

**Zeitschrift:** Cahiers d'archéologie romande  
**Herausgeber:** Bibliothèque Historique Vaudoise  
**Band:** 154 (2014)

**Artikel:** L'habitat alpin de Gamsen (Valais, Suisse) : 2. Le contexte géologique : histoire sédimentaire d'un Piémont en contexte intra-alpin, du Tardiglaciaire à l'actuel  
**Autor:** Moulin, Bernard / Guélat, Michel / Rentzel, Philippe  
**Kapitel:** III: Les témoins tardiglaciaires  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-835634>

### **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:** 23.02.2026

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

## CHAPITRE III

### LES TÉMOINS TARDIGLACIAIRES

#### 3.1 PRÉSENTATION

##### 3.1.1 LOCALISATION, EXTENSION GÉOGRAPHIQUE

Les témoins tardiglaciaires sont localisés dans deux zones bien distinctes du site (domaines morpho-sédimentaires A et F ; fig. 7, p.19 et fig. 30) : d'une part tout à l'est du site, à Bildacker, entre 663,50 m et 667,50 m d'altitude sur un petit replat situé entre les reliefs escarpés du pied de versant, au sud-est, et un talus abrupt de 6 m environ séparant ce replat de la plaine d'inondation actuelle du Rhône au nord-est, d'autre part dans la partie ouest du site (Waldmatte-ouest), à environ 550 m de la zone qui vient d'être mentionnée. À Waldmatte-ouest, ces témoins ont été reconnus sur une surface d'extension assez restreinte sur le replat d'une butte

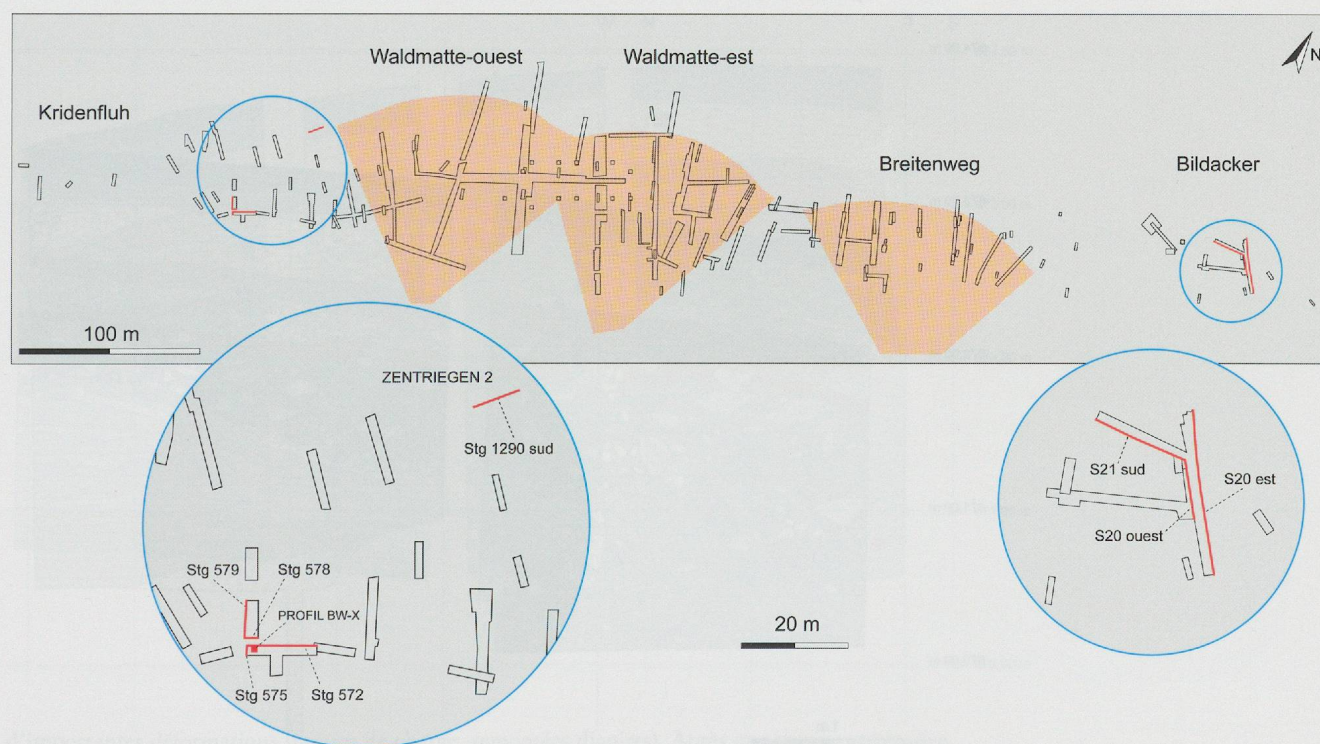


Fig. 30 — Position des coupes illustrées pour la séquence tardiglaciaire (voir annexe 1 pp. 268-269 pour le plan général).



**Légende des figurés**

Séquence tardiglaciaire (domaines A et F)

-  remanié
-  humus actuel sur colluvions fines
-  dépôts de débordement de berge
-  colluvions fines
-  colluvions grossières
-  colluvions d'alluvions
-  sol brun enfoui formé sur substrat de colluvions
-  sol brun enfoui avec rubéfaction très marquée
-  substrat des sols bruns enfouis
-  graviers torrentiels
-  blocs et graviers d'apport torrentiel
-  coulée boueuse grise
-  coulée boueuse gris clair
-  coulée boueuse gris foncé
-  graviers fluvioglaciers jaunes
-  graviers fluvioglaciers gris
-  sables fluvioglaciers jaunes
-  limons sableux et sables limoneux glacio-lacustres
-  limons glacio-lacustres
-  argiles glacio-lacustres vertes
-  concrétions carbonatées d'origine pédogénétique
-  limite de couche
-  limite intra-couche
-  limite supérieure de la séquence glacio-lacustre
-  limite de relevé

résiduelle bien marquée dans la topographie, où les dépôts sont présents entre 670 m et 672,50 m. En contrebas du talus, proche de la plaine alluviale actuelle (villa Zentrieggen 2), ils ont été observés à une altitude comprise entre 660,50 m et 661,50 m.

### 3.1.2 ÉLÉMENTS CHRONOLOGIQUES

Peu d'éléments de datation sont à disposition pour préciser la position chronologique de cette séquence. Ce sont uniquement des données de chronologie relative établies à partir d'investigations palynologiques provenant de la séquence ancienne de Waldmatte-ouest. Si l'attribution au Tardiglaciaire de cette séquence est assurée, la corrélation plus précise à une des chronozones paraît sujette à certaines réserves. La présence de spectres polliniques à dominante de *Pinus-Betula* avec *Artemisia* et *Poaceae* pourrait permettre d'envisager l'attribution de cette séquence au Dryas récent<sup>126</sup> (attribution probable pour les ensembles sédimentaires I, II, possible pour l'ensemble sédimentaire VI, voir fig. 4I et annexe 9). Les dépôts de colluvions fines jaune-beige qui tronquent cette séquence (ensemble sédimentaire VIII) pourraient, quant à eux, appartenir au Boréal (dominance de *Corylus*, présence de *Pinus*, *Betula*, *Ulmus*), bien qu'il faille mentionner la qualité de conservation des pollens plutôt moyenne.

## 3.2 DOSSIER DOCUMENTAIRE

### 3.2.1 DOCUMENTATION STRATIGRAPHIQUE: DESCRIPTIF DES COUPES DE RÉFÉRENCE

#### 3.2.1.1 Séquence tardiglaciaire Waldmatte-ouest

#### Description des coupes Stg 572 et Stg 575 (Tr.15) (fig. 31)

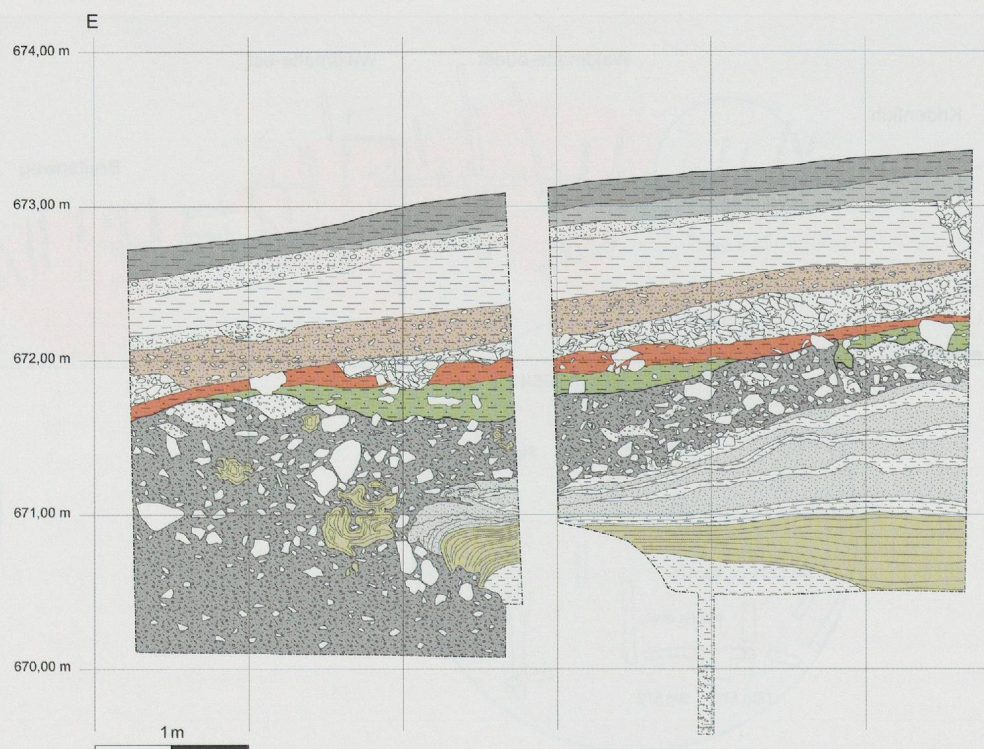
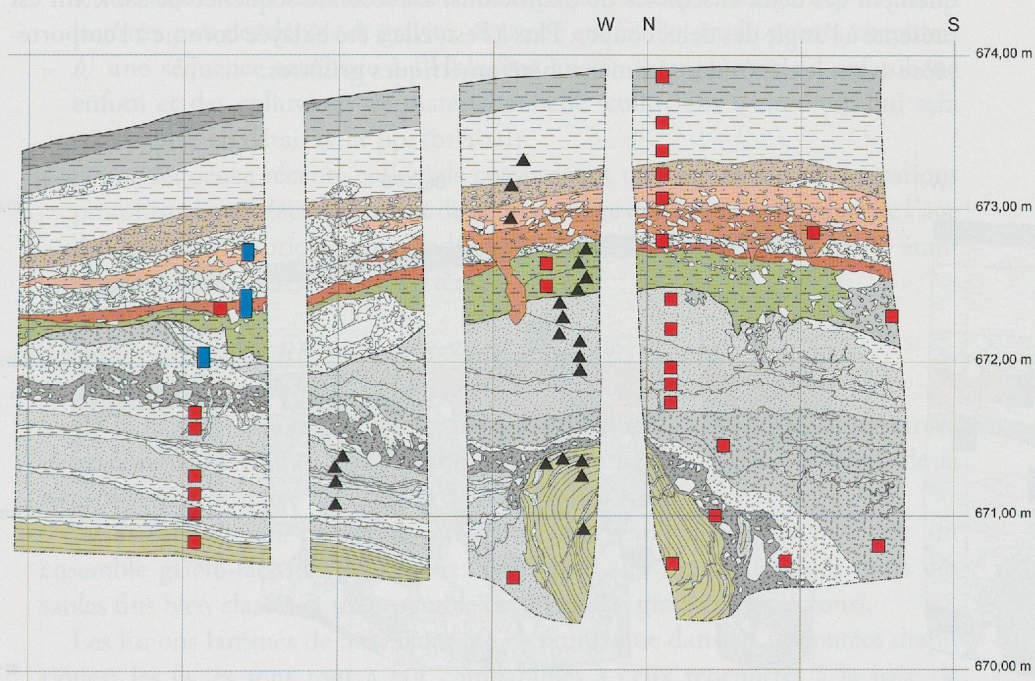


Fig. 31 — Coupes stratigraphiques de la séquence tardiglaciaire et holocène de Waldmatte-ouest Stg 572 et Stg 575 (Tr.15). Le tiers inférieur (limons argileux et sables, gravillons) appartient à une séquence glacio-lacustre, surmontée (tiers médian) de diamictons (coulées de débris) responsables



Ces deux coupes perpendiculaires entre elles, et dont la situation topographique est montrée sur la figure 30, présentent la stratigraphie la plus complète de la séquence tardiglaciaire de Waldmatte-ouest. C'est d'autre part dans ces deux coupes qu'ont été prélevés une colonne d'échantillons sédimentologiques (profil BWX, annexes 10, 11 et 12), un profil palynologique<sup>127</sup>, ainsi qu'une série d'échantillons micromorphologiques (voir chapitre IX, pp. 209 sqq.).

Les dépôts de base sont constitués de limons argileux vert olive à laminations; ces dépôts atteignent 1,5 m de puissance (ensemble sédimentaire I, fig. 41). Les faciès de base, reconnus uniquement par sondages à la tarière, sont de granulométrie plus grossière. Dans leur partie sommitale, ces limons laminés sont fréquemment indurés par des précipitations de carbonates. Ces carbonates se présentent par ailleurs sous forme d'encroûtements friables à l'emplacement d'anciennes racines, suivant certains plans de stratification (sommet des litages limoneux les plus imperméables), ainsi que dans certaines fissures de dessiccation. Le faciès passe plus haut, de façon progressive, à des sables fins, parfois limoneux, beige clair (ensemble sédimentaire II). Cette séquence de base est perturbée par les structures de charge de la première phase de déformation, suite au recouvrement par un cailloutis hétérométrique de type diamicton, à matrice sablo-limoneuse gris-bleu (ensemble sédimentaire III), puis, après un nouveau contact franc, celui-ci fait place à un gravier sableux orangé (ensemble sédimentaire IV). La séquence se poursuit par des sables gravillonneux grisâtres (ensemble sédimentaire V), puis par des sables moyens gris et finalement par des sables fins gris-jaune à rares intercalations limoneuses gris-vert (ensemble sédimentaire VI). Un nouveau contact net se marque par la troncature des sédiments fins par un nouveau diamicton à matrice sablo-limoneuse grise assez semblable à la précédente (ensemble sédimentaire VII), bien développé dans la partie orientale de la coupe Stg 575. Puis la séquence est tronquée et la sédimentation change. Les sédiments sus-jacents sont des limons sableux vert olive à la base, passant plus haut



d'importantes déformations (figures de charge, remontées diapires). Après une troncature érosive, le tiers supérieur comprend une succession de deux sols enfouis, surmontés de colluvions d'alluvions torrentielles et de limons de débordement de berge. Légende des symboles: carrés rouges = échantillons sédimentologiques; triangles noirs = échantillons palynologiques; rectangles bleus = échantillons micromorphologiques (voir annexes 10, 11 et 12 pour la numérotation des échantillons).



à une teinte jaune-ocre puis brun-rouge (ensembles sédimentaires VIII et IX). Un cailloutis à matrice sablo-limoneuse (ensemble sédimentaire X) sépare ces limons d'une seconde séquence de sédiment brun-rouge à matrice sablo-limoneuse, plus riche en éléments grossiers que la précédente (ensemble sédimentaire XI). Une limite nette (base de chenal) marque la base d'un dépôt de cailloutis (ensemble sédimentaire XII). Une strate assez régulière de sable limoneux à cailloux (ensemble sédimentaire XIII), puis une séquence limono-sableuse assez homogène, résultant de débordements de bisse (ensemble sédimentaire XIV), constituent les derniers dépôts avant l'humus de surface (ensemble sédimentaire XV).

*Description des coupes Stg 578 et Stg 579 (Tr.19) (fig. 32)*

Ces deux coupes, également perpendiculaires entre elles (fig. 30), sont situées à proximité des deux précédentes; la coupe Stg 578 est parallèle à la coupe Stg 575, les coupes Stg 572 de Tr.15 et Stg 579 de Tr.19 sont situées sur le même axe. Une série d'échantillons a été prélevée pour la micromorphologie (voir chapitre IX).

La succession stratigraphique est proche de celle des coupes Stg 572 et Stg 575; cependant, les perturbations liées à des déformations synsédimentaires affectant les dépôts sont nombreuses, rendant cette succession moins lisible. Nous ferons donc une description des faciès plus rapide que précédemment, en mettant plutôt l'accent sur la position des perturbations et leur insertion chronologique, en nous basant sur les corrélations avec les coupes Stg 572 et Stg 575.

Les limons laminés de base, de même que les sables fins de la séquence immédiatement sus-jacente, ne sont observés dans ces coupes qu'en position remaniée dans les sédiments plus récents: dans la coupe Stg 578, ces dépôts apparaissent en nodules informes (galets mous), dispersés dans des sables limoneux gris-bleu à éléments hétérométriques (diamictons) qui sont eux-mêmes déformés et injectés dans la séquence supérieure de diamictons; seul un mince niveau de sable gravillonneux orangé discontinu et lui-même fortement déformé permet de séparer stratigraphiquement ces deux ensembles de diamictons. La seconde séquence de sable fin est présente à l'angle des deux coupes. Plus à l'est, elle a été balayée comme à l'emporte-pièce avant le dépôt des sédiments hétérométriques grisâtres.

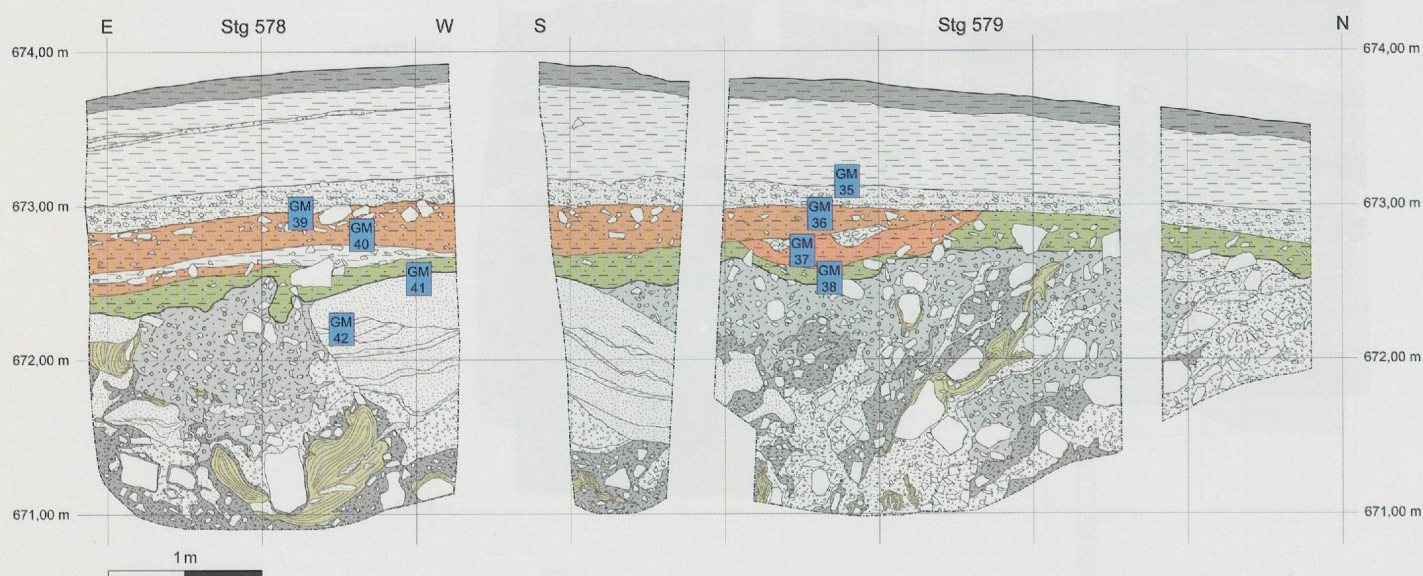


Fig. 32 — Coupes stratigraphiques de la séquence tardiglaciaire et holocène de Waldmatte-ouest Stg 578 et Stg 579 (Tr.19). Les principaux ensembles reconnus dans la figure 31 se retrouvent ici (séquence glacio-lacustre, dépôts de coulées de débris avec figures de charge, sols enfouis, colluvions et limons de débordement de bisse). Légende des symboles: voir fig. 31.



La coupe Stg 578 est *grosso modo* perpendiculaire à l'axe de déplacement des matériaux, alors que la coupe Stg 579 lui est parallèle, bien que située en périphérie. Dans cette dernière coupe, les injections de sédiment présentent une direction nettement marquée vers l'aval. La suite de la séquence sédimentaire est assez similaire à ce qui a été décrit dans les deux profils précédents: après un horizon de troncature, la stratification est à nouveau subhorizontale; les faciès brun-rouge à matrice sablo-limoneuse sont à corréliser avec les deux niveaux brun-rouge décrits dans les coupes Stg 572 et Stg 575. Le sommet de la séquence se corrèle également sans ambiguïté avec le sommet de la coupe Stg 575 (sable limoneux à cailloux, limon sableux homogène puis humus de surface). Les dépôts concernant la séquence holocène seront pris en considération plus loin (voir chapitre IV, pp. 101-102).

### 3.2.1.2 Séquence de Bildacker

La séquence ancienne de Bildacker a été observée dans la partie orientale du site qui se présente sous forme d'un petit replat en surélévation par rapport à la plaine du Rhône. Parmi les sept sondages exploratoires qui ont été effectués en 1992 dans cette partie du site (fig. 30), les cinq sondages situés le plus à l'est (BB-S15, BB-S16, BB-S17, BB-S18, BB-S19) ont permis de connaître le contexte stratigraphique et géométrique de cette séquence. Ces sondages ont été complétés en 1997 par deux grandes coupes, BB-S20 et BB-S21 dont les données ont largement contribué à préciser la dynamique de dépôts relativement complexes.

Les données présentées ci-après proviennent des coupes BB-S20 et BB-S21 qui ont été étudiées de façon détaillée: la coupe BB-S20 est orientée nord-ouest/sud-est, c'est-à-dire sensiblement dans le sens de la pente actuelle du terrain; la coupe BB-S21 est, quant à elle, orientée est-ouest.

Trois grands ensembles sédimentaires peuvent être mis en évidence dans les coupes étudiées (fig. 33 et 35):

- a) une séquence de base, attribuée au Tardiglaciaire, comprenant des dépôts glacio-lacustres puis des dépôts de gravité, séquence qui fait l'objet du présent chapitre;
- b) une séquence attribuée à l'Holocène ancien, comprenant un sol rubéfié enfoui et des colluvions de matériel rubéfié (colluvions d'altérites), qui sera traitée plus en détail (voir pp. 101-102);
- c) une séquence récente colluviale comprenant une succession d'occupations protohistoriques (établissement de la fin de l'âge du Bronze et habitats de l'âge du Fer) puis historiques très érodées, les phases agraires (BB-7 et BB-8) étant associées à l'utilisation d'un système de bisses.

#### Description des coupes BB-S20 et BB-S21 (fig. 33 à 37)

##### *a) la séquence tardiglaciaire: dépôts glacio-lacustres et dépôts de gravité*

Cette séquence représente les deux tiers inférieurs de la coupe. Les importantes déformations plastiques rendent difficile la reconstitution dans le détail de la séquence sédimentaire initiale.

La sédimentation peut être subdivisée en deux ensembles majeurs: un ensemble glacio-lacustre, comprenant à la base des limons laminés, puis des sables fins bien classés et un ensemble de dépôts de gravité (diamictons).

Les limons laminés de base n'ont été reconnus que dans les remontées diapiriques; les faciès sont tout à fait comparables à ceux rencontrés à la base de la séquence de Waldmatte-ouest (ensemble sédimentaire I du profil BWX). Dans la coupe BB-S20, la séquence lacustre sableuse qui lui fait suite (sable fins homogènes, bien classés) est bien développée à l'aval, alors qu'elle se biseaute rapidement vers l'amont. Des sables gravillonneux, très peu développés à l'aval, deviennent plus épais en amont.



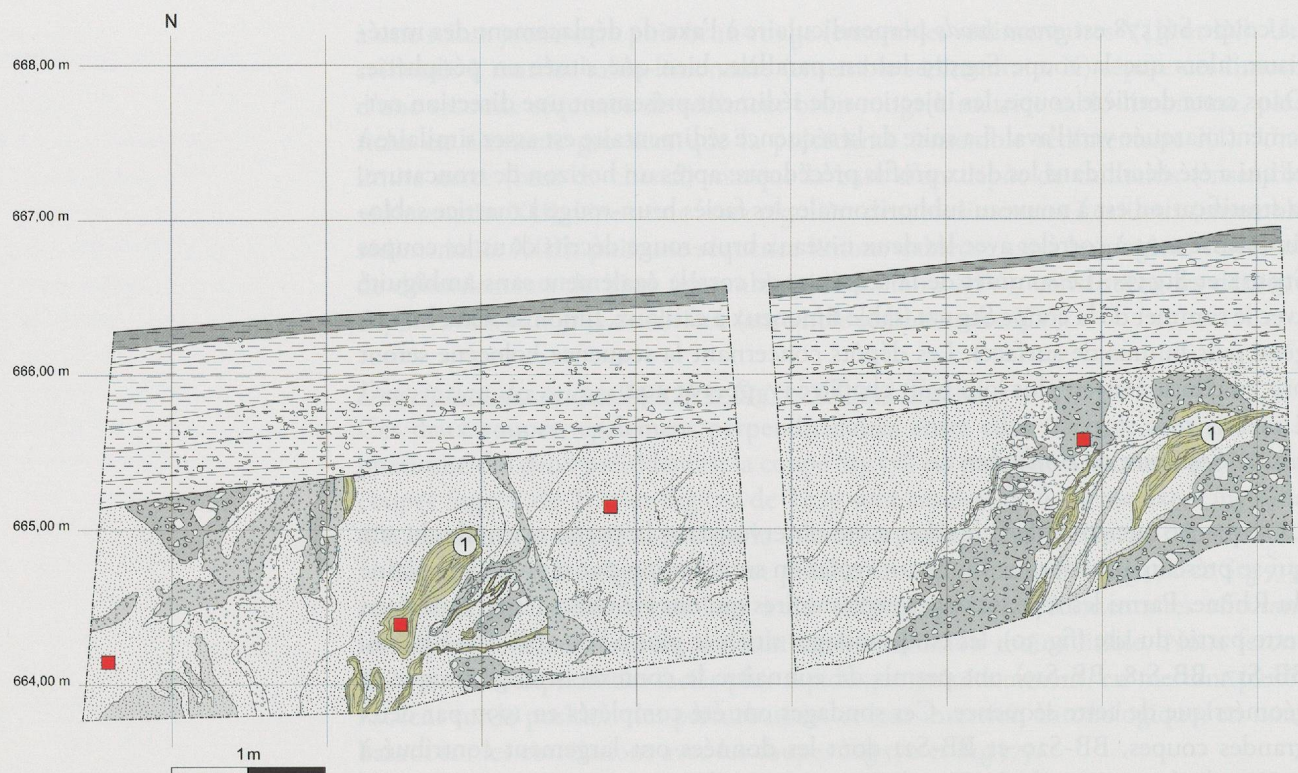


Fig. 33 — Coupe stratigraphique de la séquence tardiglaciaire et holocène de Bildacker (coupe S20 est). La séquence glacio-lacustre et les déformations liées à son recouvrement par des dépôts de coulée de débris constituent les deux-tiers inférieurs de la coupe. On notera, d'une part la variabilité des déformations (injections, remontées diapires, etc.) liée entre autre au fait que la strate de sable fin se biseaute progressivement vers l'amont (sud), d'autre part la surface de troncature érosive et son recouvrement par des dépôts colluviaux holocènes.

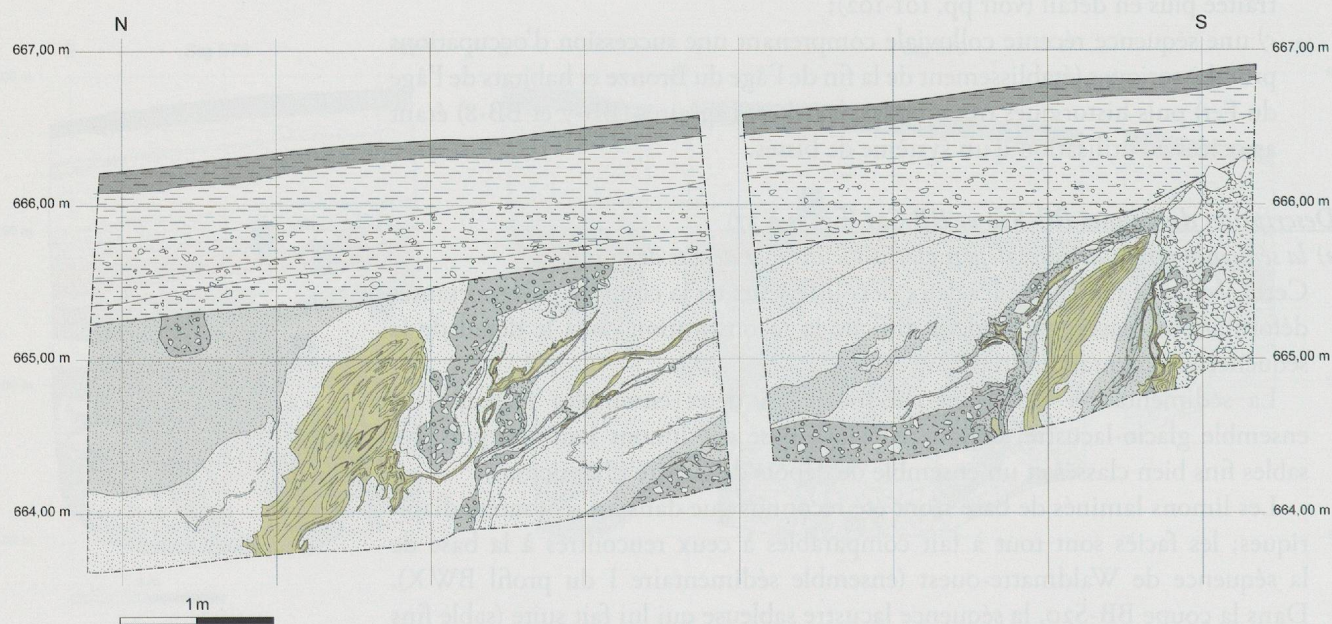


Fig. 34 — Coupe stratigraphique de la séquence tardiglaciaire et holocène de Bildacker (coupe S20 ouest). Cette coupe montre la même succession stratigraphique que celle de la fig. 33, avec des injections de limons.



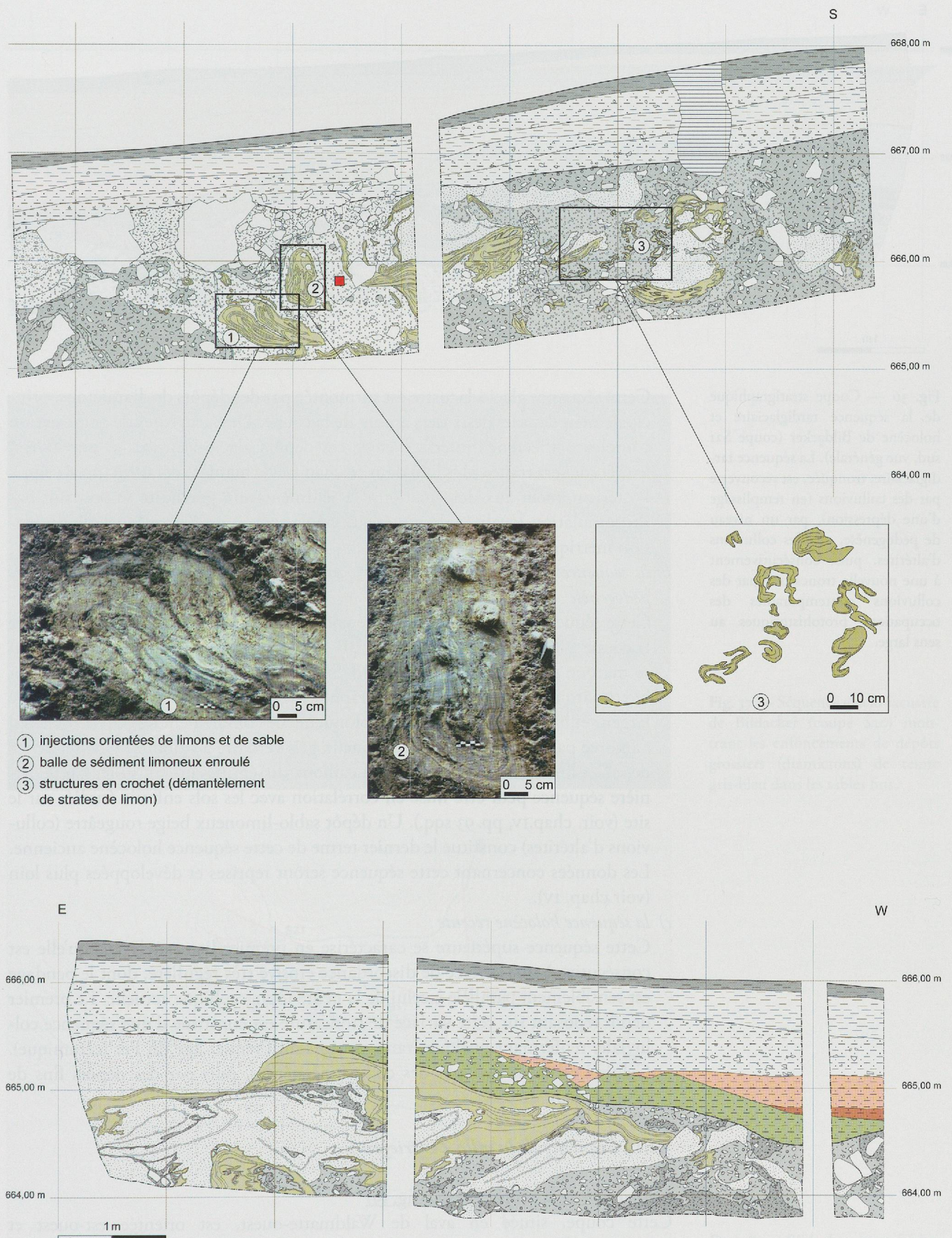


Fig. 35 — Coupe stratigraphique de la séquence tardiglaciaire de Bildacker (coupe S21 sud, détail de la partie est). La séquence glacio-lacustre montre des plis couchés (sables et limons argileux) de grande ampleur (3 à 4 m) injectés dans des graviers. Cette séquence est tronquée et recouverte d'une séquence holocène, explicitée dans la figure 36.



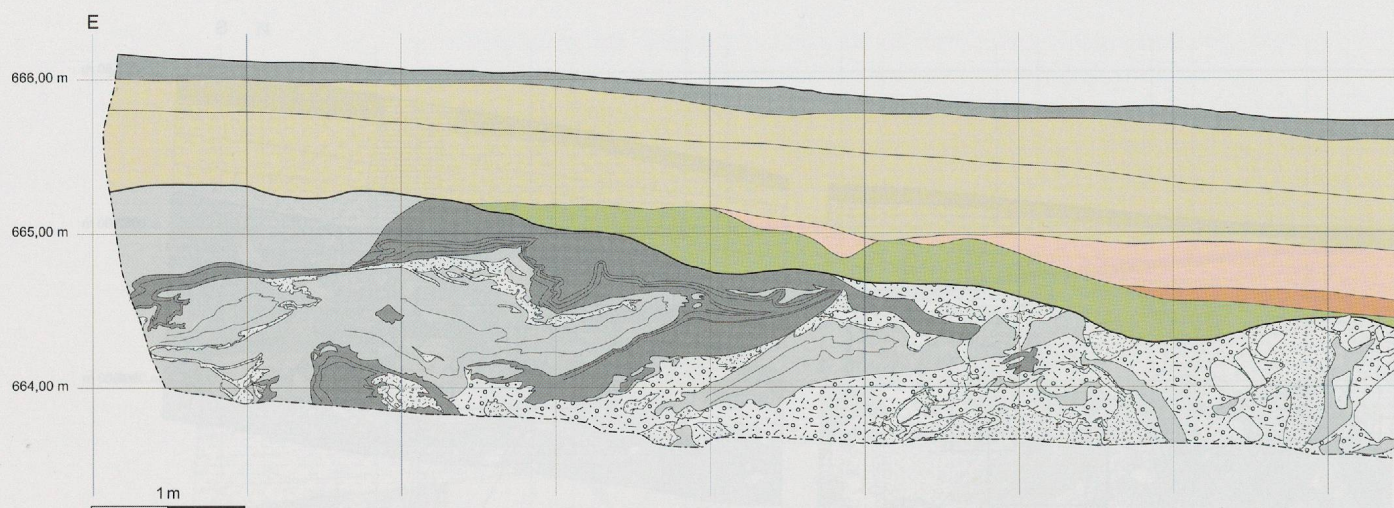


Fig. 36 — Coupe stratigraphique de la séquence tardiglaciaire et holocène de Bildacker (coupe S21 sud, vue générale). La séquence tardiglaciaire, tronquée, est recouverte par des colluvions (en remplissage d'une dépression), par un niveau de pédogenèse, par des colluvions d'altérites, puis, consécutivement à une nouvelle troncature, par des colluvions contemporaines des occupations protohistoriques au sens large.

Cette séquence glacio-lacustre est surmontée par des dépôts de diamictons, principalement dans les deux tiers amont de la coupe. Des structures de déformation complexes affectent l'interface entre ces dépôts glacio-lacustres et gravitaires; leur étude sera traitée plus loin dans ce chapitre de manière détaillée (pp. 84 sqq.). Postérieurement aux déformations, la sédimentation gravitaire se poursuit par l'accumulation localisée de matériaux hétérométriques à gros blocs de dimension métrique.

*b) la séquence holocène antérieure aux occupations: dépôts de gravité et niveau de pédogenèse*

Cette séquence intermédiaire n'a été conservée que dans la partie aval (nord de la coupe BB-S20, ouest de la coupe BB-S21) et fait suite à une phase érosive qui se marque surtout dans la coupe BB-S21 par la présence d'une inflexion assez bien marquée dans la paléo-topographie (fig. 38), d'une dizaine de mètres de largeur et d'environ un mètre de profondeur. Le comblement de ce paléo-chenal s'amorce par l'apport de sables limoneux gris verdâtre à cailloux. Une séquence de sables limoneux brun rougeâtre à cailloux disséminés lui fait suite. Cette dernière séquence peut être mise en corrélation avec les sols enfouis étudiés sur le site (voir. chap. iv, pp. 93 sqq.). Un dépôt sablo-limoneux beige rougeâtre (colluvions d'altérites) constitue le dernier terme de cette séquence holocène ancienne. Les données concernant cette séquence seront reprises et développées plus loin (voir chap. iv).

*c) la séquence holocène récente*

Cette séquence supérieure se caractérise en premier lieu par le fait qu'elle est consécutive à une surface de discordance érosive très régulière, dont le pendage est sensiblement parallèle à celui de la pente topographique actuelle. Le premier dépôt reposant sur cette surface de troncature est constitué d'une séquence colluviale, renfermant quelques rares vestiges du Premier âge du Fer (céramique). Celui-ci est surmonté par des colluvions stériles, puis par des dépôts fins de débordement de bisse.

### 3.2.1.3 Séquence de la villa Zentrieggen 2

*Description de la coupe Stg 1290 (fig. 39)*

Cette coupe, située en aval de Waldmatte-ouest, est orientée est-ouest et présente la succession stratigraphique suivante: à la base, une séquence glacio-lacustre qui comprend des sables fins gris, des limons vert olive, des sables gravillonneux jaunâtres. Cette séquence sédimentaire est affectée par des failles de tassement (voir p. 84). Un dépôt de gravillons gris scelle cet ensemble sédimentaire.



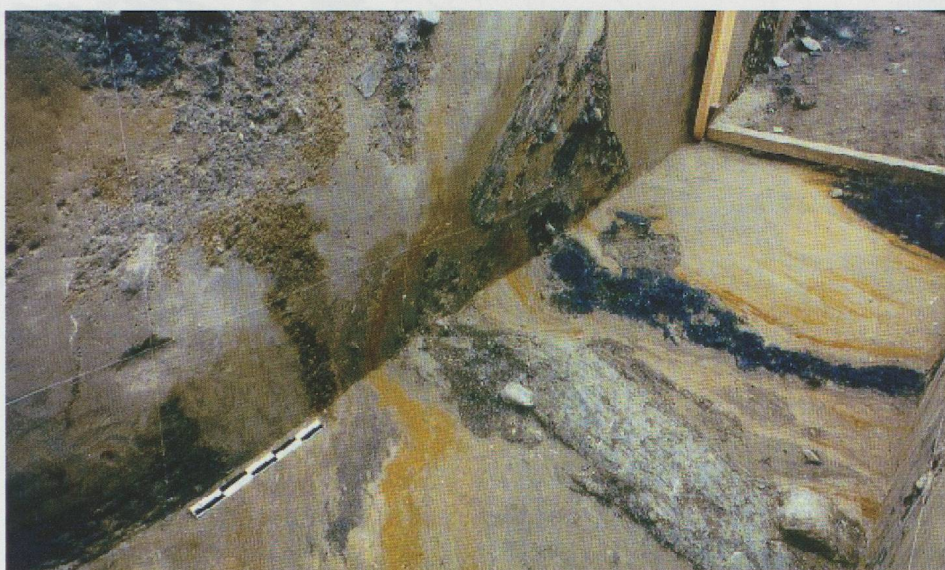
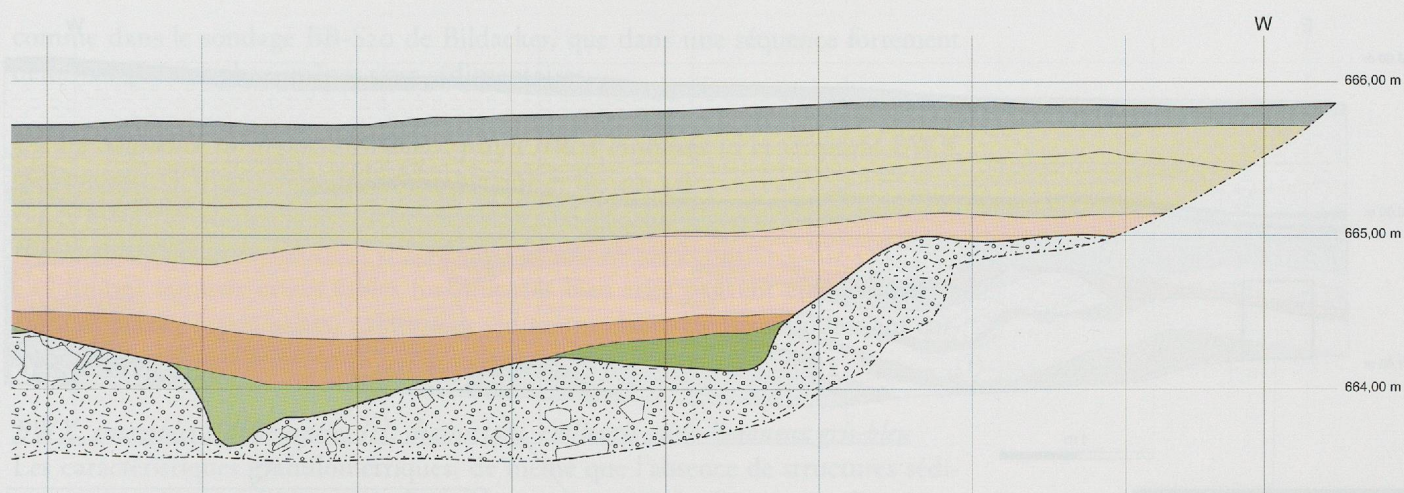


Fig. 37 — Séquence glacio-lacustre de Bildacker (coupe S20) montrant les enfoncements de dépôts grossiers (diamictons) de teinte gris-bleu dans les sables fins.

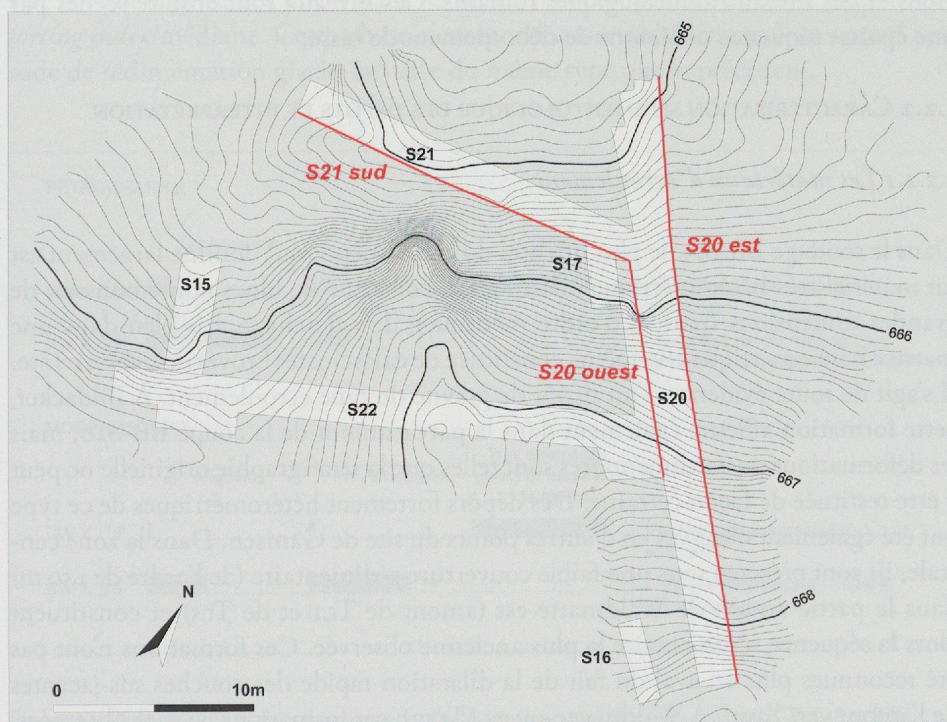


Fig. 38 — Bildacker, topographie du substrat. Localisation des sondages et des coupes de référence. Equidistance des courbes de niveau: 5 cm.



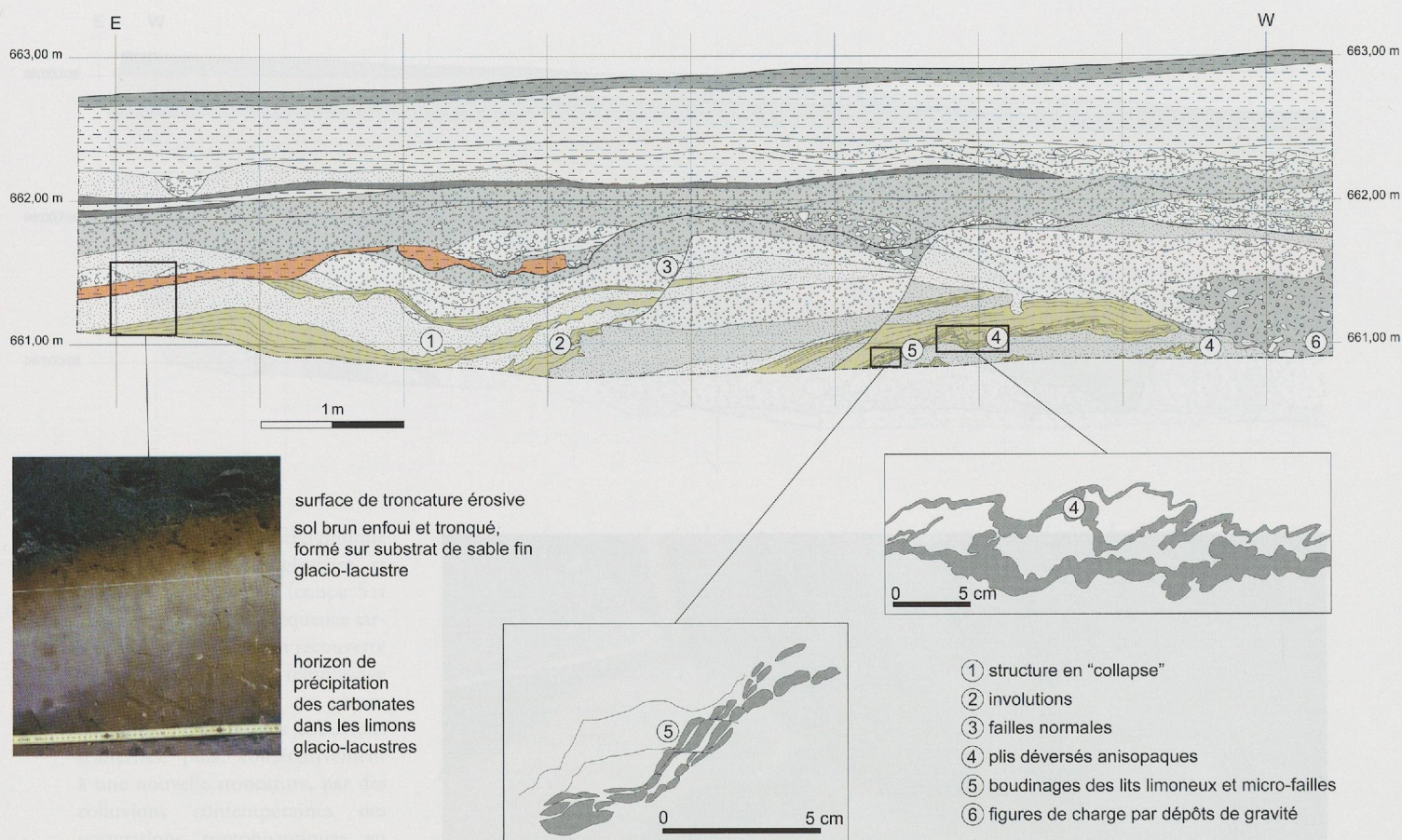


Fig. 39 — Coupe stratigraphique de la séquence tardiglaciaire et holocène de Zentrieggen 2 (Stg 1290 sud). Des failles de tassement affectent la séquence glacio-lacustre dans la partie centrale de la coupe; des structures de déformations mineures (plis déversés, micro-failles avec boudinages des lits limoneux) affectent les sédiments de part et d'autre des plans de faille. La séquence holocène montre un sol enfoui tronqué, formé sur substrat fin glacio-lacustre.

Un dépôt mince de limon sableux ocre-jaune, passant latéralement à un limon sableux rougeâtre peut être mis en corrélation avec les limons attribués au Boréal dans les coupes Stg 572 et Stg 575 de Tr.15 et affectés par les processus de pédogénèse. Des incisions érosives et des dépôts de graviers torrentiels s'intercalent entre ce sol enfoui et une séquence historique où s'interstratifient des dépôts de colluvions et des niveaux archéologiques romains. Ces niveaux sont ensuite scellés par une épaisse séquence de limons de débordement de bisse.

### 3.2.2 CARACTÉRISATION SÉDIMENTOLOGIQUE DES DÉPÔTS ET INTERPRÉTATION

#### 3.2.2.1 Les matériaux d'écroulement

Dans le sondage BB-S19, le plus oriental du site, le dépôt qui domine largement est un matériel très hétérométrique (diamicton), constitué de blocs non émoussés, de grandes dimensions (parfois d'ordre métrique), de calcschiste gris-bleu dans une matrice hétérométrique elle-même constituée de calcschistes broyés de même teinte. Il s'agit de toute évidence d'un dépôt de gravité de type écroulement. À Bildacker, cette formation affleure également dans la partie amont de la coupe BB-S20, mais les déformations postsédimentaires sont telles que la stratigraphie originelle ne peut y être restituée de façon certaine. Des dépôts fortement hétérométriques de ce type ont été également observés en d'autres points du site de Gamsen. Dans la zone centrale, ils sont présents sous une faible couverture sédimentaire (de l'ordre de 1,50 m) dans la partie amont de Waldmatte-est (amont de Tr.1 et de Tr.5) et constituent alors la séquence sédimentaire la plus ancienne observée. Ces formations n'ont pas été reconnues plus en aval du fait de la dilatation rapide des couches sus-jacentes de l'amont vers l'aval. À Waldmatte-ouest (Tr.19), ces formations ne sont observées,



comme dans le sondage BB-S20 de Bildacker, que dans une séquence fortement déformée par des phénomènes post-sédimentaires.

**3.2.2.2 Séquence tardiglaciaire ouest, profil BWX** (annexes 10 et 11: profil BWX (Stg 572 et 575), diagramme sédimentologique et fig. 40, 41)

*BWX, ensembles sédimentaires I et II: limons laminés et sables fins*

Ces limons laminés et ces sables fins micacés bien triés peuvent être interprétés comme des dépôts en milieu calme. Ces sédiments glacio-lacustres pourraient correspondre au comblement d'un lac marginal.

*BWX, ensembles sédimentaires III: diamictons, cailloutis sablo-limoneux gris-bleu*

Les caractéristiques granulométriques, de même que l'absence de structures sédimentaires et le caractère isotrope de ce dépôt permettent de classer cette formation dans les dépôts liés aux phénomènes gravitationnels de type coulée de débris. La composition pétrographique des fractions sableuses, ainsi que celle de la fraction 8-32 mm (prédominance des schistes gris), de même que la morphoscopie de la fraction 8-32 mm, attestent le caractère autochtone du matériel et le faible transport des éléments (fig. 40, échantillon 19). La teneur en carbonates, la plus élevée du profil, est très proche de celle du matériel de l'écroulement du Glishorn et reflète également les caractéristiques des schistes gris-bleu du substrat local.

*BWX, ensembles sédimentaires IV et V: graviers sableux orangés et sables graveleux grisâtres*

Ces graviers (fig. 40, échantillon 18) présentent des caractéristiques assez différentes (meilleur classement des particules, prépondérance des éléments cristallins [granite et gneiss] roulés dans la fraction 8-32 mm) dénotant un caractère plus allochtone du matériel (apport de matériaux du massif de l'Aar).

*BWX, ensemble sédimentaire VI: sables gris-beige clair*

Cette nouvelle séquence de sédiment sableux présente des caractéristiques sédimentologiques proches de celles de la séquence de base (BWX, ensembles sédimentaires I et II): abondance des micas dans les sables moyens, position dans le diagramme *sorting index*/médiane. Cette phase correspond vraisemblablement à un nouvel épisode de sédimentation glacio-lacustre du même type que le précédent.

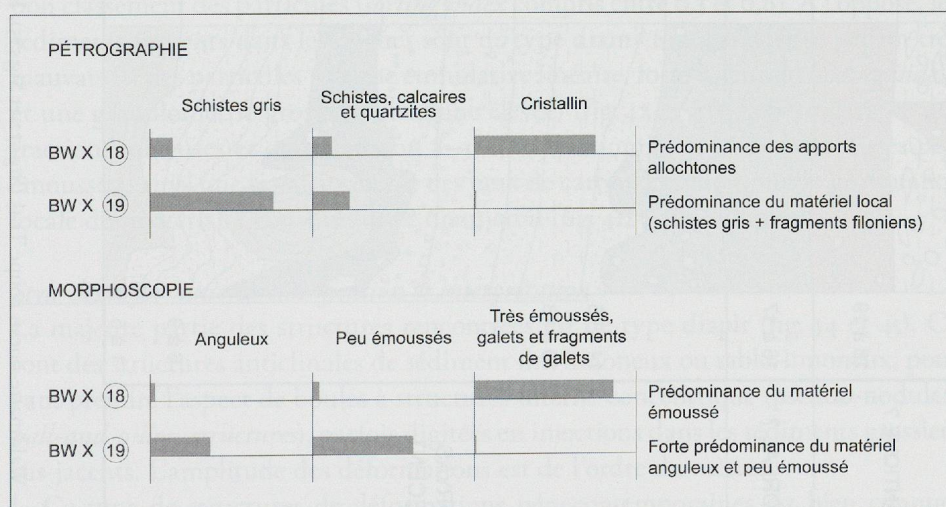


Fig. 40 — Pétrographie et morphoscopie des fractions 8-32 mm des échantillons BWX 18 et BWX 19.



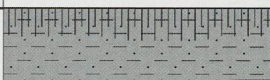








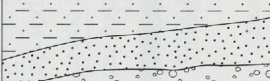
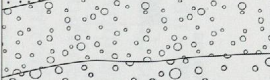



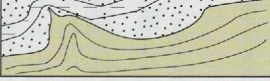
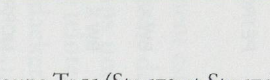
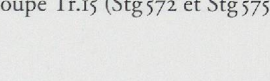

CHRONOLOGIE	Palynologie	LITHOLOGIE	ENSEMBLES SEDIMENTAIRES	Ech.	DESCRIPTION DE TERRAIN	GRANULOMETRIE	COMPOSITION des sables moyens (0,2 - 0,6 mm)	CHIMIE	DYNAMIQUE SEDIMENTAIRE
CONTEMPORAIN	22		XV	1	Limon sableux brun humifère	Classement moyen	Nombreux débris végétaux	Forte teneur en matière humique et matière organique	Sol actuel
	21		XIV	2 3	Limon sableux brun-beige clair	Classement assez bon, médiane basse	Débris végétaux et mollusques	Hausse de la teneur en matière organique	Débordement de bisse
			XIII	4	Sable limoneux à cailloux, panaché gris / beige	Très mauvais classement	Schistes et quartz dominants	Augmentation de la teneur en carbonates	Colluvionnement de matériel mixte
	20		XII		Sable limoneux rougeâtre à cailloux	Très mauvais classement	Schistes abondants, pas de grains calcaires	Baisse de la teneur en carbonates, hausse de la teneur en matière humique	Formation de sol sur colluvions grossières (sol 1 de BW ouest) et colluvions d'altérites
			XI	5 6					
			X	7	Sable limoneux gris-vert à cailloux	Très mauvais classement	Schistes et quartz dominants	Hausse sensible de la teneur en carbonates	Colluvionnement de matériel en grande partie non altéré
ATLANTIQUE ?	18 à 19		IX	8b	Sable limoneux rougeâtre à cailloux	Très mauvais classement	Schistes et quartz dominants	Teneur en carbonates presque nulle	Formation de sol sur substrat de colluvions fines, (sol 2 de BW ouest)
BOREAL ?	16 à 17		VIII	8 9	Limon sableux olive à ocre-jaune	Classement moyen, plus mauvais vers le haut	Présence de manchons racinaires (rhizolithes)	Carbonates en partie d'origine pédogénétique	Colluvionnement de matériel fin (composante loessique ?)
			VII	10	Cailloutis sablo-limoneux gris-bleu	Très mauvais classement	Schistes gris abondants	Hausse de la teneur en carbonates (> 25%)	Debris flow
DRYAS RECENT	14 à 15		VI	11 12 13 14 15	Sable fin limoneux gris-beige clair, plus grossier à la base	Très bon classement	Micas et quartz abondants	Teneur en carbonates basse	Sédimentation glacio-lacustre en domaine paraglaciale
	10 à 13								
									
									
			V	16 17	Sable gravillonneux grisâtre	Très bon classement, médiane élevée	Grains calcaires assez abondants	Teneur en carbonates autour de 15 %	Dépôts fluvio-glaciaires
			IV	18	Graviers sableux orangé	Bon classement, médiane élevée	Schistes gris abondants	Teneur en carbonates autour de 15 %	Dépôts fluvio-glaciaires
			III	19	Cailloutis sablo-limoneux gris	Très mauvais classement	Schistes gris abondants	Hausse de la teneur en carbonates (> 25%)	Debris flow
			II	20 21 22 23 24	Sables fins, sables limoneux et limons sableux	Très bon classement, médiane très basse	Micas et quartz abondants	Teneurs en carbonates basses (+ carbonates d'origine pédogénétique dans 21 et 22)	Sédimentation glacio-lacustre en domaine paraglaciale
6 à 9									
	1 à 5		I	25	Limons vert-olive à laminations	Bon classement, médiane très basse	Présence de manchons racinaires (rhizolithes)	Teneurs en carbonates basses	Sédimentation glacio-lacustre en milieu calme, faciès de décantation

Fig. 41 — Waldmatte-ouest, coupe Tr.15 (Stg 572 et Stg 575), Profil BW X, synthèse des résultats d'analyse et des interprétations (voir aussi annexes 10, 11 et 12).



BWX, ensemble sédimentaire VII: diamicton, cailloutis sablo-limoneux gris-bleu

Ce faciès présente les mêmes caractéristiques sédimentologiques que le sédiment de l'ensemble sédimentaire III; le contexte lithologique et géométrique présente également de grandes similitudes: enfoncement en poches du sédiment grossier dans le sédiment fin sous-jacent. Ce sédiment peut être interprété comme une nouvelle phase de coulée de débris (*debris flow*) venant s'enfoncer dans les dépôts lacustres de l'ensemble sédimentaire VI.

**3.2.2.3 Analyse d'une série restreinte d'échantillons de Bildacker**

Un choix restreint d'une dizaine d'échantillons a été prélevé dans la séquence de Bildacker, afin, d'une part, de pouvoir comparer les caractéristiques des faciès avec ceux de Waldmatte-ouest, d'autre part, de pouvoir mettre en relation les caractéristiques sédimentologiques et les structures de déformation synsédimentaires. L'échantillon de limons glacio-lacustres de base présente une courbe cumulative redressée entre 2 µm et 50 µm; les sables glacio-lacustres présentent des courbes très redressées dans les fractions sableuses fines; les teneurs en carbonates avoisinent 20%. Les diamictons se caractérisent, comme à Waldmatte-ouest, par des sédiments très mal triés: deux échantillons présentent des courbes cumulatives presque rectilignes entre 2 µm et 2 mm; ces diamictons se caractérisent d'autre part par leurs fortes teneurs en carbonates (autour de 40 %-50 %), qui sont parmi les plus élevées mesurées sur le site (fig. 18, p. 44).

**3.2.3 DÉFORMATIONS SOUPLES ET CASSANTES, CONTEXTE LITHOSTRATIGRAPHIQUE ET SÉDIMENTOLOGIQUE, INVENTAIRE, TYPOLOGIE ET INTERPRÉTATION****3.2.3.1 Séquence Waldmatte-ouest, première phase de déformation plastique**Localisation

Cette première phase de déformation affecte une partie restreinte des dépôts de la séquence ancienne ouest.

Contexte environnemental et lithostratigraphique

La séquence sédimentaire concernée est de type glacio-lacustre. Les sédiments présents dans les remontées diapires se caractérisent par une granulométrie fine (limons laminés, sables limoneux et sables; médiane comprise entre 10 µm et 100 µm) et un bon classement des particules (*sorting index* compris entre 0,3 et 0,6). À l'opposé, les sédiments présents dans les poches sont de type diamicton, caractérisé par un très mauvais tri des particules (courbe cumulative linéaire, forte valeur du *sorting index*) et une granulométrie grossière (médiane élevée) (fig. 42 et 43); la pétrographie des fractions sableuses et de la fraction 8 - 32 mm (prédominance des calcschistes peu émoussés), ainsi que la valeur élevée des taux de carbonates montrent la provenance locale des matériaux constituant ce diamicton (fig. 41, échantillon 19).

Style des déformations, classification et interprétation

La majeure partie des structures rencontrées est de type diapir (fig. 44 et 45). Ce sont des structures anticlinales de sédiment fin, limoneux ou sablo-limoneux, pouvant prendre l'aspect de boules à structures interne concentrique (pseudo-nodules, *ball-and-pillow structures*), parfois digitées en injections dans les sédiments grossiers sus-jacents. L'amplitude des déformations est de l'ordre du mètre.

Ce type de structures de déformations pénécemporaines est bien connue, dans des environnements sédimentaires forts variés: glacio-lacustre<sup>128</sup>, lacustre littoral<sup>129</sup>, deltaïque<sup>130</sup>, fluvio-glaciaire<sup>131</sup> ou périglaciaire<sup>132</sup>.

<sup>128</sup> BRODZIKOWSKI et VAN LOON 1980, 1983 et 1985.

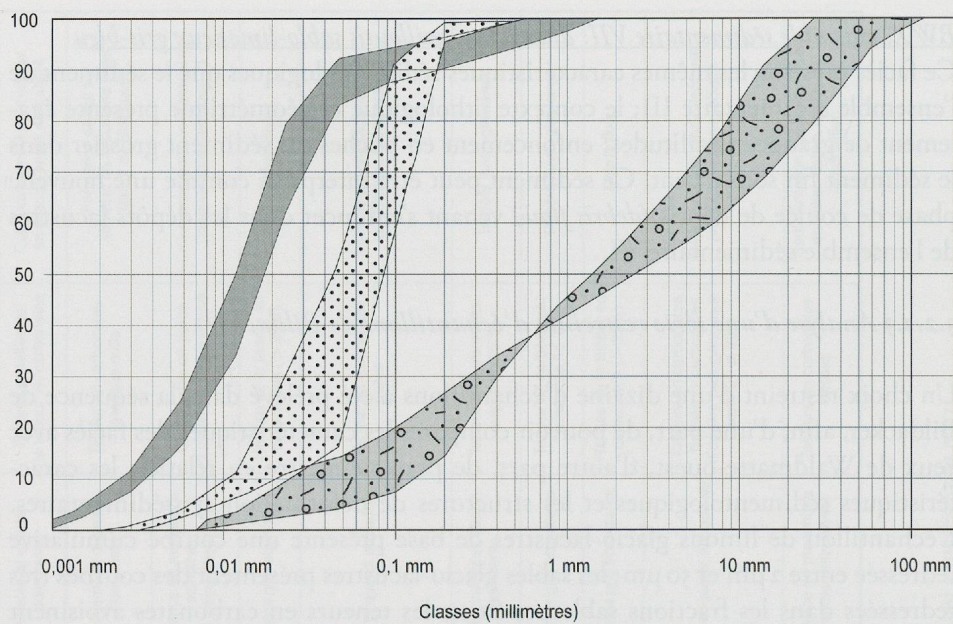
<sup>129</sup> DIONNE 1971; VESAJOKI 1982; MOULIN 1991.

<sup>130</sup> TISSIÈRES 1990.

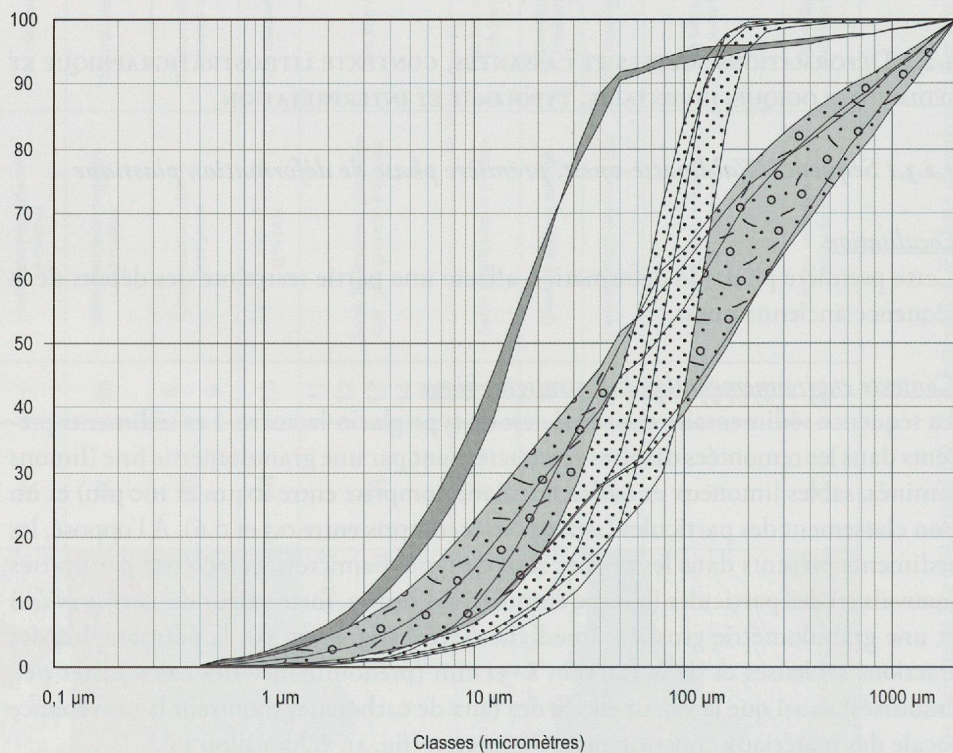
<sup>131</sup> AARTOLAHTI 1987.

<sup>132</sup> VANDENBERGHE et VAN DEN BROEK 1982.





Courbes cumulatives des fractions totales



Courbes cumulatives des fractions inférieures à 2 mm

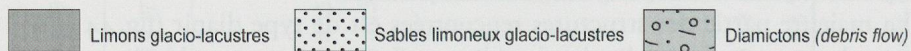


Fig. 42 — Caractéristiques granulométriques des sédiments affectés par les déformations plastiques, courbes granulométriques cumulatives. Les sédiments en surcharge (diamictons) se caractérisent par leur granularité importante et par le faible tri des constituants (courbes très peu redressées), à la différence des sédiments (sables et limons) affectés par les figures de charge qui présentent des courbes nettement plus redressées traduisant un bon classement des particules.



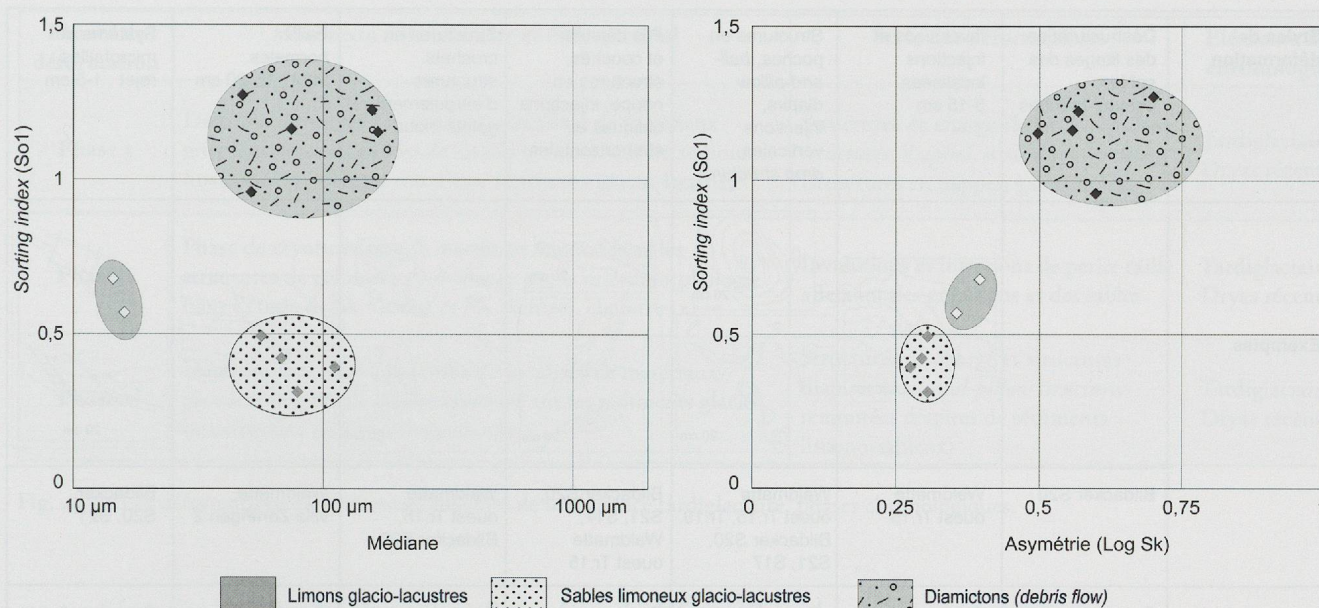


Fig. 43 — Caractéristiques granulométriques des sédiments affectés par les déformations plastiques, diagramme médiane/*sorting index* et diagramme asymétrie/*sorting index* (indices obtenus sur les courbes des fractions inférieures à 2 mm). Les diamictons (dépôts en surcharge) se caractérisent par un *sorting index* nettement plus élevé que celui des sédiments sous-jacents.



Fig. 44 — Structure diapire, Waldmatte-ouest, première phase de déformation, Tr.15, angle des coupes Stg 572 et Stg 575. Echelle centimétrique.



Fig. 45 — Waldmatte-ouest, Tr.15. Structure anticlinale de sable glacio-lacustre (partie gauche de l'image) et enfoncement d'une poche de diamicton (centre de l'image). Echelle décimétrique.

La caractéristique première de ces déformations réside dans le fait qu'elles concernent l'interface entre deux strates de caractéristiques granulométriques très différentes; la seconde particularité est que la composante latérale des déformations reste toujours négligeable. Il est possible d'interpréter ces structures sédimentaires comme des figures de charge dues à une surimposition de sédiment à forte densité sur des sédiments de densité plus faible, induisant un réajustement hydrostatique des deux sédiments, le sédiment de base migrant vers le haut sous forme de structures diapiriques. La majeure partie des structures observées (remontées diapiriques, *drop structures*) témoigne d'une liquéfaction momentanée des strates de sédiment concernées. Les structures de déformation sont la conséquence d'un réajustement hydrostatique des sédiments de différentes densités et de différentes viscosités (tableau synthétique fig. 46 et fig. 47).



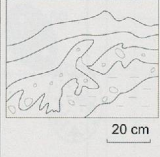
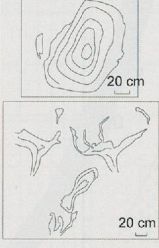
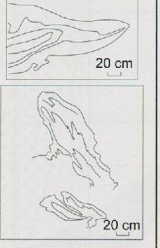

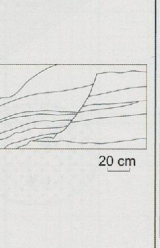
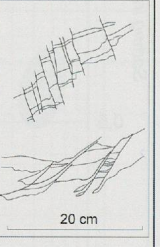
Styles de déformation	Déstructuration des litages des sables, pseudo-brèches	Involutions et injections localisées, 5-15 cm	Structures en poches, <i>ball-and-pillow</i> diapirs, injections verticales, <i>drop structures</i>	Plis déjetés et couchés, structures en nappe, injections obliques et subhorizontales	Structures en crochets, structures d'enroulement, galets mous	Faillles normales, rejet : 15-20 cm	Système de microfaillles, rejet : 1-5 cm
Exemples							
	Bildacker S20	Waldmatte ouest Tr.15	Waldmatte ouest Tr.15, Tr.19, Bildacker S20, S21, S17	Bildacker S20, S21, S17, Waldmatte ouest Tr.15	Waldmatte ouest Tr.15, Bildacker S20	Waldmatte, villa Zentrigen 2	Bildacker S20, S21
Contexte rhéologique	Comportement fluide	Comportement plastique	Comportement plastique	Comportement plastique	Comportement plastique	Comportement élastique	Comportement élastique
	Liquéfaction	Déformations souples	Déformations souples	Déformations souples	Déformations souples	Déformations cassantes	Déformations cassantes
			Déplacement vertical seul ou largement dominant	Déplacements verticaux et horizontaux combinés	Déplacements verticaux et horizontaux combinés		
Interprétations	Fluidisation et liquéfaction des sables par augmentation de la pression interstitielle due à la surcharge ; échappement d'eau	Cryoturbation	Surcharge localisée de sédiment, système à gradient de densité inverse	Cohérent	Incohérent	Faille par tassement et "collapse" suite à la fonte de lentilles de glace morte	Système de microfaillles dues à la désaturation en eau des sables suite aux surcharges

Fig. 46 — Les déformations des sédiments meubles de la séquence tardiglaciaire, style, contextes rhéologique et sédimentaire.

### 3.2.3.2 Séquence Waldmatte-ouest, deuxième phase de déformation plastique

#### Localisation

Les dépôts affectés par la deuxième phase de déformation n'ont été observés que sur une aire restreinte (coupe Stg 575).

#### Contexte environnemental et lithostratigraphique

Les sédiments affectés sont des dépôts fluvio-glaciaires et les dépôts de diamicton qu'ils surmontent.

#### Style des déformations, classification et interprétation

Les déformations sont de petite amplitude (de l'ordre de 10 cm à 20 cm) et ne font pas intervenir *a priori* des phénomènes de gradient de densité inverse, comme c'est le cas pour les déformations de la première phase. La formation de ces involutions pourrait faire intervenir des phénomènes de cryoturbation ayant eu lieu avant la seconde récurrence lacustre (fig. 46) et sont à mettre en relation avec les microstructures de gel mises en évidence par la micromorphologie (voir chapitre ix).



Phases de déformation	Contexte sédimentaire et événementiel	Style des déformations	Éléments de chronologie
Phase 3	Déformations liées à la surcharge localisée de matériaux grossiers (secondes dépôts de coulée boueuse) sur les sédiments fins encore saturés en eau d'une récurrence glacio-lacustre	Structures de charge ( <i>band-and-pillow structures, diapirs</i> ), structures de <i>slump</i> (structures en nappes, galets mous)	Tardiglaciaire Dryas récent?
Phase 2	Phase de cryoturbation (à mettre en relation avec les structures de gel mises en évidence par la micromorphologie (voir l'étude de M. Guélat et Ph. Rentzel, chapitre IX))	Involutions et injections de petite taille affectant des gravillons et des sables	Tardiglaciaire Dryas récent?
Phase 1	Déformations liées à la surcharge localisée de matériaux grossiers (dépôts de coulée boueuse) sur les sédiments glacio-lacustres fins encore saturés en eau	Structures de charge et structures diapires ( <i>ball-and-pillow structures</i> , remontées diapires de sédiments limono-sableux)	Tardiglaciaire Dryas récent?

Fig. 47 — Les déformations des sédiments meubles de la séquence tardiglaciaire, phases chronologiques.

### 3.2.3.3 Séquence Waldmatte-ouest, troisième phase de déformation plastique

#### Localisation

Les dépôts affectés par cette troisième phase de déformation se localisent dans la majeure partie de la séquence de Waldmatte-ouest sur une extension reconnue plus grande que celle occupée par les déformations de la première phase de déformation.

#### Contexte environnemental et lithostratigraphique

La séquence sédimentaire affectée fait suite à celle affectée par les déformations de la première phase. En ce qui concerne la succession lithologique, la similitude avec la précédente est frappante: une seconde récurrence lacustre est responsable du dépôt d'une séquence sablo-limoneuse bien classée, que vient interrompre un dépôt de diamicton de mise en place brutale.

#### Style des déformations, classification et interprétation

A la différence des structures produites lors de la première phase, la composante latérale n'est pas négligeable. Les structures de déformation se présentent sous formes d'injections orientées parallèlement entre elles ou irrégulières, pouvant avoir plus d'un mètre d'amplitude; un double déversement latéral des structures peut être observé: ce déversement se produit, d'une part, vers l'aval (fig. 32, p. 70), d'autre part, en direction de la zone axiale d'un chenal (fig. 31, pp. 68-69) fortement actif lors de ces perturbations (*debris flow*). Les limons inférieurs, injectés dans les sédiments hétérométriques, peuvent prendre l'aspect de galets mous (fig. 31) à structure interne concentrique (*slump-balls*). Des structures proches de celles qui viennent d'être décrites ont surtout été mentionnées dans divers dépôts de gravité subaquatiques et en particulier dans les dépôts de Flysch<sup>133</sup>. En se référant à la définition donnée par Potter et Pettijohn<sup>134</sup>, ces structures de déformation – où la composante latérale induite par les contraintes de la gravité a entraîné un déversement asymétrique des figures – sont à classer parmi les structures de *slump*.

Des coulées boueuses (dont une de grande ampleur dans la partie est) viennent affecter la séquence sédimentaire mise en place après la sédimentation de la seconde séquence glacio-lacustre. Les déformations antérieures sont également perturbées (figures d'interférence). Le gradient d'intensité latérale des déformations est la conséquence de la proximité du chenal creusé par la coulée de débris: dans la zone centrale les sédiments antérieurs sont évacués vers l'aval sous forme de galets mous et par ré-homogénéisation du sédiment, alors que plus latéralement se produisent des structures de *slump*, des injections obliques et des diapirs.

<sup>133</sup> KSIAZKIEWICZ 1958; POTTER et PETTIJOHN 1963; DZULYNSKI 1963; DZULYNSKI et WALTON 1965.

<sup>134</sup> POTTER et PETTIJOHN 1963.



### 3.2.3.4 Villa Zentriegen 2, déformations cassantes et déformations plastiques

#### Localisation

Les structures ont été observées sur une seule coupe, en aval de Waldmatte-ouest (Stg 1290 sud : fig. 39, p. 76).

#### Contexte environnemental et lithostratigraphique

La séquence sédimentaire affectée par les déformations, d'une puissance d'environ un mètre, comprend des sables, parfois gravillonneux, et des limons présentant des similitudes de faciès avec les dépôts de la séquence glacio-lacustre de Waldmatte-ouest. Postérieurement, les dépôts déformés sont scellés par un gravier appartenant à la séquence antérieure aux limons rubéfiés ayant été affectés par la pédogenèse.

#### Style des déformations, classification et interprétation

Les principales déformations se présentent sous forme de failles normales (fig. 39), à plan de glissement légèrement concave; le rejet apparent est de l'ordre de 15 à 25 cm. Une dépression peu marquée (structure synclinale) est associée à ces failles. À proximité des failles et dans la structure synclinale, les strates limoneuses présentent des déformations (injections, structures de fluage) de faible amplitude (2 à 5 cm) attestant une certaine liquéfaction des limons. Les structures décrites sont interprétées comme résultant d'effondrements (structures de *collapse*) qui peuvent être la résultante de la fonte de lentilles de glace morte<sup>135</sup>.

### 3.2.3.5 Bildacker, déformations plastiques et déformations cassantes

#### Localisation

Les figures de déformation ont été rencontrées sur la majeure partie de la zone où affleure la séquence glacio-lacustre, c'est-à-dire sur une aire reconnue d'environ 25 m de long sur 10 m de large (fig. 7, p. 19 et fig. 30, p. 67).

#### Contexte environnemental et lithostratigraphique

La séquence sédimentaire affectée par les déformations comprend, de bas en haut: des limons vert olive à laminations, une unité de sables fins homogènes beige jaunâtre présentant de rares stratifications, des sables gravillonneux et des gravillons grisâtres, et, enfin, un dépôt très hétérométrique de sable limoneux gris-bleu à cailloux et blocs de type diamicton. Les sédiments affectés par les remontées diapiriques se caractérisent par des valeurs assez basses de leur médiane et par le bon tri des particules (*sorting index* bas); à l'opposé, les dépôts présents dans les figures de charge se caractérisent par des valeurs de médiane élevées et le mauvais tri des particules (fig. 43). En ce qui concerne la géométrie des dépôts, il convient de rappeler que la séquence de sable est bien développée vers l'aval et se biseaute vers l'amont, bien qu'il soit relativement difficile de reconstituer avec précision la géométrie antérieure aux déformations.

#### Style des déformations, classification et interprétation

Les déformations peuvent être regroupées selon leur style en plusieurs groupes: les déformations plastiques où la composante latérale est négligeable, celles où la composante latérale se manifeste par un déversement plus ou moins accentué des structures et les déformations cassantes; à ces trois types s'ajoute encore un groupe de figures caractérisées par le démantèlement de la structure originale du sédiment.

- les déformations plastiques où la composante latérale est négligeable: les déformations de ce type comprennent, d'une part, des structures d'enfoncement en poches de diamictons dans les sables sous-jacents (structures de charge, fig. 33),

<sup>135</sup> LUNDQVIST 1988; ASHLEY 1988; PUGIN 1989; ABER *et al.* 1989.



d'autre part, des remontées diapiriques; dans ce dernier cas, ce sont principalement les limons à laminations, assez compacts et à grande plasticité, plus rarement des sables, qui constituent ces diapirs où la structure originelle de la stratification est conservée (structure en «oignon» des diapirs), bien que des épaisissements et des amincissements localisés des strates soient fréquents (phénomènes de fluage plastique). Certaines structures diapiriques se présentent sous forme d'injections digitées (fig. 33, p. 72). Ces déformations diapiriques sont assez comparables à celles décrites à l'ouest du site (voir pp. 79 sqq.), dans la première phase de déformation.

- *les déformations où la composante latérale se manifeste par un déversement plus ou moins accentué des structures*: les déformations de ce type sont les plus abondantes et présentent un large éventail de cas, selon l'importance relative de la composante latérale par rapport à la composante verticale, la taille des déformations (de quelques centimètres à près de deux mètres) et le degré de dislocation des strates d'origine. Selon l'importance de la composante latérale, il est possible de différencier des plis déversés et déjetés des injections obliques et des injections subhorizontales dont la géométrie évoque celle d'empilement de nappes tectoniques (fig. 34 et 35, pp. 72-73). Selon le degré de dislocation des strates, on peut différencier les structures où les plis et nappes ne sont pas séparés de leurs «racines» sédimentaires («structures cohérentes») et les structures qui en sont disjointes («structures incohérentes»); dans ces dernières, il est possible de reconnaître des structures en crochets (lambeaux de strates limoneuses isolées dans une masse de sédiment de nature différente), des structures d'enroulement (fragments de strates de limons laminés enroulées sur elles-mêmes), des galets mous, des structures en poches plus ou moins informes (fig. 33, p. 72 et fig. 46). Les structures de déformation du second type sont assez proches de celles décrites à l'ouest du site (Tr.15 et Tr.19), dans la seconde phase de déformation. Les structures de dislocation observées présentent de fortes similitudes avec celles décrites par Książkiewicz<sup>136</sup> dans les dépôts de Flysch: association de galets mous, de structures en crochets (*hook-like structures*) et de balles de sédiments provenant de fragments de strates repliées et enroulées sur elles-mêmes (*roll-up structures*).



Fig. 48 — Microfailles et décrochements. Vue en section horizontale; on notera que les surfaces de décrochement sont voilées. Echelle centimétrique.

<sup>136</sup> KSIĄZKIEWICZ 1958.



Fig. 49 — Détail de microfailles dans des sédiments sableux. Vue en section verticale. Echelle centimétrique.



- *les déformations cassantes*: les déformations de ce troisième type sont des micro-failles: elles appartiennent en général à des systèmes de microfailles normales et de décrochements, avec rejets de l'ordre de 1 à 5 cm et plans de faille souvent parallèles entre eux, présentant parfois des sections légèrement sinusoïdales (fig. 48). Ces systèmes de faille sont uniquement présents dans la séquence de sables fins bien classés (fig. 49 et 50); ils se surimposent aux déformations souples (plis) de plus grande amplitude (fig. 51). L'observation détaillée des plans de faille montre que du sédiment sableux se trouve fréquemment incorporé dans ces plans de décrochement. Ces déformations cassantes sont à rapprocher des exemples (*translational flexures*) décrits par Brodzikowski et Van Loon<sup>137</sup>.
- *les figures caractérisées par le démantèlement de la structure originale du sédiment*: ce dernier style de déformation, uniquement localisé dans les sables, se présente sous forme de désorganisation ou de déstructuration partielle de la stratification originelle, avec ré-homogénéisation des sédiments sur des surfaces plus ou moins grandes, de quelques centimètres carrés à plusieurs décimètres carrés; cette déstructuration est parfois associée à des structures discrètes de type «cheminée» et *pillars*. Ces aires restreintes de déstructuration partielle de l'organisation primaire des dépôts sableux peuvent être rapprochées des exemples décrits par Lowe<sup>138</sup> et interprétés comme des structures d'échappement d'eau (*water escape structures*).

### 3.2.3.6 Relations géométriques et chronologiques entre les déformations

L'interprétation de la variété des phénomènes de déformation qui affectent cette séquence sédimentaire passe par la compréhension de leurs relations chronologique et spatiale, ainsi que de leur relation avec leurs caractéristiques sédimentologique et rhéologique et la géométrie des dépôts antérieurement aux déformations.

#### Les déformations de la séquence de Waldmatte-ouest

Dans la séquence de Waldmatte-ouest, deux des trois phases de déformations sont bien séparées stratigraphiquement dans la coupe Stg 572: la première phase est scellée par des dépôts sableux fins. Ces dépôts lacustres fins sont ensuite déformés dans

<sup>137</sup> BRODZIKOWSKI et VAN LOON 1985.

<sup>138</sup> LOWE 1975, 1976a et 1976b.





Fig. 50 — Détail de microfailles dans des sédiments sableux. Vue en section verticale. Echelle centimétrique.

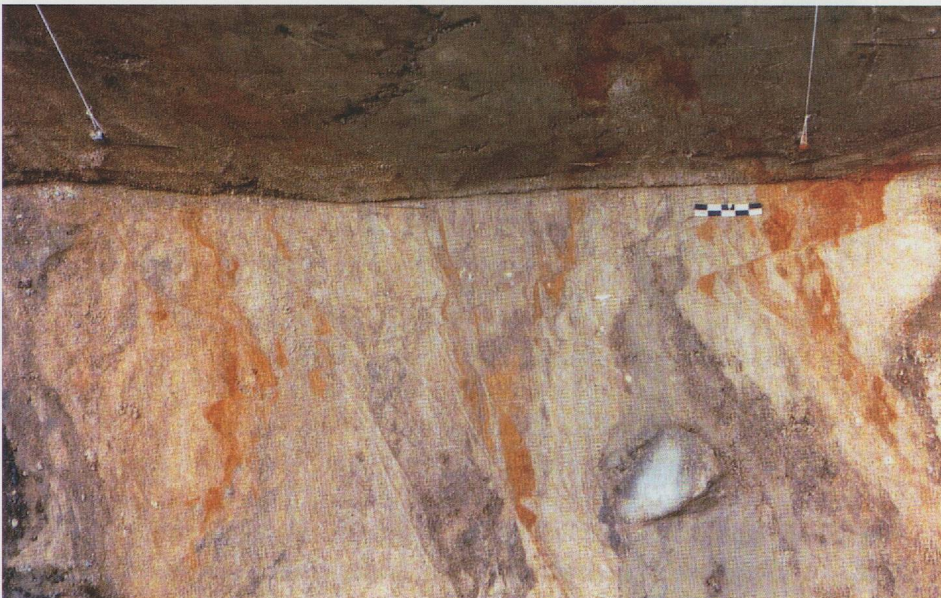


Fig. 51 — Superposition géométrique des plis et des microfailles, vue en section horizontale. Echelle centimétrique.

leur partie supérieure par les surcharges de la troisième phase, témoignant de la récurrence du phénomène de déformation, conséquence d'une récurrence dans la succession lithostratigraphique. Par contre, dans les coupes Stg 575 et Stg 578, les déformations des phases 1 et 3 interfèrent: la troisième déforme, dans un second temps, d'une part, des aires topographiques de la séquence antérieure à la récurrence lacustre qui n'avaient pas été affectées par la première phase de déformation, d'autre part, les dépôts affectés précédemment. Dans la coupe Stg 575, les strates présentent un gradient de démantèlement qui augmente de l'ouest vers l'est; ce gradient peut être mis en relation avec l'existence d'un chenal principal sud-nord correspondant à l'axe d'écoulement d'une importante lave torrentielle (fig. 31, pp. 68-69). Les déformations de la seconde phase sont d'importance géométrique mineure; intervenues avant la seconde récurrence lacustre, elles pourraient témoigner de phénomènes cryogéniques, comme le suggèrent les analyses micromorphologiques menées en parallèle (voir chapitre IX).



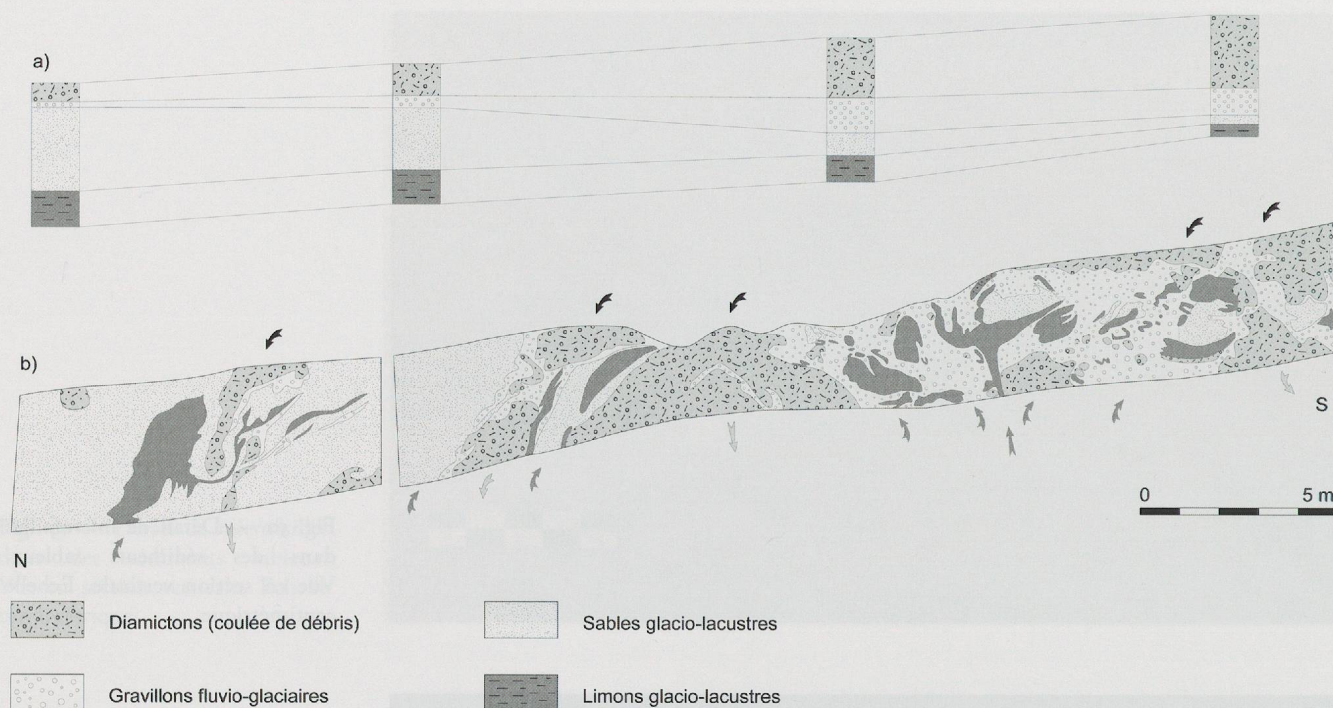


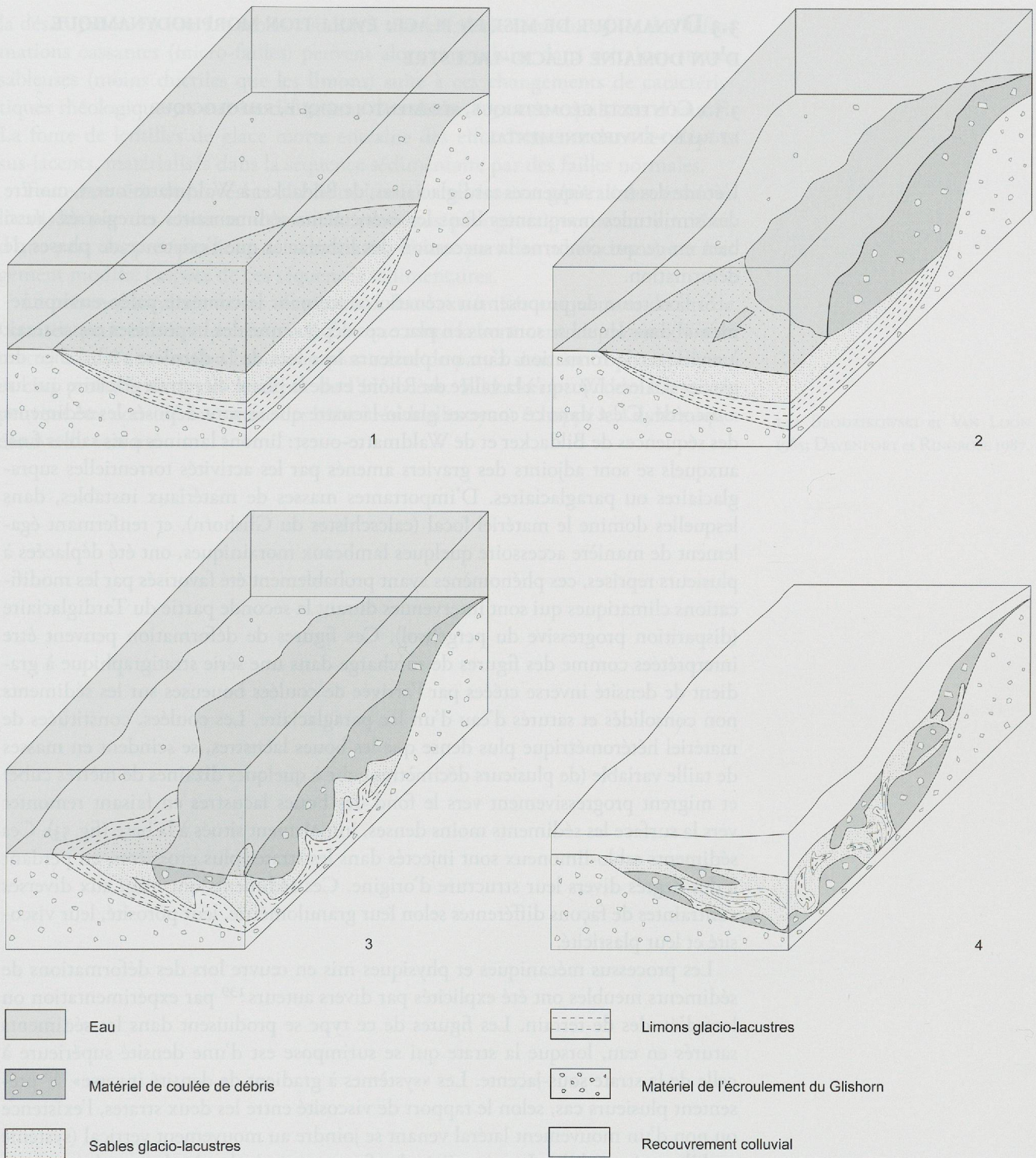
Fig. 52 — Bildacker, coupe stratigraphique S20, schéma de la géométrie des structures diapires et des *load structures* ; a) séquence initiale, b) séquence déformée.

#### *Les déformations de la séquence de Bildacker*

Pour la séquence de Bildacker, plusieurs remarques concernant les relations géométriques et chronologiques entre les déformations peuvent être faites :

- les systèmes de déformation cassante recoupent et décalent les strates plissées et injectées, témoignant de leur postériorité relative ; par contre, des structures de liquéfaction et d'échappement d'eau semblent encore se produire après la fracturation des sables puisque des petits déplacements de sable paraissent se produire dans les plans de faille et de décrochement par migration verticale (fig. 49 et 50) ;
- le comportement aux contraintes de surcharge des limons à laminations et des sables fins bien classés varie de façon très importante en fonction de leur porosité, de leur cohésion, de leur capacité à se liquéfier ; les limons se caractérisent par la dominance des déformations souples avec déformations anisopaques, injections complexes, structures d'enroulement, alors que les sables se définissent dans l'ensemble par des déformations plus isopaques, la surimposition de plissements, de microfracturations, de structures de liquéfaction partielle et d'échappement d'eau ;
- la rapide variation latérale d'épaisseur de l'unité de sables bien classés depuis la périphérie vers les zones plus centrales de la cuvette glacio-lacustre entraîne radialement de fortes modifications du comportement des matériaux ;
- la direction probable des apports de matériaux en surcharge, du sud vers le nord, conditionne la résultante des contraintes ;
- l'enfoncement de masses plus ou moins grandes de diamictons semble avoir créé des mouvements convectifs de sédiment fin au pourtour de ces masses enfoncées d'ampleur variable (fig. 52).





**Fig. 53** — Schéma interprétatif des déformations de Bildacker. 1) sédimentation de limons et de sables lacustres en domaine paraglacière, 2) apport brutal de matériel hétérométrique grossier depuis le versant du Glishorn (coulée boueuse), 3) et 4) déformations plastiques à l'interface entre les sédiments lacustres et les dépôts de gravité par enfoncement des sédiments supérieurs et injection des sables et des limons glacio-lacustres.



### 3.3 DYNAMIQUE DE MISE EN PLACE: ÉVOLUTION MORPHODYNAMIQUE D'UN DOMAINE GLACIO-LACUSTRE

#### 3.3.1 CONTEXTE GÉOMÉTRIQUE, SÉDIMENTOLOGIQUE, RHÉOLOGIQUE ET PALÉO-ENVIRONNEMENTAL

L'étude des trois séquences tardiglaciaires, de Bildacker à Waldmatte-ouest, montre des similitudes marquantes dans les événements sédimentaires enregistrés, aussi bien en ce qui concerne la succession des lithofaciès que l'existence de phases de déformation.

Si l'on tente de proposer un scénario concernant le contexte paléo-environnemental dans lequel se sont mis en place ces dépôts, une des hypothèses consisterait à envisager la formation d'un ou plusieurs lacs lors de la dernière récurrence du glacier d'Aletsch jusqu'à la vallée du Rhône et de la phase du retrait glaciaire qui lui a succédé. C'est dans ce contexte glacio-lacustre que se sont déposés les sédiments des séquences de Bildacker et de Waldmatte-ouest: limons laminés puis sables fins, auxquels se sont adjoints des graviers amenés par les activités torrentielles supraglaciaires ou paraglaciaires. D'importantes masses de matériaux instables, dans lesquelles domine le matériel local (calcschistes du Glishorn), et renfermant également de manière accessoire quelques lambeaux morainiques, ont été déplacées à plusieurs reprises, ces phénomènes ayant probablement été favorisés par les modifications climatiques qui sont intervenues durant la seconde partie du Tardiglaciaire (disparition progressive du pergélisol). Ces figures de déformation peuvent être interprétées comme des figures de surcharge dans une série stratigraphique à gradient de densité inverse créées par l'arrivée de coulées boueuses sur les sédiments non consolidés et saturés d'eau d'un lac paraglaciaire. Les coulées, constituées de matériel hétérométrique plus dense que les boues lacustres, se scindent en masses de taille variable (de plusieurs décimètres cube à quelques dizaines de mètres cube) et migrent progressivement vers le fond des boues lacustres en faisant remonter vers la surface les sédiments moins denses, initialement situés à la base (fig. 53). Ces sédiments sablo-limoneux sont injectés dans les strates plus grossières, en perdant à des degrés divers leur structure d'origine. Ces sédiments ont réagi aux diverses contraintes de façons différentes selon leur granulométrie, leur porosité, leur viscosité et leur plasticité.

Les processus mécaniques et physiques mis en œuvre lors des déformations de sédiments meubles ont été explicités par divers auteurs<sup>139</sup> par expérimentation ou lors d'études de terrain. Les figures de ce type se produisent dans les sédiments saturés en eau, lorsque la strate qui se surimpose est d'une densité supérieure à celle de la strate sous-jacente. Les «systèmes à gradient de densité inverse»<sup>140</sup> présentent plusieurs cas, selon le rapport de viscosité entre les deux strates, l'existence ou non d'un mouvement latéral venant se joindre au mouvement vertical (système mobile ou immobile). La géométrie des figures qui résulte de chacun des cas présente des spécificités (forme de l'interface, isotropie ou anisotropie des figures). Selon les caractéristiques des matériaux impliqués (granulométrie, porosité, cohésion), le style des déformations souples pourra varier (déformations isopaques ou anisopaques).

Les changements rhéologiques se produisent lorsque les forces de friction qui maintiennent une certaine cohésion entre les grains (état solide) sont annulées par l'augmentation de la pression du fluide interstitiel (état liquide) due aux surcharges<sup>141</sup>. En effet, celles-ci ont pour conséquence une importante modification de cette pression interstitielle, entraînant une augmentation de la ductilité des sables et des limons (liquéfaction, fluidisation); localement, des structures d'échappement d'eau (*water escape structures*) peuvent se produire. Dans un second temps,

<sup>139</sup> DZULYNSKI et WALTON 1963; KUENEN 1965; ANKETELL et DZULYNSKI 1968a et 1968b; RAMBERG 1981.

<sup>140</sup> ANKETELL *et al.* 1970.

<sup>141</sup> OWEN 1987.



la désaturation en eau des sables conduit à une baisse de cette ductilité; des déformations cassantes (micro-failles) peuvent alors se produire dans certaines strates sableuses (moins ductiles que les limons) suite à ces changements de caractéristiques rhéologiques et aux modifications de volume liées aux expulsions d'eau <sup>142</sup>. La fonte de lentilles de glace morte entraîne des effondrements dans les dépôts sus-jacents, matérialisés dans la séquence sédimentaire par des failles normales.

Toute une série de processus ultérieurs (troncatures érosives généralisées, érosions localisées par des chenaux torrentiels, processus pédogénétiques ayant entraîné, d'une part des précipitations de carbonates, d'autre part des rubéfections) ont largement modifié l'aspect de ces séquences sédimentaires.

La présence localisée de ces témoins aux deux extrémités uniquement du site de Gamsen peut être interprétée par le fait que toute la zone centrale du site (Waldmatte) a subi une érosion beaucoup plus active de par sa situation topographique, et ceci probablement dès le début de l'Holocène. Bildacker et Waldmatte-ouest peuvent être considérés comme des buttes résiduelles ayant échappé à la dynamique érosive du versant.

142 BRODZIKOWSKI et VAN LOON  
1985; DAVENPORT et RINGROSE 1987.



