la diversité des mollusques d'affinité sylvestre montre que la forêt de feuillus a continué à se développer. On observe une légère baisse du groupe 9 affilié aux mollusques de milieu ouvert. Malgré cela, la présence de l'espèce *Jaminia quadridens* du groupe 10, typique des milieux ouverts secs, caillouteux et pauvres en végétation, l'appartenance aux groupes 6 et 7 de 32 à 38% des mollusques ainsi que la survivance de deux espèces forestières boréo-alpines, suggèrent qu'un nombre assez élevé de conifères (essentiellement des pins) était toujours présent dans les environs. De plus, la forêt a gardé un aspect assez ouvert avec un sous-bois composé de hautes herbes, de buissons, de très jeunes arbres et de petites surfaces herbacées. L'absence de matériel mésolithique coïncide avec la cessation de toute évidence des perturbations forestières dans les assemblages malacologiques des deux colonnes.

Les mollusques palustres et aquatiques sont bien représentés. Ils sont le reflet d'un paysage avec des filets d'eau provenant de la source et de suintements pour alimenter plusieurs étangs peu profonds et des mares marécageuses sujettes à de brèves périodes d'assèchement saisonnier. Une nouvelle baisse des mollusques aquatiques en QX-267-4 montre que l'étang peu profond, qui se trouvait autrefois à l'endroit de la colonne QX-267, s'était entièrement rempli de sédiments. Une augmentation contemporaine de la fréquence des mollusques aquatiques dans l'échantillon 14-354 indique que l'écoulement principal des eaux de source se dirigeait alors vers l'emplacement futur de la colonne 14.

Les assemblages malacologiques contemporains des autres sites autour d'Onnens montrent une hausse de mollusques des espèces d'affinité forestière allant de pair avec une baisse dans les taxons pionniers boréo-alpines et arctico-alpines. On peut en déduire que la forêt a continué à coloniser les dernières surfaces ouvertes marécageuses.

Les assemblages de la **malacozone PB-4a**, qui coïncident aussi avec des sédiments très tufeux, montrent à nouveau une hausse significative de l'abondance et de la diversité des mollusques forestiers, à l'exception des espèces du groupe 2, qui prospèrent dans des forêts ouvertes et sèches, et la quasi-disparition de *Nesovitrea petronella*, une espèce pionnière boréo-alpine du groupe 4. On constate également la baisse des taxons de milieu ouvert (gr. 9) et tolérant (gr. 6 et 7). Ces changements témoignent du développement continu et de la plus grande maturité de la forêt de feuillus, qui s'est densifiée et diversifiée en espèces, tout en intégrant nettement moins de conifères. L'augmentation des mollusques du groupe 8 indique que les surfaces plus sèches se sont étendues, éventuellement en raison d'un meilleur drainage du

terrain à cause de la croissance de grands feuillus matures dont les racines pénètrent plus profondément dans le sol.

Les mollusques palustres et aquatiques sont toujours bien représentés, ce qui indique la persistance d'eaux de la source et de suintements coulant très lentement en alimentant une série d'étangs peu profonds et des mares marécageuses entourés de terrains humides. Les mollusques aquatiques sont toujours plus nombreux dans la colonne 14 que dans la colonne QX-267 et ils sont associés à un fourreau de trichoptère minéralisé.

Dans les assemblages malacologiques contemporains des autres gisements autour d'Onnens, on observe une hausse majeure des mollusques forestiers, signe d'une importante réduction des surfaces ouvertes marécageuses. Toutefois, la présence continue des espèces pionnières boréo-alpines et arctico-alpines montre que ces zones persistaient toujours.

La **malacozone PB-4b**, qui correspond à la couche 6a avec des sédiments plus gris, plus limoneux et moins tufeux, débute après une surface d'érosion importante qui semble coïncider avec un hiatus sédimentaire majeur. Ces changements vont de pair avec une légère baisse des mollusques aquatiques et la disparition du bivalve *Pisidium personatum*. On peut en déduire qu'il y avait nettement moins d'eau coulant jusqu'à l'emplacement des colonnes d'étude, ce qui peut être interprété comme un signe de tarissement partiel de la source. Toutefois, des suintements ont continué à alimenter des mares peu profondes et des terrains marécageux dans les environs. Les analyses micromorphologiques et granulométriques confirment la diminution de l'influence des eaux de source et une alimentation accrue en eau provenant des processus de pente (*cf.* chap. 3). Ces changements pourraient être dus à des conditions climatiques plus sèches et à une légère hausse de l'instabilité du sol due au ruissellement de surface.

La faune forestière bien développée ne montre que peu de changements. Une hausse significative de l'espèce *Cochlostoma septemspirale* du groupe 4 et une légère augmentation des mollusques du groupe 8 indiquent que certaines parties de la forêt voisine devenaient moins humides. En dépit de la présence de mobilier daté du Mésolithique final, l'impact humain sur la forêt située dans les environs de la colonne 14 paraît relativement faible. Cependant, de légères hausses dans quelques espèces du groupe 6 et la réapparition du taxon de milieu ouvert *Vallonia pulchella* pourraient indiquer de légères perturbations de la couverture forestière, éventuellement sous la forme de débroussaillage du sous-bois pendant une courte période, ce qui expliquerait les indices de plus grande instabilité de pente.

Les assemblages malacologiques contemporains des autres gisements autour d'Onnens témoignent de la colonisation de quasi toutes les surfaces ouvertes marécageuses par la forêt de feuillus, dont la conséquence était la disparition définitive des espèces pionnières boréo-alpines et arctico-alpines.

4.7.4. Subboréal

La partie suivante de la séquence débute après un épisode d'érosion majeur qui a tronqué les couches tufeuses de la colonne QX-267, créant un hiatus sédimentaire important. Les assemblages typiques de l'Atlantique récent semblent être absents, et on peut en déduire que ce hiatus comprend la période entre la fin de l'Atlantique ancien et le début du Subboréal (fig. 30). Les limons tufeux de couleur gris noir qui suivent la surface d'érosion (ensemble 5) semblent représenter un sol enfoui. La **malacozone PB-5a** correspond à la partie inférieure de cet ensemble (c. 5c). Elle témoigne du développement forestier qui a continué depuis PB-4b, avec l'arrivée d'une nouvelle espèce sylvestre, *Monachoides incarnatus*, et la disparition de *Discus ruderatus*, dernière espèce forestière pionnière boréo-alpine (fig. 33). Une nette hausse de *Cochlostoma septemspirale* indique que la forêt de feuillus était considérablement plus sèche, du moins à certains endroits, ce qui pourrait être lié à l'arrivée probable du hêtre et au développement de celui-ci dans la forêt durant l'Atlantique récent (Hadorn 1994). PLus important encore, l'accroissement de la diversité et de la fréquence des espèces de milieu ouvert perceptibles dans cette malacozone, qui va de pair avec un léger déclin des mollusques forestiers, en particulier ceux du groupe 1 typiques de forêts de feuillus matures, constitue un indice encore plus important. Ces changements témoignent de

défrichements limités contemporains des structures et du mobilier datés du Néolithique moyen II. L'emplacement des colonnes d'étude se trouvant plus en amont de la principale zone occupée, il est probable que celles-ci se situent vers la limite nord-ouest de la surface déboisée, ce qui expliquerait l'impact assez restreint de cette action anthropique sur la forêt dans le secteur autour de la colonne 14.

Les espèces de milieu ouvert sont dominées par *Vallonia costata* (fig. 37), un taxon déjà bien représenté dans la séquence du Préboréal à l'Atlantique ancien à Praz Berthoud. De toutes les espèces de milieu ouvert, *Vallonia costata* fait partie de celles qui tolèrent le mieux les situations ombragées (Favre 1927 ; Kerney et Cameron 1999 ; Turner *et al.* 1998 ; Falkner *et al.* 2001). Elle est généralement la première à coloniser des surfaces défrichées et souvent la dernière à résister lorsque de hautes herbes et de jeunes arbres recolonisent ces surfaces après leur abandon (Evans 1972). La dominance de ce taxon et la faible représentation d'autres espèces de milieu ouvert indiquent que les surfaces ont été défrichées à répétition et utilisées pendant une courte durée, avant d'être laissées à l'abandon et recolonisées par des herbes hautes, des buissons et de jeunes arbres. Ces zones ont probablement été exploitées brièvement en tant que pâturages ou labourées, plutôt qu'en tant que champs pérennes (Thew dans Brombacher *et al.* 2013a). Les analyses micromorphologiques et géochimiques démontrent que la couleur foncée de cette couche est due à la présence d'abondants microcharbons ainsi qu'à la matière organique humifère. On observe également des indices de pédogenèse, mais pas assez pour occasionner une décalcification (*cf.* chap. 3). Une nette hausse des concentrations de charbons et des traces de rubéfaction dues au brûlis montre que les défrichements ont été pratiqués par le feu, ce qui expliquerait aussi la présence de quelques coquilles de mollusques brûlées.

Une baisse significative des mollusques palustres et aquatiques confirme la tendance déjà observée pour la malacozone PB-4b vers un assèchement progressif des environs. Ceci aide à expliquer le caractère moins tufeux et plus limoneux du sédiment, même si la présence de mollusques aquatiques et d'un fourreau de trichoptère minéralisé montre que les mares étaient toujours présentes. Les analyses micromorphologiques montrent que cette couche s'est accumulée grâce à un apport majeur par les processus de pente, en plus d'un composant biodétritique dû aux eaux de source. Toutefois, un redépôt d'une partie des concrétions tufeuses ne peut pas être entièrement exclu.

Située au-dessus d'un horizon de pierres, la partie supérieure de l'ensemble gris noir (c. 5a) correspond à la **malacozone PB-5b**. Une nette baisse des mollusques forestiers (de 66% des mollusques terrestres pour les groupes 1 à 4 dans la malacozone PB-5a à 55% en PB-5b), allant de pair avec des hausses dans les mollusques de milieu ouvert des groupes 9 et 10 (de 3.5 à 6.1%) et dans ceux des groupes 6 et 7 (de 26 à 33% ; en particulier *Trichia sericea*), indique de nouvelles activités de déboisement qui se sont étendues en amont jusqu'à l'endroit de la colonne 14. Ces défrichements sont contemporains des structures et du mobilier datés du Néolithique final et du Campaniforme.

Les espèces de milieu ouvert sont toujours dominées par *Vallonia costata*, ce qui indique des défrichements à répétition de courte durée, probablement par des brûlis (des coquilles brûlées sont à nouveau présentes), suivies de périodes d'abandon et de régénération forestière. Il s'agit donc de surfaces ouvertes temporairement, exploitées en tant que pâturages ou labourées, plutôt que des champs pérennes. Néanmoins, l'apparition de *Pupilla muscorum* ainsi que de *Vallonia excentrica* en petit nombre (fig. 35), une espèce du groupe 9 qui a besoin d'un habitat restant ouvert pendant une certaine durée et qui préfère une végétation herbacée courte mais assez dense, de type pelouse ou prairie (Rouse et Evans 1994 ; Falkner *et al.* 2001 ; Boschi et Bauer 2009), indique qu'une petite partie du milieu ouvert était devenue plus pérenne, éventuellement en lien avec un site d'habitat. L'espèce *Vallonia excentrica* semble être arrivée à Praz Berthoud à une date similaire à celle du Marais du Bataillard, c'est-à-dire durant le Néolithique récent/final.

Il n'y a que peu de changements dans les espèces sylvestres des groupes 1 à 4, même si la hausse significative de *Cochlostoma septemspirale*, ainsi que celle des mollusques du groupe 8, indiquent l'assèchement de la forêt qui se trouvait à proximité.

Une nouvelle baisse dans les mollusques aquatiques témoigne de l'assèchement progressif, même si des suintements et des zones marécageuses ont

continué à exister, avec quelques mares peu profondes sujettes à des assèchements saisonniers.

Après une surface d'érosion qui coïncide avec un hiatus sédimentaire majeur, il y a un dépôt colluvial de limons sableux assez caillouteux gris brun (c. 3c) allant de pair avec d'importants changements dans la faune malacologique de la **malacozone PB-6a**, qui affiche une nette baisse des fréquences de matériel malacologique en raison d'une sédimentation plus rapide. Cette couche est associée à des structures et à du mobilier archéologique datés de l'âge du Bronze ancien et moyen.

Cette malacozone montre une nouvelle baisse des mollusques sylvestres (à 39% de la faune terrestre pour les groupes 1 à 4), qui va de pair avec une hausse des espèces de milieu ouvert (à 13.5% pour les groupes 9 et 10) et des taxons des groupes 6 et 7 (à 40%), ce qui indique de nouveaux défrichements. L'espèce *Vallonia costata* domine toujours parmi les mollusques de milieu ouvert, ce qui indique que la plupart des surfaces ouvertes étaient de courte durée, et suivies d'abandon et de régénération forestière. Néanmoins, l'arrivée de *Candidula unifasciata* (fig. 36) et les augmentations dans les autres taxons des groupes 9 et 10, tels que *Vallonia excentrica*, *Chrondrula tridens* (fig. 34) et *Pupilla muscorum*, indiquent que les surfaces ouvertes plus pérennes ont été élargies. La présence de *Candidula unifasciata* démontre également une exploitation plus intensive des sols, en accord avec le début d'un colluvionnement assez rapide. Ces changements suggèrent que les surfaces ouvertes plus permanentes existaient sous la forme de champs pâturés de manière assez intensive, probablement par des bovins (Boschi et Bauer 2009, tab. 5), ou éventuellement sous la forme de pâturages sporadiquement labourés au moyen d'un araire. En outre, la hausse significative des mollusques du groupe 8 est un signe de l'assèchement des surfaces voisines.

Les baisses des mollusques aquatiques et palustres indiquent que l'assèchement a continué. Toutefois, la présence de ces mollusques, même en nombre modeste, montre que des zones gorgées d'eau et quelques étangs marécageux peu profonds sujets à des assèchements saisonniers existaient toujours, raison pour laquelle une nouvelle espèce palustre, *Vertigo antivertigo*, apparaît pendant cette période. L'étude micromorphologique a également montré que cette colluvion s'est déposée dans des conditions certes humides, mais moins que dans les couches sous-jacentes (*cf.* chap. 3).

Les mollusques de la **malacozone PB-6b** sont associés à un dépôt colluvial plus sableux et plus caillouteux (c. 3b), avec une baisse significative des fréquences malacologiques due à une sédimentation plus rapide. La présence d'une surface d'érosion à la base de cette malacozone et d'une deuxième coïncidant avec un horizon caillouteux, située juste au-dessus du milieu de cette couche, confirment l'importance du ruissellement de surface. Selon les analyses micromorphologiques, la partie supérieure de cette couche est plus grossière. Ces dépôts sont associés à des structures et à du mobilier datés de l'âge du Bronze récent et final.

Une petite hausse des mollusques forestiers (à 41% pour les groupes 1 à 4) va de pair avec une baisse limitée des taxons des groupes 6 et 7 (à 35%), bien qu'une petite fraction de ces mollusques sylvestres pourrait être redéposée vu la présence de deux coquilles de *Discus ruderatus*. Les espèces de milieu ouvert sont en légère augmentation (à 14% pour les groupes 9 et 10). *Vallonia costata* constitue toujours l'espèce dominante parmi les mollusques de milieu ouvert, ce qui signifie que la plupart des surfaces ouvertes n'étaient que de courte durée et qu'à chaque fois la forêt s'est régénérée après l'abandon. Les surfaces ouvertes plus pérennes sont probablement restées assez limitées, malgré l'arrivée d'*Helicella itala* et la présence de *Candidula unifasciata*, qui suggèrent toutefois que ces surfaces ont vraisemblablement pris la forme de champs utilisés de manière assez intensive, soit comme pâtures (probablement pour des bovins) soit pour le pâturage avec des épisodes sporadiques de labours.

Les nombres des mollusques aquatiques et palustres restent plus ou moins stables, ce qui indique qu'il y avait toujours quelques zones marécageuses à proximité avec des étangs marécageux peu profonds.

4.7.5. Subatlantique

Après une nouvelle surface d'érosion, les colluvions deviennent beaucoup plus sableuses et caillouteuses

qu'avant (c. 3a), alors qu'une nette baisse des fréquences malacologiques témoigne d'une sédimentation beaucoup plus rapide. L'insertion chronologique de cette couche est incertaine, mais la continuité manifeste de la nature des sédiments suggère une datation probable du premier âge du Fer (Hallstatt). Malheureusement, la limite avec la couche sus-jacente (c. 2a.3) est très irrégulière à cause de l'érosion et il y a eu un mélange des deux couches au moment du prélèvement des échantillons. La **malacozone PB-6c/7a** représente donc un mélange composé en majorité de mollusques de la dernière partie de la malacozone PB-6 et d'un nombre restreint de mollusques de la première partie de la malacozone PB-7, ce qui explique les tendances fauniques contradictoires constatées pour cet assemblage.

On constate, d'une part, une hausse des mollusques de milieu ouvert (à 18% pour les groupes 9 et 10), avec un accroissement significatif de *Candidula unifasciata* et *Helicella itala* ainsi que des augmentations plus modestes de *Vallonia excentrica*, *Vallonia pulchella* et *Truncatellina cylindrica*, alors que d'autre part, il y a une nette baisse de *Vallonia costata* et *Trichia sericea*. Ces tendances indiquent premièrement l'existence de nouveaux défrichements et, deuxièmement, le remplacement de la plus grande partie ou de toutes les zones de surfaces ouvertes de courte durée par des surfaces ouvertes de manière plus permanente. La majeure partie des quantités non négligeables de *Candidula unifasciata* et *Helicella itala* provient vraisemblablement de la couche sus-jacente (c. 2a.3). Toutefois, étant donné la texture plus grossière des sédiments de la couche 3a, il est probable que les fréquences de ces mollusques étaient déjà en augmentation dans la malacozone PB-6c. Ces deux espèces affectionnent des milieux plutôt secs sur un substrat calcaire, souvent situés en pente, avec une végétation herbacée courte et pas très dense de type prairie maigre. Ces surfaces devaient ressembler aux pâturages traditionnels bien drainés du Jura utilisés pour les bovins (Falkner *et al.* 2001 ; Boschi et Bauer 2009, tab. 5 et 6). Ces changements indiquent que la surface pérenne était plus étendue et a vraisemblablement pris la forme de champs utilisés de manière assez intensive, soit pour le pâturage (probablement par des bovins) soit pour le pâturage avec des labours sporadiques au moyen d'un araire. Une partie des quantités importantes de *Vallonia costata* était vraisemblablement associée à des individus de *Candidula unifasciata* et *Helicella itala*, car ce taxon est aussi fréquent sur les terrains pâturés par des bovins (Boschi et Bauer 2009, tab. 5 et 6). Toutefois, la présence en grand nombre de *Vallonia costata* et *Trichia sericea* pourrait également signifier qu'un système de rotation agricole était en place dans une partie de la surface ouverte en amont de la colonne 7, avec des surfaces utilisées comme pâturages, peut-être avec des épisodes sporadiques de labours, avant d'être laissées en friche pendant plusieurs années.

A l'inverse, on constate également une hausse de la proportion des mollusques sylvestres et d'ombre (à plus de 50% pour les groupes 1 à 4), alors que les taxons des groupes 6 et 7 diminuent nettement (à 27.5%), de même que le groupe 8, signe d'une période de régénération forestière. Une analyse micromorphologique de la couche 3a montre qu'après une période de colluvionnement assez intense, la sédimentation a quasiment cessé, permettant une altération de cette couche par des processus pédogénétiques (*cf.* chap. 3).

D'après ces indices, il y a eu des nouveaux défrichements et une période d'exploitation agricole plus intensive durant la première partie du Hallstatt. Par la suite, la forêt s'est partiellement régénérée pendant la dernière partie du Hallstatt et/ou pendant la première partie de La Tène, ce qui a créé une plus grande stabilité de surface en amont de la colonne 7 et une diminution du colluvionnement.

Les quantités de mollusques aquatiques et palustres ont nettement baissé. On peut en déduire que des terrains marécageux existaient toujours à proximité, mais que les mares peu profondes habitées par les mollusques aquacoles avaient pratiquement disparu.

Les mollusques de la **malacozone PB-7b** sont associés à un dépôt colluvial encore plus grossier (c. 2a.3). Une baisse des fréquences malacologiques témoigne d'une sédimentation plus rapide. A la base de cette couche, qui date probablement de la période romaine, il y a une importante surface d'érosion irrégulière qui coïncide avec un hiatus sédimentaire majeur.

Une modeste baisse des mollusques sylvestres (à 45% pour les groupes 1 et 4), en particulier les espèces du groupe 1, va de pair avec une légère hausse de la proportion de mollusques des groupes 6 et 7 (à 31%). Ces changements pourraient être un indice de gestion forestière, avec la pratique de coupes de grands fûts, créant ainsi des espaces ouverts qui ont pu être colonisés par des herbes hautes, des buissons et de jeunes arbres. Les mollusques des taxons de milieu ouvert ont légèrement augmenté (à 18.6% pour les groupes 9 et 10), ce qui suggère de nouveaux défrichements après un abandon partiel vers la fin de la malacozone précédente. Les valeurs relativement élevées de *Candidula unifasciata* et *Helicella itala*, ainsi que les petites augmentations de *Vallonia excentrica* et *Vallonia pulchella*, indiquent l'existence de champs pérennes de prairies basses pâturés de manière intensive, probablement par des bovins, et/ou des pâturages labourés sporadiquement au moyen d'un araire. L'importance persistante des valeurs significatives de *Vallonia costata* et *Trichia sericea* pourrait être due à un système de rotation agricole avec des surfaces utilisées comme pâturages, peut-être avec des épisodes sporadiques de labours, puis laissées en friche durant plusieurs années.

Il y a toujours des mollusques aquatiques et palustres en petit nombre, ce qui indique la persistance de zones gorgées d'eau en amont du site, éventuellement avec quelques étangs marécageux peu profonds.

La **malacozone PB-7c** est associée à une colluvion assez caillouteuse (c. 2a.2) qui date probablement de la période romaine. Les fréquences plus basses des mollusques indiquent que cette couche s'est déposée encore plus rapidement. Il y a une légère augmentation de la proportion des mollusques forestiers (à 48.5% pour les groupes 1 à 4) et une hausse des espèces de milieu ouvert (à 23.5% pour les groupes 9 et 10) aux dépens d'une baisse des taxons 6 et 7 (à 23%). Ces changements indiquent qu'en dépit d'un léger agrandissement de la superficie des pâturages permanents, une diminution de l'intensité de l'exploitation forestière a permis la croissance de jeunes arbres au détriment d'une partie des herbes hautes. Parmi les espèces de milieu ouvert, les valeurs toujours assez élevées de *Candidula unifasciata* et *Helicella itala* démontrent la persistance de prairies basses, pâturées de manière assez intensive, probablement par des bovins, et/ou des pâturages labourés sporadiquement. La forte représentation de *Vallonia costata* et *Trichia sericea* semble également montrer qu'un système de rotation agricole était toujours en place.

Des mollusques aquatiques et palustres sont encore présents en petit nombre, ce qui témoigne de l'existence de surfaces restreintes gorgées d'eau en amont du site, éventuellement avec de rares étangs marécageux très peu profonds.

Les mollusques de la **malacozone PB-7d** sont associés à une colluvion nettement plus caillouteuse et grossière (c. 2a.1). La fréquence des mollusques est beaucoup plus basse en raison du taux de sédimentation colluvial le plus élevé depuis le Préboréal tardif. Cette couche est associée à des structures et à du mobilier de la période romaine.

La proportion de mollusques sylvestres diminue significativement (à 38% pour les groupes 1 à 4) alors que les espèces de milieu ouvert augmentent (à 29% pour les groupes 9 et 10) et que les mollusques des groupes 6 et 7 sont également en hausse (à 27%). Ces changements signifient un agrandissement de la surface ouverte en permanence présente en amont des colonnes d'étude, malgré la persistance d'une forêt mature de grands fûts et d'un sous-bois assez dense à proximité. La hausse de la proportion de *Candidula unifasciata* (figure 8) à plus de 7.5% de mollusques terrestres est le reflet d'un changement faunique qui a également été constaté dans plusieurs sites du canton de Neuchâtel, principalement pour la période du haut Moyen Âge mais aussi pour des périodes considérablement plus anciennes (Thew dans Brombacher *et al.* 2013a et 2013b). La surface ouverte était toujours une prairie basse, probablement pâturée par des bovins, mais le changement de la faune malacologique indique une exploitation encore plus intensive des zones ouvertes qui a réduit la stabilité de surface. Ce changement faunique est peut-être dû au pâturage par des bovins plus grands ou des troupeaux plus nombreux, ou des labours plus intensifs. Malgré ce développement, la présence en nombres significatifs de *Vallonia costata* et *Trichia sericea* suggère que

le système de rotation agricole était toujours en pratique, avec des surfaces utilisées comme pâturages, peut-être avec des épisodes sporadiques de labours, puis laissées en friche durant plusieurs années.

Des mollusques aquatiques et palustres sont encore présents en petit nombre, ce qui indique qu'il très peu profonds, situés en amont à proximité dans la forêt.

4.8. L'apport de l'étude malacologique à l'interprétation des vestiges mésolithiques

Les données malacologiques de la partie inférieure de la séquence de Praz Berthoud confirment la datation du Mésolithique moyen et final des artefacts dégagés dans au moins deux horizons d'occupation qui eux s'insèrent dans les biozones régionales du Boréal et de l'Atlantique ancien. Plus important peut-être, l'horizon le plus bas en colonne QX-267 avec du matériel archéologique (c. 7.2 et 7.1), mais sans éléments diagnostiques, peut être daté de manière certaine du Mésolithique ancien car les assemblages malacologiques permettent de dater ces couches du Préboréal tardif. De plus, les mollusques de la malacozone PB-1 ressemblent à ceux des assemblages du niveau Mésolithique ancien le plus bas de l'Abri des Gripons dans le canton de Jura (Chaix 1991 ; Thew, étude en cours).

Les faunes malacologiques des malacozones PB-1 à PB-4 démontrent que les occupations mésolithiques de Praz Berthoud se trouvaient dans un contexte environnemental de forêt en voie de développement. Une forêt assez ouverte, peuplée de feuillus et de conifères avec un sous-bois composé de hautes herbes et de buissons, qui a progressivement évolué vers une forêt de feuillus dense et mature avec beaucoup de grands fûts et un sous-bois également dense. Les assemblages malacologiques montrent que l'impact des occupations mésolithiques dans les environs de la colonne 14 était négligeable. Ce résultat pourrait être dû au fait que cette colonne d'étude est située à la limite amont de la zone principale des occupations. En colonne QX-267, en revanche, il y a des indices clairs d'interférence anthropique sur la forêt et même de défrichements limités pratiqués à plusieurs occasions durant le Mésolithique moyen, sous la forme de coupes d'arbres jeunes et matures ainsi que par l'enlèvement du sous-bois. Il s'agit des preuves les plus probantes d'impacts humains importants sur la forêt mésolithique de tous les sites suisses dont les assemblages malacologiques de l'Holocène ancien et moyen ont été étudiés. Des évidences similaires attestées dans des séquences malacologiques britanniques et irlandaises ont été interprétées comme signes de défrichements forestiers mésolithiques (Preece 1980 ; Preece *et al.* 1986 ; Davies et Griffiths 2005). A l'instar de Praz Berthoud, ces séquences témoignent du déclin des mollusques d'affinité forestière et d'ombre qui coïncide avec des hausses rapides du taxon de milieu ouvert *Vallonia costata* (fig. 37). De plus, des pics dans les quantités de fragments de charbons de bois peuvent suggérer que le moyen principal de défrichement utilisé était le feu. Toutefois, de tels pics des quantités de charbons de bois n'ont pas été observés pour les sédiments de Praz Berthoud. Il est donc possible que d'autres méthodes de défrichement aient été mises en pratique tels que l'annélation (écorçage en anneau) ou l'enlèvement de hautes herbes, de buissons et de très jeunes arbres par la coupe avec des outils en silex ou par le déracinement à la main. Néanmoins, la présence de coquilles brûlées dans l'échantillon QX-267-13, ainsi que la présence constante de charbons de bois, suggèrent que le feu a été utilisé pour dégager au moins une partie du sous-bois. Sur le site d'Oberbuchsiten-Bachmatt (SO), un assemblage malacologique daté du Mésolithique final exprime également des évidences de régénération forestière après des interférences anthropiques ou des défrichements limités lors desquels les grands fûts ont été laissés sur pied. Cependant, dans ce cas précis, la faune était associée à une fine couche de charbons (Thew 2006).

Les défrichements mésolithiques de Praz Berthoud étaient vraisemblablement d'envergure limitée. La colonne QX-267 a été prélevée dans une zone humide au pied du Jura. Il est donc probable que la plupart des coquilles des sédiments limoneux dans la partie inférieure de cette colonne (c. 7.2 à 6t) ont été lessivées d'une bande de quelques mètres autour de l'étang. Davies et Gardner (2009) ont démontré que les populations malacologiques actuelles reflètent généralement l'environnement local immédiat dans

un rayon de 2 à 5 mètres. A Praz Berthoud, il n'y a pas d'indices de défrichements mésolithiques dans les assemblages malacologiques de la colonne 14 qui se trouve à une distance de sept mètres seulement de la colonne QX-267. On peut donc postuler que les défrichements épisodiques dans les environs de la colonne QX-267 étaient de dimensions limitées. Si les surfaces affectées par des défrichements ou des interférences forestières par les populations mésolithiques étaient de très petite envergure (<10 m de diamètre), il y a peu de chance de détecter de tels événements dans les séquences de mollusques subfossiles (Davies et Gardner 2009). Néanmoins, on peut argumenter que les surfaces défrichées devaient être de dimension limitée, sinon les indices de déboisement seraient apparus plus souvent dans les analyses palynologiques. En effet, dans la région du Jura les signes de défrichement les plus anciens observés dans les diagrammes palynologiques semblent correspondre au Néolithique ancien et moyen I (6e et 5e millénaires avant J.-C. ; Gauthier et Richard 2008). Notons toutefois que des indices de défrichement ont été signalés sur plusieurs sites du Plateau suisse, en particulier des sites datés après ca. 7000 av. J.-C. (Erny-Rodmann *et al.* 1997 ; Tinner *et al.* 2007). En Grande-Bretagne, des analyses palynologiques standard effectuées à proximité de plusieurs sites mésolithiques majeurs où des défrichements ont sans doute eu lieu, n'ont pourtant pas permis de détecter le moindre signe d'interférence forestière, ce qui montre la difficulté de repérer ce type d'activité (Preece 1998). Néanmoins, des preuves irréfutables de défrichements mésolithiques ont été repérées dans de nombreux sites britanniques (Simmons 1979, 1996 ; Innes et Simmons 2000 ; Innes et Blackford 2003 ; Blackford *et al.* 2006 ; Innes *et al.* 2010 ; Ryan et Blackford 2010), ainsi que dans un certain nombre de gisements en Europe continentale nord-ouest et centrale (Welinder 1989 ; Ralska-Jasiewiczowa et van Geel 1992 ; Bos et Urz 2003 ; Poska *et al.* 2004 ; Kuneš *et al.* 2008 ; Wacnik 2009). La surface défrichée probable du site mésolithique de Bossington mesurait un peu plus de 15 m de diamètre (Davies et Griffiths 2005). Ainsi, il paraît très peu probable que les surfaces affectées par des défrichements et des interférences forestières anthropiques ont pu être nettement plus grandes à Praz Berthoud.

Des études ont montré qu'il faut compter au moins 15 à 20 ans avant de pouvoir détecter des réponses claires aux activités de défrichement dans les populations malacologiques. De plus, des défrichements de petite taille et de courte durée n'ont aucun impact durable sur les faunes forestières. La probabilité de les discerner dans des assemblages malacologiques est donc très réduite ; ceci est d'autant plus vrai lorsqu'ils proviennent d'échantillons représentant des sédiments accumulés durant de nombreuses décennies. Dans la littérature scientifique, il est prouvé que les événements naturels tels que des feux de forêt et des chutes d'arbres ou des activités anthropiques comme le taillis n'ont que très peu d'impact sur les faunes malacologiques forestières ; du moins, celles-ci s'en remettent très rapidement. Par conséquent, des défrichements ou des interférences forestières anthropiques ne sont enregistrés dans les séquences de mollusques subfossiles que lorsque les conditions d'ouverture persistent pendant une période assez importante (Davies et Gardner 2009). On estime que l'épisode de défrichement attesté à Bossington a duré 140 années au maximum depuis le début du déboisement jusqu'à la régénération forestière (Davies et Griffiths 2005). En colonne QX-267, les 1400 ans du Boréal sont représentés par 100 cm de sédiment (éch. QX-267-16 à QX-267-6), c'est-à-dire une accumulation moyenne de 7,14 cm de sédiment par centaine d'années. Ces chiffres concordent avec les taux d'accumulation de tufs sur plusieurs sites britanniques estimés de 1 à 3 cm/100 ans pour des tufs fins et poudreux, de 4 à >7 cm/100 ans pour des tufs limoneux avec une composante détritique et de 4 à >12 cm/100 ans pour des tufs granuleux et onchoïdaux (Preece 1998 ; Davies et Griffiths 2005). Selon ces estimations, et en tenant compte de l'épaisseur des échantillons, les sédiments de l'échantillon QX-267-16 ont mis 50 à 70 ans pour s'accumuler, ceux de l'échantillon QX-267-15 100 à 120 ans, ceux de l'échantillon QX-267-13 110 à 140 ans, ceux de l'échantillon QX-267-11 60 à 80 ans et ceux de l'échantillon QX-267-10 80 à 100 ans. Il semble clair que les faunes malacologiques des échantillons QX-267-15, 13, 11 et 10 ne représentent pas un seul épisode de défrichement, mais comprennent au moins un cycle qui comprend le défrichement initial, le maintien d'un espace ouvert, la recolonisation par les herbes hautes et de jeunes arbres et enfin une régénération forestière.

Néanmoins, pour que les signes de perturbation forestière soient si évidents dans ces assemblages, on peut déduire que les surfaces concernées par des défrichements ou par des interférences forestières ont été maintenues ouvertes pendant une durée assez considérable. Les faunes malacologiques en colonne QX-267 indiquent que les activités de défrichement étaient peu intensives et que celles-ci ont consisté en la coupe de quelques arbres et l'enlèvement du sous-bois. Le sol n'a pas été affecté par des labours. Ces épisodes de défrichement consistaient donc probablement en des coupes d'arbres sporadiques et l'enlèvement régulier de la strate arbustive pendant une durée assez longue de 20 à 50 années ou plus.

Il est possible que la présence d'une source constitue la raison pour laquelle les populations mésolithiques ont choisi de fréquenter le site de Praz Berthoud. L'existence d'un lac pendant l'Holocène ancien et moyen au pied de la colline du village d'Onnens (Schopfer *et al.* 2011) pourrait également avoir joué un rôle dans le choix de Praz Berthoud comme lieu d'occupation. Un petit étang peu profond alimenté par les eaux de la source se trouvait à l'emplacement de la colonne QX-267 durant toute la période du Boréal. Les évidences de plusieurs épisodes d'interférence forestière et/ou de défrichements limités dans les environs de cette colonne pourraient donc être liées à l'intérêt des populations mésolithiques d'aménager la zone de la source. La structure creuse mésolithique (*cf.* chap. 8.1, p. 119), située à environ 7 m de la colonne QX-267, pourrait également faire partie de cet aménagement. Sur le site d'Oberbuchsiten-Bachmatt (SO), les évidences d'interférence forestière ou de défrichements limités du Mésolithique final sont également associées à une source (Thew 2006). La création et le maintien de surfaces ouvertes dans un paysage essentiellement forestier pouvaient également servir à faciliter la chasse d'animaux ou à encourager la croissance de plantes comestibles (Mellars 1976 ; Mason 2000 ; Davies *et al.* 2005). Brown (1997) propose un modèle selon lequel les populations mésolithiques ont su tirer profit des ouvertures naturelles créées par des orages ou des feux naturels dans le couvert végétal en les agrandissant ou en les entretenant.

4.9. Conclusions

- En total, les coquilles de 24 échantillons analysés de trois colonnes d'étude correspondent à un NMI de 47'319 individus. Il s'agit de 44'951 mollusques de 72 espèces terrestres et de 2368 mollusques de six taxons aquatiques.
- Les assemblages malacologiques sont répartis entre sept malacozones principales appelées PB-1 à PB-7.
- Les malacozones PB-1 à PB-4 couvrent la période entre le Préboréal tardif et l'Atlantique ancien, ce qui correspond à la période mésolithique. Les assemblages malacologiques permettent de dater l'horizon archéologique le plus profond du Mésolithique ancien et de confirmer la datation des horizons suivants du Mésolithique moyen et final.
- Les malacozones PB-5 à PB-7 couvrent la période du Subboréal à la première partie du Subatlantique. Sur le plan culturel, cette période va du Néolithique moyen II à la période romaine.
- Les différentes couches des colonnes d'étude ont pu être corrélées de manière fiable à l'aide des données malacologiques et de celles concernant les caractéristiques des sédiments.
- Les occupations mésolithiques ont eu lieu dans un contexte environnemental d'évolution forestière. Une forêt assez ouverte, peuplée de feuillus et de conifères avec un sous-bois composé d'herbes hautes et de buissons, a progressivement évolué vers une forêt de feuillus mature avec beaucoup de grands fûts et un sous-bois dense.
- L'impact des occupations mésolithiques sur la forêt semble négligeable dans les environs de la colonne 14, alors qu'il est nettement plus important autour de la colonne QX-267. Les assemblages malacologiques de cette dernière montrent clairement des indices d'interférence anthropique sur la forêt et de défrichements limités pendant le Mésolithique moyen, ceci sous la forme de coupes d'arbres et d'enlèvement de la strate du sous-bois. Ces déboisements avaient une envergure limitée, dont le diamètre n'excédait probablement pas 20 m. Ces surfaces n'ont pas été exploitées de manière intensive, c'est-à-dire qu'elles n'ont jamais été cultivées. Néanmoins,

les surfaces ouvertes à proximité de la colonne QX-267 ont été entretenues à plusieurs reprises et pendant des durées considérables (de 20 à 50 ans ou plus, mais probablement pas plus que 70 à 80 ans) par la coupe d'arbres, par annélation (écorçage en anneau) ou par enlèvement du sous-bois (composé de hautes herbes, de buissons et de très jeunes arbres) par brûlis, coupes ou déracinement.

- Les mollusques témoignent de la présence d'eau courante durant toute la période du Boréal vers des mares et des étangs peu profonds, y compris vers un petit étang qui se trouvait à l'emplacement futur de la colonne QX-267. La présence d'une source et de petits plans d'eau a peut-être incité les populations mésolithiques à choisir Praz Berthoud comme lieu d'occupation. Les épisodes d'interférences forestières et les défrichements dans les environs de la colonne QX-267 étaient très probablement liés à la volonté des populations mésolithiques d'accéder à l'eau, mais ces petites ouvertures pourraient aussi avoir été créées dans le but de faciliter la chasse des animaux qui venaient s'y abreuver.
- Les assemblages malacologiques correspondant aux horizons d'occupation néolithique montrent sans équivoque des évidences de défrichements, probablement par brûlis, malgré le fait que le lieu d'occupation et d'autres activités domestiques se trouvaient plus en bas de pente par rapport à la position des colonnes d'étude. Les défrichements du Néolithique moyen II paraissent être de courte durée et suivis d'abandon, puis de régénération forestière. En revanche, pour le Néolithique final et le Campaniforme il y a des évidences de surfaces ouvertes plus pérennes mais de dimension restreinte qui pourraient être liées à un habitat. Malgré les défrichements, la forêt située vers la limite amont des sites néolithiques est restée dense et relativement peu touchée par des activités anthropiques. Beaucoup de suintements et d'étangs peu profonds se sont asséchés durant cette période, mais quelques étangs peu profonds et zones marécageuses ont perduré au sein de la forêt.
- Le colluvionnement a commencé pendant le Bronze ancien, suite à l'extension des surfaces ouvertes dont certaines étaient pérennes. Ces derniers s'agissaient probablement de champs permanents pâturés de manière assez intensive par des bovins, mais des épisodes sporadiques de labours au moyen d'un araire ne sont pas à exclure. Toutefois, la plupart des surfaces ouvertes l'étaient pour une courte durée, suivie d'abandon et de régénération forestière. L'assèchement des surfaces humides a continué mais quelques zones marécageuses ont persisté avec de rares étangs peu profonds.
- Durant le premier âge du Fer (période du Hallstatt), les colluvions deviennent plus grossières en raison de l'agrandissement des surfaces ouvertes situées en amont des colonnes d'étude. La plus grande partie ou même toutes les surfaces affectées par des défrichements de courte durée sont devenues plus pérennes. La majorité consistait en champs de prairie pâturés de manière assez intensive par des bovins et/ou de prairies labourées sporadiquement avec un araire. Une autre partie de ces surfaces ouvertes était exploitée par rotation agricole, c'est-à-dire qu'après avoir été pâturées et/ou légèrement labourées, elles ont été laissées en friche pendant plusieurs années.
- On assiste à une légère régénération forestière pendant le Hallstatt récent et/ou à La Tène ancienne. Il s'agit de surfaces ouvertes de dimensions plus restreintes et d'une forêt assez dense situées à proximité de l'emplacement futur des colonnes d'étude, ce qui a occasionné une plus grande stabilité de surface et une pédogenèse. Même si quelques terrains marécageux ont persisté en amont, la plupart des mares et des étangs peu profonds avaient disparu.
- Après un hiatus sédimentaire, on observe des colluvions nettement plus caillouteuses durant la période romaine. Ces dépôts sont associés à des taux de sédimentation beaucoup plus élevés et à une stabilité de surface nettement réduite. Les surfaces ouvertes en permanence situées en amont des colonnes d'étude ont été considérablement agrandies. Beaucoup d'entre elles consistaient en champs de prairies basses probablement pâturées par des bovins, mais l'exploitation était plus intensive, soit parce que les races

bovines étaient plus grandes soit parce que les labours étaient plus fréquents. Un système de rotation agricole était probablement toujours en pratique. Une forêt mature avec de grands fûts et un sous-bois relativement dense se trouvait toujours à proximité, mais il existe des évidences de gestion forestière et de coupes de grands fûts. Quelques terrains marécageux ont persisté en amont avec de rares étangs très peu profonds au sein de la forêt.