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: II: Caractérisation et mode de mise en place des dépôts

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: 01.07.2025

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

Chapitre II

Caractérisation et mode de mise en place des dépôts

2.1 Les faciès sédimentaires: contexte et caractérisation

De par la présence de plusieurs contextes morpho-sédimentaires bien différenciés, le site de Gamsen offre une large gamme de faciès. Comme l'ont précisé P. Bertran et J.-P. Texier, «le terme de faciès désigne l'aspect global d'un dépôt tel qu'il est perçu sur le terrain et intègre l'ensemble des caractéristiques lithologiques et biologiques propres à celui-ci»[65]. En restreignant cette description aux paramètres lithologiques, ou en l'absence d'éléments se rapportant au contexte biologique (mollusques, pollens, etc.) – ce qui est le cas pour la grande majorité des dépôts rencontrés à Gamsen – on parle alors de lithofaciès[66]. Grâce aux grandes coupes stratigraphiques, souvent orthogonales, les caractères des principaux différents faciès (granularité, structure, stratification) ont pu être appréhendés dans leur aspect tridimensionnel.

2.1.1 Le corpus d'échantillons

Le corpus d'échantillons traités pour l'étude granulométrique des fractions grossières (< 128 mm) comprend 45 échantillons: 33 échantillons prélevés sur le profils BW I et 10 échantillons prélevés sur le profil BW II (coupe stratigraphique t1w) ainsi que deux échantillons du profil BW X, prélevés dans la coupe Tr.15 (annexe 8).

Le corpus d'échantillons traités pour l'étude granulométrique des fractions inférieures à 2 mm (et dont les résultats sont présentés sous forme de courbes cumulatives en annexes) comprend 163 échantillons provenant des profils stratigraphiques de Brig-Glis/Gamsen (Waldmatte, Bildacker et Kridenfluh) auxquels s'ajoutent 13 échantillons du référentiel de comparaison provenant des environs immédiats du site ou du site même, et 6 échantillons prélevés en planimétrie sur la fouille (échantillons ES). La liste de ce corpus est présentée dans l'annexe 19; les courbes cumulatives correspondantes sont illustrées dans les annexes 2 à 7.

Les échantillons provenant des profils stratigraphiques appartiennent à des faciès sédimentaires dont le contexte de mise en place ainsi que l'agent de transport sont déduits des observations de terrain (granularité, structures sédimentaires et stratification, relations spatiales – chronostratigraphiques et/ou géométriques – entre les différents faciès rencontrés).

Les échantillons des faciès de comparaison appartiennent, pour la plupart d'entre eux, à des dépôts actuels dont on connaît le contexte de mise en place, l'agent de transport et le contexte de provenance des matériaux (bassin versant).

Tous ces échantillons ont été regroupés selon leur faciès; nous avons suivi dans la mesure du possible la nomenclature préconisée par Bertran et Texier. Le premier

65 Bertran et Texier 2004; voir aussi Walker 1984.

66 Reading 1986; Bertran et Texier 2004.

terme (graviers, sables ou limons) prend en compte la granularité dominante du dépôt. Pour désigner des dépôts correspondant, du point de vue de la taille de leurs composants, à un mélange d'éléments mal classés – blocs et cailloux, inclus dans une matrice fine (sable, limons) – le terme de diamicton est alors utilisé[67]. On peut alors différencier les diamictons à support matriciel, à matrice dominante, et les diamictons à support clastique, quand les éléments grossiers sont majoritaires.

a) dynamique de gravité à fort déplacement:
- diamicton massif à support matriciel: matériaux d'écroulement du Glishorn;
- diamicton à support matriciel: dépôts de lave torrentielle de Glis-Holzji (dépôts actuels);
- diamicton à support matriciel: dépôts de lave torrentielle boueuse, contexte périglaciaire;
- diamicton à support matriciel: dépôts de lave torrentielle boueuse, séquence holocène;
- diamiction à support clastique: dépôts de lave granulaire, séquence holocène;

b) dynamique de gravité à faible déplacement:
- diamicton à support matriciel: colluvions grossières à moyennes, gris-beige;
- diamicton à support matriciel: colluvions fines, gris-beige;
- diamicton à support matriciel: colluvions rougeâtres ou panachées, grossières à moyennes;
- limons: colluvions fines remaniant des limons rhodaniens;

c) dépôts hydrodynamiques du versant du Glishorn:
- limons et sables: dépôts de ruissellements;
- graviers: alluvions torrentielles de versant Glishorn (faciès peu triés);
- graviers: alluvions torrentielles de versant Glishorn (faciès bien trié dans les sables moyens);
- graviers: alluvions torrentielles de versant du Glishorn (faciès redressés dans les sables grossiers);
- limons de débordement de bisses;
- sables et limons: dépôts de ruissellements localisés sur le site (dépôts actuels);

d) dépôts hydrodynamiques de la Gamsa:
- graviers: alluvions grossières de la Gamsa (1), faciès redressés dans les sables grossiers;
- graviers: alluvions grossières de la Gamsa (2), faciès bien triés dans les sables moyens;
- graviers: alluvions grossières de la Gamsa (3), faciès peu triés;
- sables limoneux: alluvions fines de la Gamsa (1);
- limons sableux: alluvions fines de la Gamsa (2);
- sables fins: alluvions fines de la Gamsa (3);
- limons: alluvions fines de la Gamsa (4);
- sables: alluvions sableuses du lit de la Gamsa (dépôts actuels);

e) dépôts hydrodynamiques du Rhône:
- sables: alluvions des berges du Rhône – lit mineur – (dépôts actuels);
- limons: alluvions du Rhône – limons de débordement, plaine alluviale;
- limons: alluvions du Rhône – limons de débordement de crue – (dépôts actuels);

f) contexte paraglaciaire:
- graviers et sables gravillonneux fluvio-glaciaires;
- sables et limons glacio-lacustres;

g) dépôts anthropogènes:
- sols d'occupation;
- placages, bourrelets et soles de foyer d'«argile bleue ou verte»;
- remblais;

h) sédiments de comparaison pour les apports anthropiques exogènes:
- sédiments échantillonnés au Pont Napoléon et à Ried-bei-Brig («niveau gris intermédiaire» de D. Aubert[68] = moraine de fond).

67 Flint *et al.* 1960; Eyles *et al.* 1983.
68 Aubert 1980.

2.1.2 La documentation de terrain

Pour chacun des faciès, nous renverrons à des exemples traités dans les chapitres suivants ou nous proposerons un extrait de coupe représentatif.

2.1.3 Les données d'analyse

Les courbes granulométriques, ainsi que les diagrammes binaires et triangulaires, ont été utilisés ici pour discriminer les sédiments étudiés.

Les courbes granulométriques cumulatives permettent d'appréhender visuellement la granulométrie du sédiment: décalées vers la gauche pour les sédiments fins, vers la droite pour les sédiments plus grossiers, fortement redressées pour les dépôts bien triés, rectilignes pour les sédiments très mal classés.

La médiane (en dimension de grain) correspond au point d'intersection de la courbe cumulative aux ordonnées de 50 %. Le *sorting index* [log (Q3/Q1)], en indice, est calculé d'après les valeurs des abscisses correspondant aux points d'intersection de la courbe cumulative aux ordonnées de 50 %, 25 % et 75 %; il est d'autant plus élevé que le sédiment est mal trié. Ces deux paramètres permettent de quantifier ces données qualitatives respectives que sont la texture ou «granularité» du sédiment et le classement des particules. Ainsi, le diagramme binaire *sorting index*/médiane, mettant en corrélation ces deux paramètres, permet-il de regrouper les échantillons en fonction de la taille de leurs particules et du tri de celles-ci (fig. 14). R. Selmer-Olsen a largement utilisé ce type de diagramme à partir de courbes cumulatives allant jusqu'aux cailloux (50 mm); il a effectué de nombreux tests sur des dépôts actuels et a établi sur ce diagramme des plages spécifiques pour les faciès morainique, fluvio-glaciaire, fluviatile, lacustre et éolien[69]. Les données présentées ici sur le site de Gamsen sont calculées sur des courbes tronquées à 2 mm, donc comparables seulement pour des sédiments fins.

Pour les diagrammes triangulaires des textures, la nomenclature proposée d'après les pourcentages respectifs de sables, de limons et d'argiles est variable selon les auteurs, pédologues[70] ou sédimentologues[71]; nous avons, pour notre part, utilisé celle de F. P. Shepard. D'autre part, les différentes méthodes d'analyse des fractions limono-argileuses ne donnent pas toujours des résultats concordants[72]. Des travaux récents[73] ont montré que les méthodes par granulométrie laser sous-estimaient fortement les fractions fines par rapport aux anciennes méthodes à la pipette; ces auteurs préconisent de placer la limite des limons et des argiles à 8 µm pour les analyses effectuées avec ces nouvelles méthodes, limite que nous avons utilisée pour la construction des diagrammes triangulaires (fig. 15).

Les sédiments analysés sur le site de Brig-Glis/Gamsen se caractérisent, pour la grande majorité d'entre eux, par leur faible teneur en fractions argileuses. Ces dernières ne sont présentes en proportion importante que dans les limons argileux glacio-lacustres, les alluvions du Rhône et les alluvions fines de la Gamsa (fig. 15c). Les sables et les sables limoneux constituent la matrice des dépôts torrentiels grossiers du Glishorn et de la Gamsa (fig. 15b). Les limons constituent une large part des dépôts glacio-lacustres, des alluvions du Rhône et des alluvions fines de la Gamsa (fig. 15c). Les dépôts de débordement de bisses sont à classer parmi les limons sableux, comme la majeure partie des alluvions fines de la Gamsa. La matrice des colluvions est constituée de sables limoneux et de limons sableux. Les fractions inférieures à 2 mm des laves torrentielles (fig. 15a) sont en général sablo-limoneuses, plus rarement sableuses.

Etant donné la faible part jouée par les fractions argileuses, nous avons également tenté de discriminer les faciès au moyen de deux autres diagrammes triangulaires: sables grossiers/sables moyens/sables fins (fig. 16) et sables grossiers+sables moyens/sables fins/limons+argiles (fig. 17).

69 Selmer-Olsen 1954.

70 Jamagne 1967; Baize 2000.

71 Shepard 1954.

72 Bertran et Texier 2004.

73 Konert et Vandenberghe 1997.

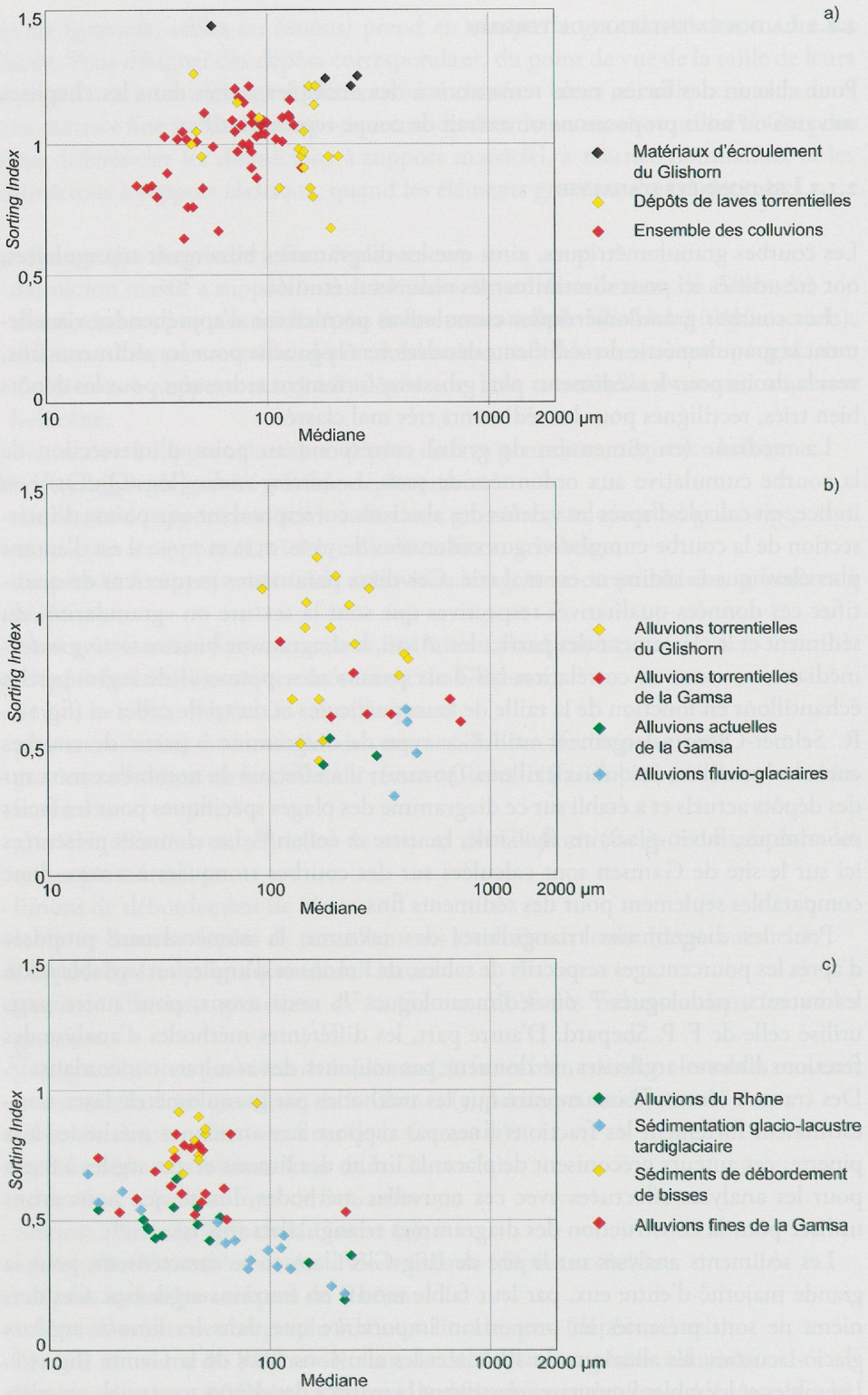

Fig. 14 — Diagrammes médiane/*sorting index*.

Dans le diagramme sables grossiers/sables moyens/sables fins (fig. 16a), un gradient assez net se dessine au sein des dépôts de gravité, avec une augmentation progressive de la part prise par les sables fins, depuis les matériaux d'écroulement du Glishorn jusqu'aux colluvions, en passant par les laves torrentielles. Les alluvions torrentielles du Glishorn se caractérisent par leur forte variabilité quant à la texture des fractions sableuses (fig. 16b); dans les alluvions du Rhône, comme dans les alluvions fines de la Gamsa (fig. 16c), les sables fins dominent largement.

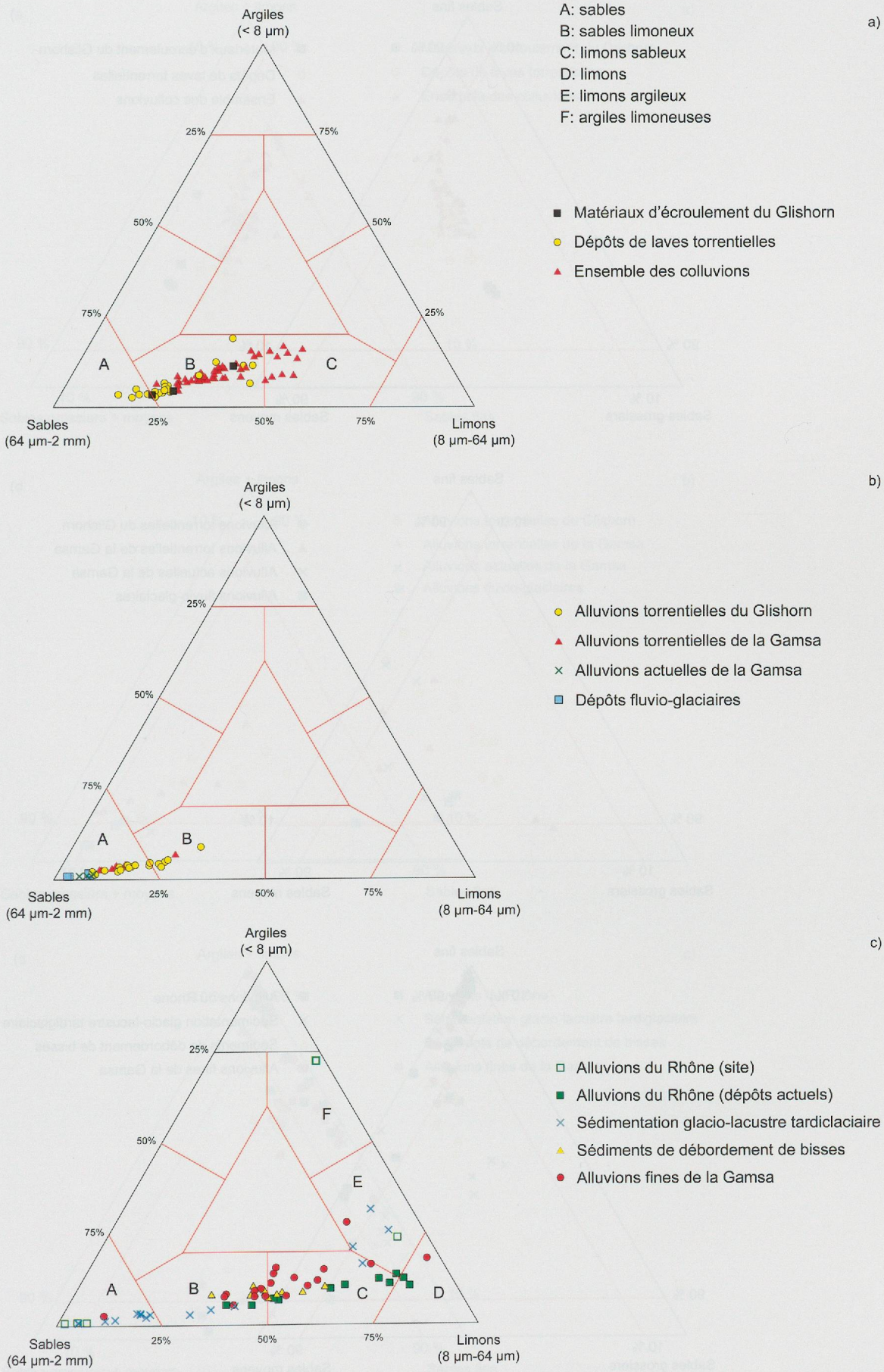

Fig. 15 — Diagrammes triangulaires des textures: sables/limons/argiles.

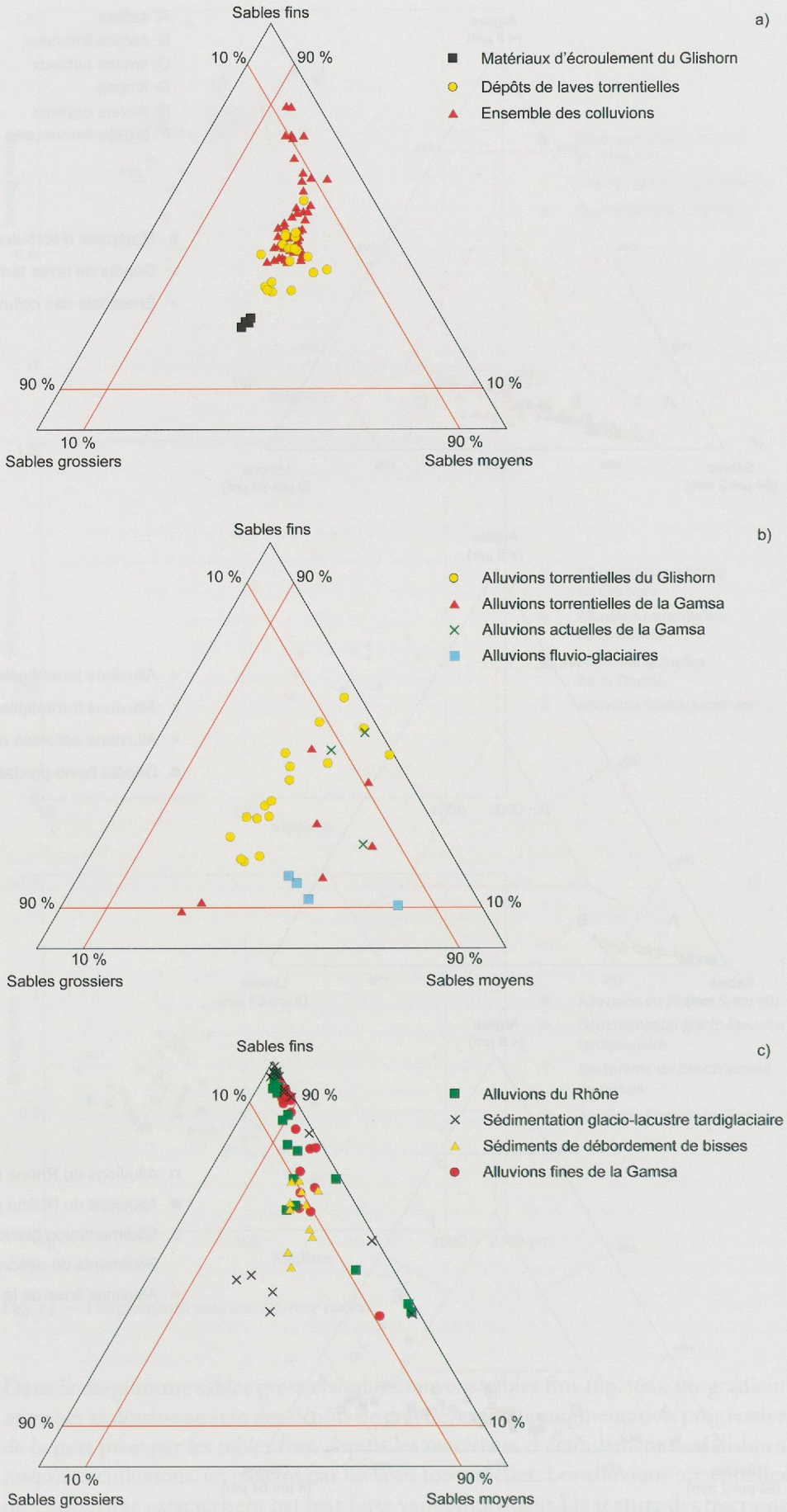

Fig. 16 — Diagrammes triangulaires des textures: sables grossiers, sables moyens et sables fins.

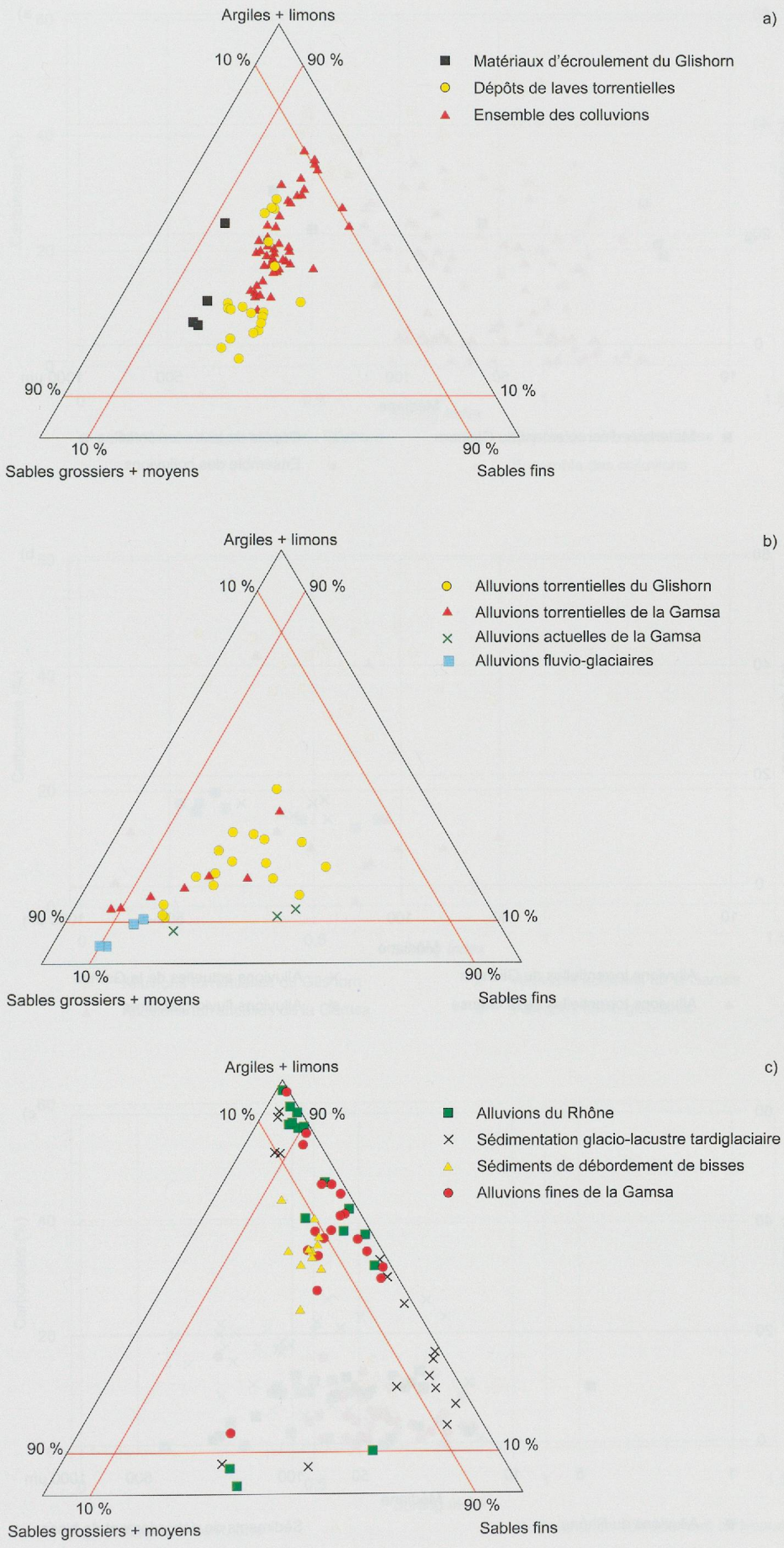

Fig. 17 — Diagrammes triangulaires des textures: sables grossiers + moyens, sables fins et argiles + limons.

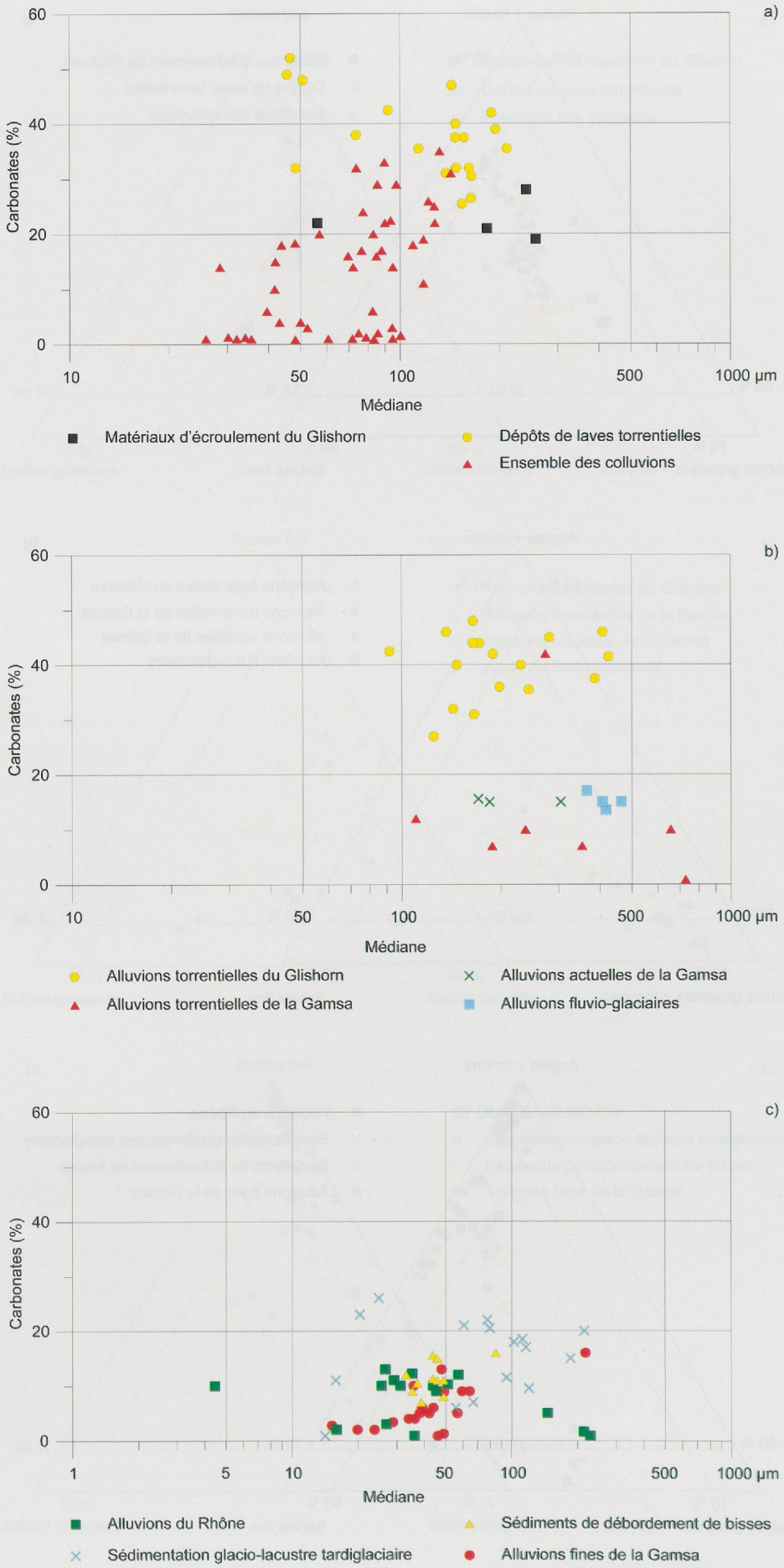

Fig. 18 — Diagrammes médiane/carbonates.

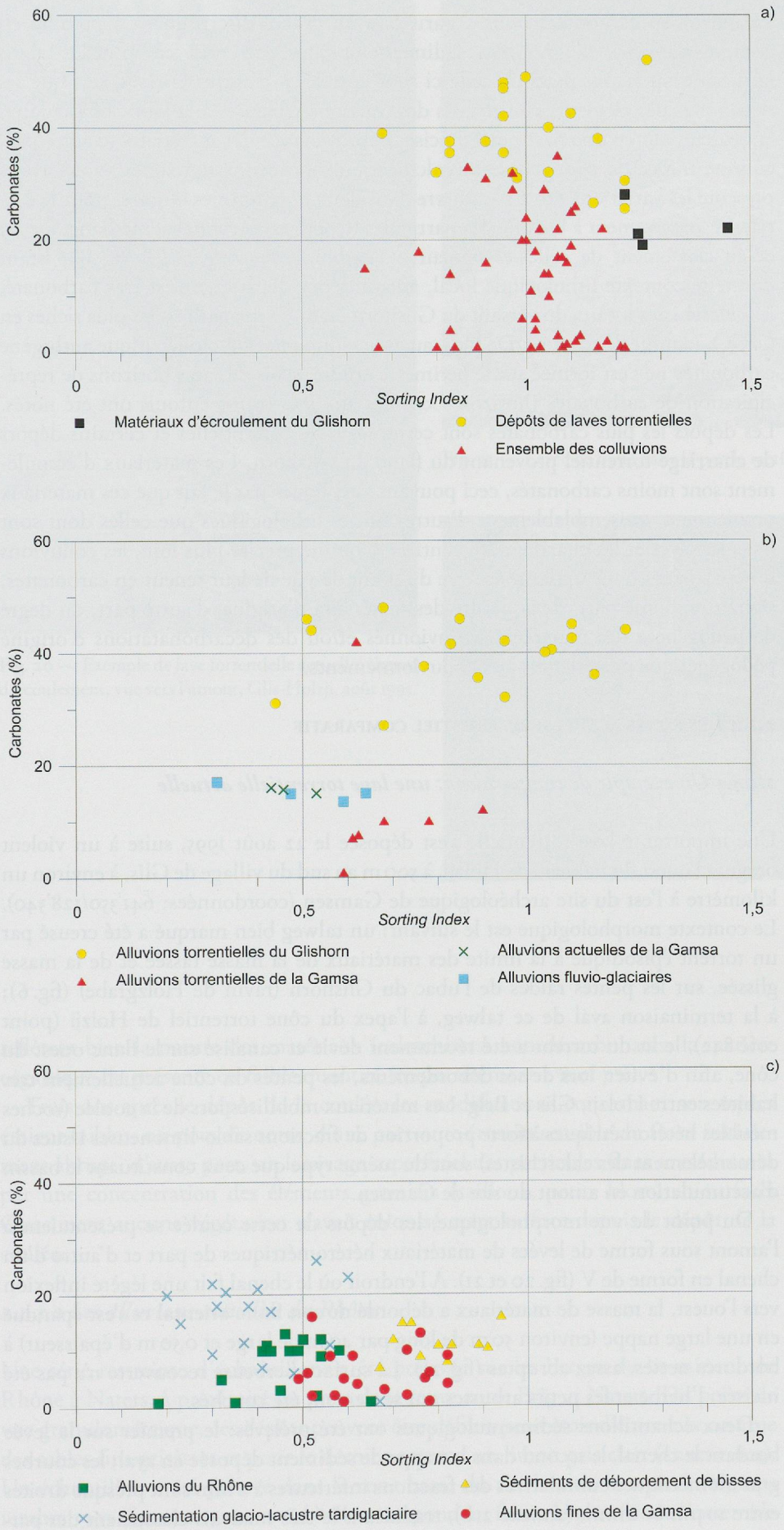

Fig. 19 — Diagrammes *sorting index*/carbonates.

La teneur en carbonates nous a paru être un critère discriminant à prendre en compte dans les diagrammes sédimentologiques présentés en annexes, dans la mesure où les résultats de celle-ci sont corrélés à d'autres critères, tels que les décomptes des éléments constitutifs des fractions sableuses à la loupe binoculaire, la couleur, etc., d'une part pour préciser la provenance des matériaux, d'autre part comme indice de pédogenèse (décalcification de certains horizons). Nous avons présenté les variations de ce paramètre dans deux diagrammes binaires pour le corréler respectivement à la taille des particules (teneur en carbonates/médiane, fig. 18) et au classement de celles-ci (teneur en carbonates/*sorting index*, fig. 19). Etant donné le contexte lithologique local, aucun dépôt détritique n'est très carbonaté, les calcschistes locaux du versant du Glishorn étant les formations les plus riches en $CaCO_3$ (autour de 50-55 %). De plus, aucune sédimentation biodétritique authigène carbonatée ne s'est formée sur le périmètre étudié; seuls de rares horizons de reprécipitation de carbonates (horizon Cca) liés aux sols bruns enfouis ont été notés. Les dépôts les plus carbonatés sont certaines laves torrentielles et certains dépôts de charriage torrentiel provenant du flanc du Glishorn. Les matériaux d'écroulement sont moins carbonatés, ceci pouvant s'expliquer par le fait que ces matériaux proviennent vraisemblablement d'autres unités lithologiques que celles dont sont issus les laves et les charriages torrentiels. Comme précisé plus loin, les colluvions se répartissent dans un large spectre du point de vue de leur teneur en carbonates, signature, d'une part, de la nature des matériaux d'origine, d'autre part, du degré de pédogenèse des matériaux colluvionnés et/ou des décarbonatations d'origine pédogénétique postérieures aux colluvionnements.

2.1.4 Les faciès actuels: référentiel comparatif

2.1.4.1 Un exemple de comparaison: une lave torrentielle actuelle

Une importante lave torrentielle s'est déposée le 22 août 1995, suite à un violent orage, à l'ouest du hameau de Holzji, à 500 m au sud du village de Glis, à environ un kilomètre à l'est du site archéologique de Gamsen (coordonnées: 641'350/128'340). Le contexte morphologique est le suivant: un talweg bien marqué a été creusé par un torrent épisodique à la limite des matériaux de la masse tassée et de la masse glissée, sur les pentes raides de l'ubac du Glishorn (ravin de Holzgrabe) (fig. 6); à la terminaison aval de ce talweg, à l'apex du cône torrentiel de Holzji (point coté 842), le lit du torrent a été récemment dévié et canalisé sur le flanc ouest du cône, afin d'éviter, lors de ses débordements, les pentes du cône actuellement très habitées entre Holzji, Glis et Brig. Les matériaux mobilisés lors de la coulée (roches meubles hétérométriques à forte proportion de fractions sablo-limoneuses issues du démantèlement des calcschistes) sont du même type que ceux constituant le bassin d'accumulation en amont du site de Gamsen.

Du point de vue morphologique, les dépôts de cette coulée se présentaient à l'amont sous forme de levées de matériaux hétérométriques de part et d'autre d'un chenal en forme de V (fig. 20 et 21). À l'endroit où le chenal fait une légère inflexion vers l'ouest, la masse de matériaux a débordé de son flanc oriental et s'est épandue en une large nappe (environ 50 m de long par 40 m de large et 0,50 m d'épaisseur) à bordures nettes, assez abruptes (fig. 22). La surface herbeuse recouverte n'a pas été incisée; l'herbe et les petits arbustes ont seulement été couchés.

Deux échantillons sédimentologiques ont été prélevés: le premier sur la levée bordant le chenal, le second dans la nappe de sédiment déposée en aval; les courbes granulométriques cumulatives des fractions inférieures à 2 mm sont presque droites entre 10 µm et 2 mm, (annexe 2, b), traduisant le très mauvais classement des particules (le *sorting index* est égal à 1). Les taux de carbonates sont proches de 50 % et

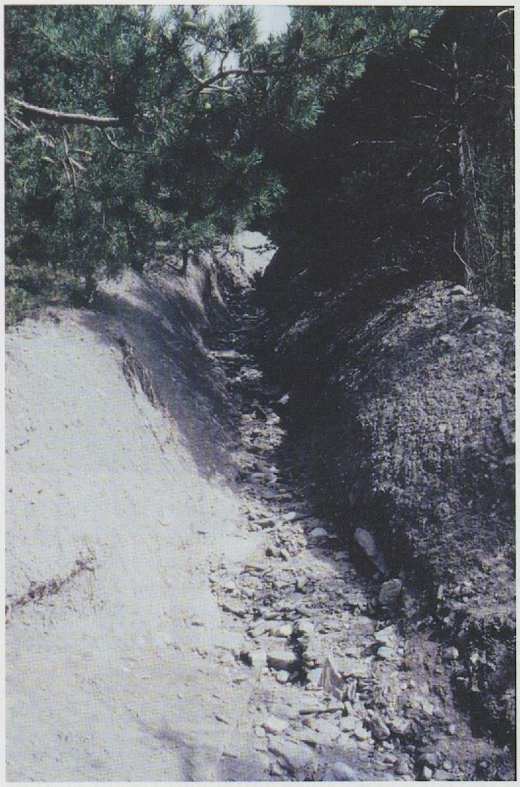

Fig. 20 — Exemple de lave torrentielle actuelle, chenal d'écoulement, vue vers l'amont, Glis-Holzji, août 1995.

Fig. 21 — Levée de boue dans la partie rectiligne du chenal, Glis-Holzji, août 1995.

Fig. 22 — Extension de la coulée dans sa partie aval (limite nord-est), Glis-Holzji, août 1995.

reflètent bien la nature des matériaux (calcschistes) non décarbonatés; la matière organique est présente en faible quantité (respectivement 2 % et 1 %).

Trois ans après le dépôt de la coulée, les modifications concernant son aspect étaient faibles: on pouvait noter, d'une part, une érosion sensible du front initialement abrupt, d'autre part, un lessivage superficiel des particules fines se traduisant par une concentration des éléments grossiers (cailloux, petits blocs) en surface. Quasiment aucune végétation n'avait colonisé cette surface depuis le dépôt de la coulée.

2.1.4.2 Les alluvions actuelles du Rhône

Une série restreinte d'échantillons a été prélevée sur les berges du lit mineur du Rhône à Naters, à proximité du pont de la route entre Brig et Naters. Du point de vue granulométrique, ces dépôts peuvent être définis pour trois d'entre eux comme des sables fins grisâtres et pour le dernier comme un limon gris clair (annexe 6, a). Un échantillon a été prélevé dans la zone basse du site lors de la crue du 24 septembre 1993 (fig. 23 et annexe 6, b). Il correspond au faciès le plus fin de l'ensemble du corpus.

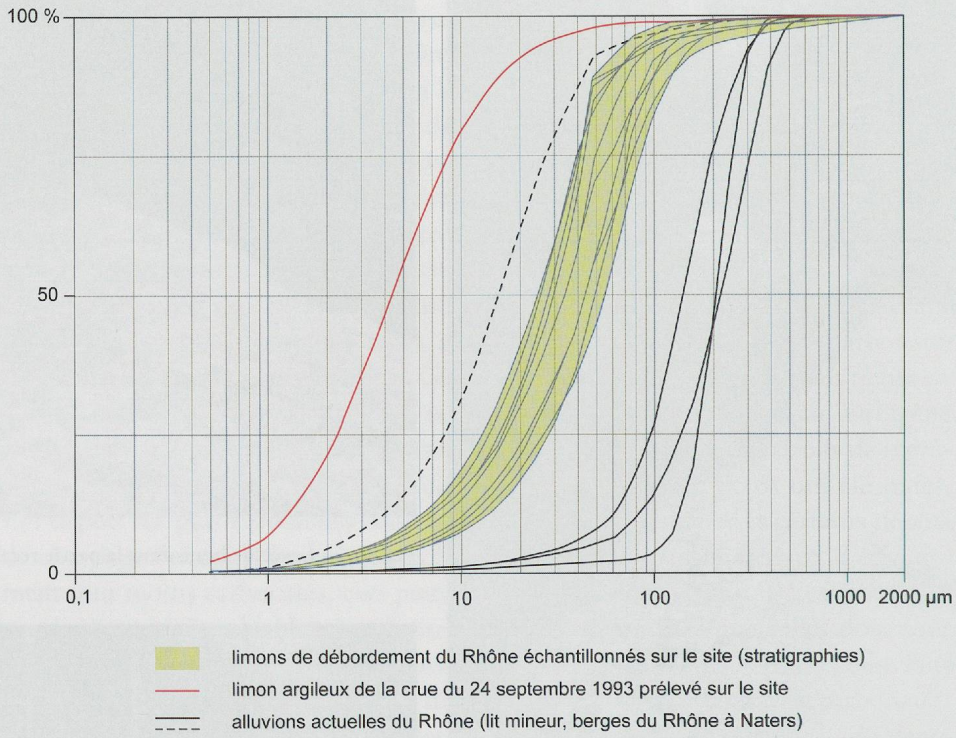

Fig. 23 — Courbes granulométriques cumulatives des fractions inférieures à 2 mm, alluvions du Rhône, à Gamsen et Naters, dépôts en stratigraphie et échantillons de comparaison.

2.1.4.3 Les alluvions de la Gamsa

Trois échantillons de sable ont été prélevés dans le lit de la Gamsa, au débouché des gorges, juste en amont du village de Gamsen; ces sables (annexe 5, f) correspondent à la population de grains déplacée par saltation.

2.1.4.4 Les dépôts de ruissellements

Quelques échantillons ont été prélevés sur le site dans des dépôts provenant de ruissellements localisés suite à des orages ou en relation avec des activités épisodiques de bisses (BW Exp 1, 2, 3, 4, 5, 6).

2.1.4.5 Les sédiments du pont Napoléon et de Ried-bei-Brig

Ces échantillons ont été prélevés sur les premiers contreforts en rive gauche du Rhône, dans le but de les comparer avec des sédiments «exogènes» utilisés par les habitants du site protohistorique pour leurs usages domestiques (placages, soles de fours et de foyers, bourrelets le long des parois, etc.). D'après D. Aubert[74], ces faciès, décrits sous l'appellation de «niveau gris intermédiaire», correspondraient à des moraines. Ce sont des sédiments sablo-limoneux à cailloux, hétérométriques, compacts, de teinte gris-bleu, présentant des similitudes macroscopiques avec les sédiments exogènes rencontrés dans les structures d'habitat et décrits comme «placages d'argile gris-bleu à gris-vert». Ces sédiments se caractérisent par leur médiane assez basse (10 µm à 30 µm), ainsi que par l'assez mauvais classement des particules (courbes assez linéaires) pour deux des échantillons, et le très mauvais classement pour le troisième (annexe 7, d); les teneurs en carbonates varient de 0 % à 23 %.

74 Aubert 1980.

Fig. 24 — Matériaux d'écroulement du Glishorn: blocs de calschistes observés en tranchée Tr.24. Echelle décimétrique.

2.1.5 Les sédiments du site de Brig-Glis/Gamsen

Parmi les dépôts rencontrés sur le site de Gamsen, nous avons différencié des dépôts témoignant d'apports franchement allochtones (alluvions du Rhône et de la Gamsa, dépôts fluvio-glaciaires et glacio-lacustres) et des dépôts d'origine plus locale, provenant du versant du Glishorn. Au sein des dépôts issus du versant du Glishorn, que nous passerons en revue ci-dessous, nous avons distingué des matériaux mis en place par dynamique gravitaire (matériaux d'écroulement, laves torrentielles, colluvions) – pour une large part de type diamicton – et des matériaux mis en place par processus liés à l'hydrodynamisme (alluvions torrentielles – charriage torrentiel – du versant du Glishorn, ruissellements et dépôts de débordement de bisses).

2.1.5.1 Les dépôts de gravité à fort déplacement issus du flanc du Glishorn

Les matériaux d'écroulement

La terminologie correspondant à la chute de débris rocheux isolés ou de groupes de débris au pied d'une paroi dépend des volumes de matériaux concernés; les termes d'éboulisation et d'éboulement sont réservés respectivement pour des chutes de débris rocheux dont le volume est inférieur à 1 m^3 et compris entre 1 et 100 m^3, tandis que le terme d'écroulement est utilisé pour les volumes plus importants[75]; dans le cas présent, étant donné la masse de matériaux affectée (fig. 6 et 8) et même si la portion qui nous concerne ici est séparée de l'imposante masse qui se trouve en amont du replat (fig. 7), c'est ce dernier terme qui est approprié. Les phénomènes d'écroulement et de tassement qui ont affecté le flanc nord du Glishorn sont mal datés; ils se sont probablement passés peu après le retrait glaciaire. Ces matériaux d'écroulement ont été observés et échantillonnés à Waldmatte-est et à Bildacker; ils correspondent aux matériaux les plus anciens reconnus sur le site. Ils se présentent sous l'aspect d'une formation très hétérométrique (diamictons), de structure isotrope, constituée de blocs de calcschiste de toutes tailles (fig. 24), souvent de forme parallélépipédique (parfois plurimétriques), emballés dans une matrice gris-acier à gris-bleu, teinte caractéristique des fragments de calcschiste non altérés. Les fragments de schiste gris-acier constituent 80 % des sables grossiers. Ces matériaux se caractérisent par des courbes granulométriques quasiment rectilignes entre 10 µm et 2 mm (annexe 2, a) et par un *sorting index* élevé (fig. 14 et 25), traduisant l'absence totale de tri des particules. Les teneurs en carbonates sont comprises entre 20 % et 30 % (fig. 18 et 19).

75 Hsü 1975; Bertran 1996; Lhénaff 1996; Bertran *et al.* 2004a.

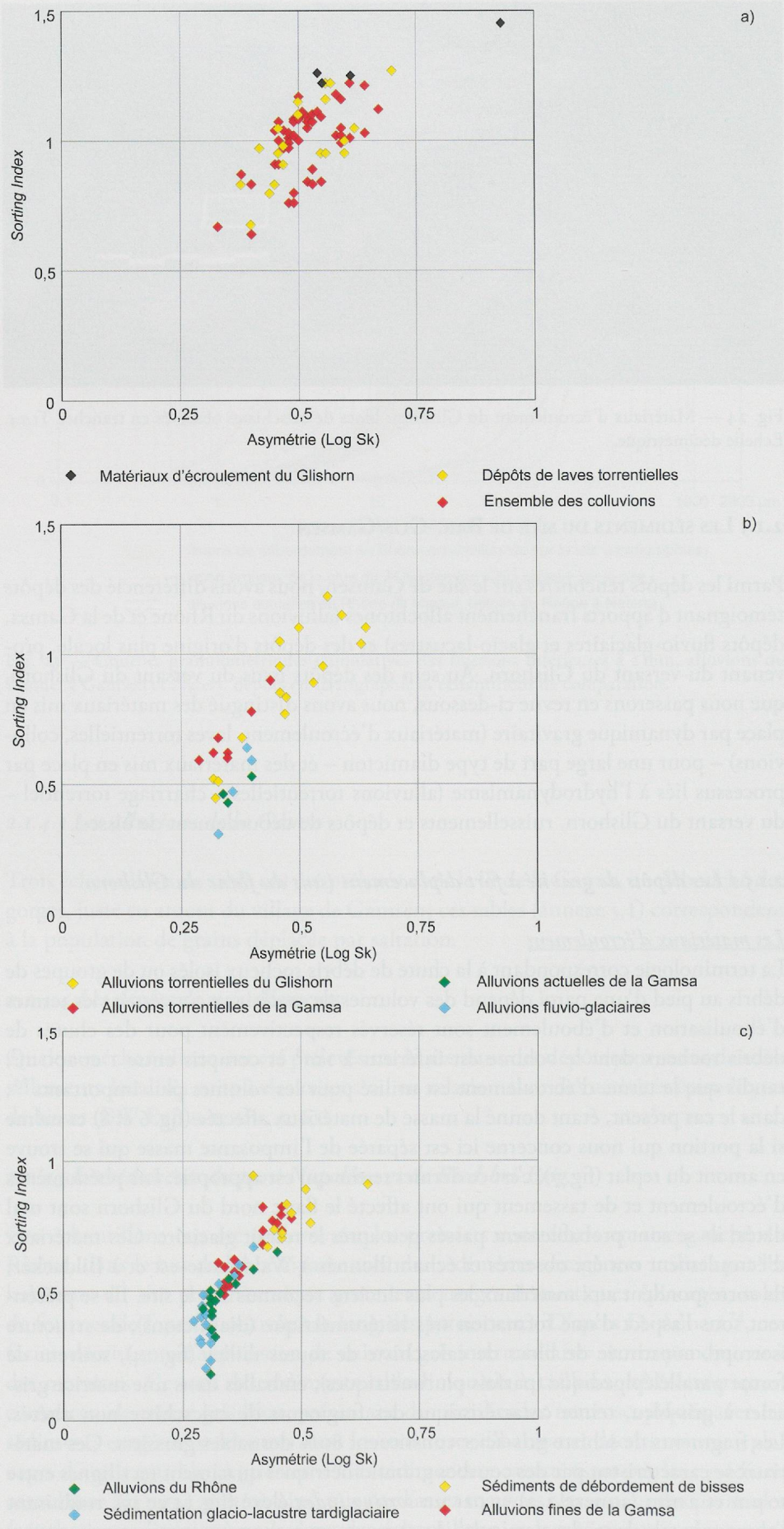

Fig. 25 — Diagrammes asymétrie/*sorting index*.

Les dépôts résultant de laves torrentielles

Les laves torrentielles sont des matériaux en transit sous forme de fluide à forte viscosité, de quelques milliers ou dizaines de milliers de mètres cubes, de composition variable selon les proportions respectives de sédiment fin, de débris de roche et d'eau, et donc de comportement variable[76]. En tenant compte du maximum de critères (domaine géographique, type de déformation subie par la masse mise en mouvement, type d'interaction entre les différents éléments, comportement du mélange), E. Bardou[77] a défini les laves torrentielles comme «un écoulement subaérien granulaire lubrifié d'apparence cinématiquement monophasique». Les fuseaux des courbes granulométriques cumulatives des laves torrentielles écrêtées à 20 mm permettent de discriminer, selon leur comportement rhéologique[78], les laves fluides (les plus riches en fines), les laves boueuses (à courbes cumulatives quasi rectilignes) et les laves granulaires (à courbes cumulatives redressées vers les fractions grossières). P. Bertran et Ph. Coussot[79] utilisent le terme de «coulées de débris» et distinguent:

- les coulées contenant une fraction argileuse suffisante pour que le mélange eau-argile forme une matrice visqueuse homogène dans laquelle sont répartis les autres débris;
- les coulées contenant une forte concentration volumique de débris si bien que le comportement du mélange est dicté par les propriétés du squelette granulaire.

Il convient de rappeler ici que, lors d'études de terrain comme celle-ci, les observations portent sur des matériaux provenant de coulées qui se sont stabilisées à la fin de leur phase de transit.

Sur le site de Gamsen, nous avons distingué:

- *les dépôts de laves torrentielles boueuses du contexte périglaciaire, de type «diamicton à support matriciel»*, observés dans les séquences des domaines morpho-sédimentaires A et F. Celles-ci sont décrites comme des diamictons à support matriciel (matrice sablo-limoneuse gris-bleu, cailloux et blocs peu émoussés, sans structure sédimentaire); elles comblent dans certains cas des chenaux à bords abrupts (fig. 31 et 32) et sont impliquées, à Bildacker comme à Waldmatte-ouest, dans des figures de charge qui affectent les dépôts glacio-lacustres (fig. 33, 37 et 45);
- *les dépôts de laves torrentielles granulaires de type «diamicton à support clastique»*. Ces dernières ont été rencontrées de façon assez abondante dans les séquences holocènes antérieures aux habitats protohistoriques, où elles se présentent parfois en nappes superposées (voir fig. 58, pp. 98-99); nous avons regroupé ici des dépôts qui présentent macroscopiquement un faciès pauvre en fines, plus sableux (voire sablo-caillouteux) que dans le faciès précédent, tout en gardant une forte hétérométrie: les blocs y sont parfois de taille métrique;
- *les dépôts de laves torrentielles boueuses de la séquence holocène de type «diamicton à support matriciel»*. Celles-ci sont bien représentées dans les séquences sédimentaires constitutives du cône est et du cône ouest de Waldmatte (domaines C et D), où elles ont pu être observées en coupes longitudinales et transversales (voir fig. 64, p. 110), et, dans certains cas, cartographiées en extension planimétrique (voir, p. ex., fig. 87, pp. 134-135, périodes IV et V); elles sont également présentes dans les séquences sédimentaires de l'Holocène ancien, antérieures à la mise en place distincte des deux cônes (voir fig. 56, p. 96), en intercalation entre des laves torrentielles granulaires, des dépôts de charriage torrentiel et des sols marquant des épisodes d'arrêt de sédimentation; elles se caractérisent du point de vue macroscopique par l'abondance de la matrice sablo-limoneuse gris-beige, dans laquelle sont inclus des blocs et des cailloux sans structures sédimentaires évidentes.

76 Ancey 1999; Remaître 2006.

77 Bardou 2002.

78 Bardou 2002.

79 Bertran et Coussot 2004.

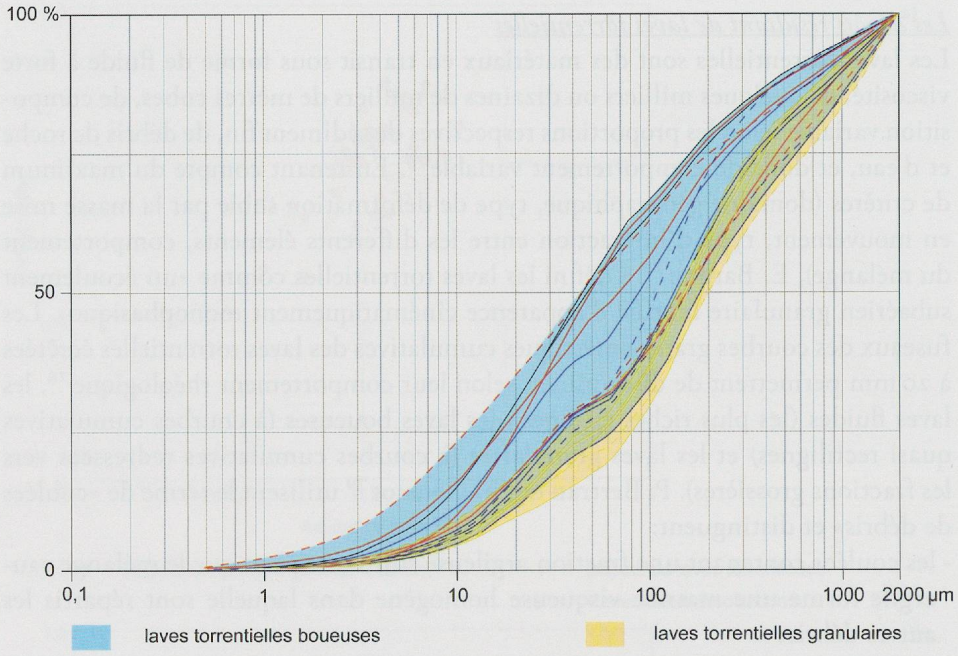

Fig. 26 — Courbes granulométriques cumulatives des fractions inférieures à 2 mm, ensemble des laves torrentielles analysées sur le site.

Nous avons également comparé les données de ces trois faciès distincts avec celles de la lave torrentielle actuelle de Glis-Holzji (annexe 2, b). Les dépôts de laves torrentielles boueuses se caractérisent par leurs courbes granulométriques cumulatives inférieures à 2 mm très peu redressées, traduisant le très mauvais tri des particules. Les faciès du contexte périglaciaire présentent des courbes presque droites entre 5 µm et 2 mm (annexe 2, c); les dépôts des laves torrentielles granulaires des séquences holocènes antérieures aux occupations montrent un tri des particules un peu meilleur dans les fractions sableuses (annexe 2, e et fig. 26) avec des valeurs de la médiane plus élevées (fig. 14 et 27).

Les teneurs en carbonates des laves torrentielles sont parmi les plus élevées du site (fig. 18 et 19), traduisant bien le fait que les matériaux qui les constituent sont des calcschistes du Glishorn n'ayant pas, ou peu, subi de décarbonatation d'origine pédogénétique; ces valeurs sont les suivantes: entre 30 % et 40 % pour les laves boueuses de type «diamicton à support matriciel» et les coulées de débris holocènes de type «diamicton à support clastique», de 25 % à 50 % pour les laves boueuses du contexte périglaciaire de type «diamicton à support matriciel» (avec des valeurs nettement plus élevées à Bildacker qu'à Waldmatte-ouest) et près de 50 % pour le référentiel actuel de Glis-Holzji. Nous aborderons plus loin les questions des conditions de déclenchement et de dynamique de mise en place des laves torrentielles (pp. 61 sqq.).

2.1.5.2 Les dépôts de gravité à faible déplacement: les colluvions

Les colluvions sont des matériaux détritiques n'ayant généralement subi, à la différence des alluvions, qu'un transport très limité[80]; elles se caractérisent par leur forte hétérométrie, la relativement grande proportion de matrice fine et l'absence de structure sédimentaire nette[81]; leur mise en place fait intervenir des processus complexes et variés[82], sur lesquels nous reviendrons plus loin (pp. 64 sqq.). Sur le site de Gamsen, plusieurs faciès ont été distingués parmi les colluvions, répartis

80 Lozet et Mathieu 1997.
81 Campy et Macaire 1989.
82 Bertran et Texier 1997.

Fig. 27 — Diagrammes médiane/asymétrie.

en deux groupes: un premier groupe comprend les colluvions issues uniquement du remaniement de matériaux provenant du flanc du Glishorn. Ce sont les plus fréquentes; celles-ci comprennent trois faciès distincts:

- *les colluvions moyennes à grossières, gris-beige*: ce sont les plus ubiquistes sur le site de Gamsen: elles se rencontrent à Bildacker, Breitenweg, Waldmatte et Kridenfluh, aussi bien dans les zones de piémont à sédimentation condensée que sur les cônes à sédimentation dilatée, intercalées entre les occupations archéologiques ou en dehors des zones habitées; du point de vue chronostratigraphique, elles sont bien représentées dans les séquences sédimentaires contemporaines ou postérieures aux premiers habitats protohistoriques; elles ont ainsi pu être cartographiées sur les flancs du cône est de Waldmatte, ce qui a permis d'appréhender leur extension planimétrique (parfois plus de 5000 m^2), leur épaisseur et leur insertion chronologique (voir chap. v). Ces colluvions se caractérisent macroscopiquement par l'abondance des cailloux et des petits blocs, dans une matrice sablo-limoneuse;
- *les colluvions fines gris-beige*: elles sont beaucoup moins fréquentes que les précédentes, se caractérisent par une matrice largement dominante, sablo-limoneuse, l'absence de petits blocs et la rareté des cailloux et granules; c'est un faciès caractéristique des zones aval du site, et qui semble surtout bien représenté en sommet de séquence, les limons de débordement «modernes» de bisses ayant probablement leur part dans la dynamique de mise en place de ce type de dépôt;
- *les colluvions brun-rougeâtre ou panachées gris/rougeâtre* (colluvions d'altérites): elles sont essentiellement présentes, du point de vue stratigraphique, soit en intercalation avec les colluvions ayant subi une pédogenèse (sols enfouis sur substrat colluvial), soit dans la séquence sédimentaire postérieure aux sols enfouis brun-rouge les plus récents et antérieure aux premiers habitats de l'âge du Fer, et, plus rarement, intercalées entre les premières occupations; du point de vue de leur répartition spatiale, on les observe aussi bien à Bildacker qu'à Waldmatte-est et Waldmatte-ouest. Nous avons classé sous ce vocable les colluvions qui, d'une part, présentaient une teinte différente de celle correspondant aux matériaux frais ou considérés comme tels, et qui, d'autre part, n'avaient pas les caractéristiques macroscopiques et micromorphologiques (d'après les analyses de Guélat et Rentzel) des sols *in situ*. Nous avons observé à plusieurs reprises, et en particulier dans le profil BW I (annexes 13 et 14), qu'il existait un gradient colorimétrique général du bas vers le haut de la séquence allant de la protohistoire à l'actuel, consistant en une atténuation progressive de la teinte brun-rouge et un passage graduel à des teintes grises dans les séquences de colluvions les plus récentes, en corrélation avec une hausse progressive de la teneur en carbonates. Du point de vue granulométrique, elles diffèrent relativement peu des précédentes (annexe 3, b).

Un second groupe de colluvions comprend celles qui remanient d'autres matériaux que ceux issus du versant du Glishorn en proportion variable selon les cas:

- *les colluvions fines remaniant des limons de débordement du Rhône*, rencontrées dans la partie basse du site, uniquement dans la partie sommitale des profils. Du point de vue granulométrique, elles se caractérisent par des courbes cumulatives plus redressées que les précédentes dans les limons et les sables fins (annexe 3, e).

Les courbes granulométriques des fractions inférieures à 2 mm des colluvions classiques remaniant les matériaux du versant se caractérisent par leur portion quasiment rectiligne entre 10-20 µm et 100-200 µm (annexes 2, f; 3, a; 3, b et 3, c); les colluvions fines remaniant les alluvions rhodaniennes (annexe 3, e), ainsi que certaines colluvions fines remaniant des dépôts glacio-lacustres (annexe 3, d) se distinguent par un meilleur tri des particules (inflexion des courbes mieux marquée, médiane et *sorting index* plus bas, fig. 14). La fraction inférieure à 2 mm des

colluvions moyennes à grossières (à cailloux abondants) gris-beige (annexe 2, f) et celle des colluvions fines (pauvres en cailloux) gris-beige (annexe 3, a) sont assez similaires. Il convient d'autre part de noter que les colluvions gris-beige, les colluvions d'altérites et les colluvions ayant subi une pédogenèse présentent des caractéristiques granulométriques assez similaires (annexe 3, a; 3, b et 3, c).

La teneur en carbonates des colluvions reste toujours nettement plus basse que celles des alluvions et des laves torrentielles issues du flanc du Glishorn. Les colluvions fines gris-beige montrent les teneurs en carbonates les plus élevées, avoisinant 20 % à 30 %; les colluvions ayant subi une pédogenèse présentent des teneurs basses (2 % à 6 %), de même que les colluvions d'altérites (0 % à 14 %) et que les colluvions remaniant des dépôts glacio-lacustres et ayant subi une pédogenèse (0 % à 4 %). Les colluvions moyennes et grossières gris-beige présentent des teneurs en carbonates fortement étalées puisqu'elles vont de 1 % à 32 % (fig. 18), traduisant vraisemblablement des degrés de décarbonatation plus ou moins avancée du sédiment selon les échantillons.

L'existence de colluvions gris-beige présentant des taux de carbonates très bas (1 % à 5 %), surtout dans la partie supérieure de la séquence sédimentaire de Gamsen (contemporaine ou postérieure aux occupations protohistoriques), montre le fait que la décarbonatation des dépôts n'est pas toujours en corrélation avec une teinte brun-rouge du sédiment, probablement par le fait d'un degré d'altération moins poussé. Si les colluvions ayant acquis une teinte marquée brun-rouge (colluvions ayant subi une pédogenèse, les colluvions fines remaniant des dépôts fins glacio-lacustres et ayant subi ultérieurement une pédogenèse, colluvions brun-rougeâtre ou panachées gris/rougeâtre) présentent de façon systématique des teneurs en carbonates très basses, voire nulles, les colluvions décarbonatées de séquences sédimentaires plus récentes, et peut-être à taux de sédimentation plus élevé, qui n'ont pas acquis cette coloration soulèvent la question de la durée nécessaire aux phénomènes de rubéfaction; cette question sera abordée de façon plus détaillée dans l'étude micromorphologique (voir chap. IX, p. 213). P. Duchaufour[83] mentionne que les processus de décarbonatation sous climat sec, à saison sèche marquée, entraînent la formation d'un horizon calcique en profondeur, alors qu'en climat humide, la plus grande partie des carbonates est éliminée par drainage profond. Il précise que la décarbonatation est ralentie si les précipitations sont faibles, mais accélérée si le matériau est filtrant. Il décrit également les processus de rubéfaction, précisant que pour un substrat calcaire, la rubéfaction n'intervient que si la décarbonatation est totale, mais que «parmi les matériaux silicatés, seuls les plus filtrants et les plus riches en calcium et les minéraux altérables se rubéfient aussi facilement que les matériaux calcaires, mais dans ce cas l'élimination préalable du calcaire n'est pas nécessaire. Les roches schisteuses riches en fer sont favorables à la rubéfaction dans la mesure où elles donnent un matériau bien aéré, ce qui accentue les contrastes saisonniers d'humectation et de dessication». Une grande partie des colluvions moyennes à grossières gris-beige est en fait à considérer comme des colluvions d'altérites, bien qu'elles n'aient pas la teinte rougeâtre acquise par d'autres colluvions d'altérites plus nettement identifiables macroscopiquement.

2.1.5.3 Les dépôts issus du flanc du Glishorn liés à l'hydrodynamisme

Les alluvions torrentielles du versant (dépôts de charriage torrentiel)

A la différence des colluvions, les alluvions sont des formations déplacées et redéposées par l'eau, après un transport plus ou moins long[84] par traction sur le fond pour les fractions les plus grossières[85], par saltation et suspension pour les plus fines. En ce qui concerne les dépôts issus du versant du Glishorn, deux faciès macroscopiques ont été distingués sur le terrain: les alluvions torrentielles

83 Duchaufour 1977, pp. 408-412.

84 Lozet et Mathieu 1997.

85 Meunier et Bertran 2004.

grossières (graviers et blocs à matrice sableuse, en remplissage de chenaux ou en nappes de plus ou moins grande extension et épaisseur) et des alluvions plus fines, fréquemment stratifiées (sables, sables limoneux et sables gravillonneux), présents dans la partie distale des cônes ou en épandage sur les flancs de ceux-ci, en nappe de débordements latéraux des chenaux. À l'analyse des courbes granulométriques des fractions inférieures à 2 mm, nous avons regroupé les sédiments sans tenir compte de ces deux faciès de terrain mais selon les critères granulométriques suivants:

- sédiments présentant des courbes redressées dans les fractions sableuses grossières (annexe 4, a);
- sédiments bien triés dans les sables moyens (annexe 4, b);
- sédiments peu triés dans les sables moyens (annexe 4, c).

Les sédiments dont les courbes granulométriques des fractions inférieures à 2 mm sont redressées dans les fractions sableuses grossières et moyennes sont des sédiments assez grossiers, sablo-gravillonneux dont les courbes ont été tronquées. Les sédiments bien ou peu triés dans les sables moyens ont une médiane comprise entre 100 µm et 200 µm. Les teneurs en carbonates sont parmi les plus élevées du site (entre 25 % et 50 %), proches de celles des laves torrentielles et reflètent bien la composition des calcschistes non altérés du Glishorn.

Les limons de débordement de bisses

Les bisses sont des petits canaux d'irrigation[86] aménagés parallèlement aux courbes de niveaux, avec une très légère pente, qui sont alimentés par les torrents des vallées latérales. Ceux qui irrigent encore actuellement le versant de Waldmatte sont alimentés par les eaux de la Gamsa, les prises d'eau étant situées dans le Nanztal, au débouché des gorges, en amont du cône alluvial. Quelques anciens bisses ont été observés dans les coupes (Tr.12, Stg 1190); leur remplissage est sablo-gravillonneux. Les sédiments observés en aval des bisses sont des limons de débordement, correspondant aux particules fines apportées par l'eau lors des irrigations périodiques. Ces dépôts, généralement assez homogènes, se sont accumulés sur quelques décimètres d'épaisseur (épaisseur maximale observée: 60 cm). Ces limons se caractérisent par leur texture fine (médiane entre 30 µm et 50 µm) et des courbes cumulatives assez redressées entre 10 µm et 150 µm (annexe 4, d). Ils présentent des teneurs en carbonates assez faibles, comprises entre 9 % et 15 %, conséquence du fait qu'une grande partie des matériaux fins apportés provient du bassin versant de la Gamsa au-delà de la zone des calcschistes, dans les nappes de socle.

Les dépôts de ruissellement

En reprenant la définition de P. Bertran, Y. Le Bissonnais et J.-P. Texier[87], nous dirons que le terme de *ruissellement*, ou *écoulement superficiel*, désigne le déplacement d'une mince couche d'eau libre (quelques millimètres à un centimètre) en surface sous l'effet du potentiel gravitaire[88]. Il se caractérise par un écoulement dilué de particules sédimentaires dans de l'eau[89]. Ce ruissellement peut être diffus ou en nappe; en aval, il peut devenir concentré et former des rigoles[90]. Sur le site de Gamsen, les dépôts de ruissellement constituent généralement des nappes, parfois d'assez grande extension (> 5000 m² pour RU640), plus rarement en épandages plus restreints, bien canalisés en amont, s'évasant en aval (RU292, 350 m²); ils sont fréquents sur les surfaces horizontalisées par terrassement, à la base des couches d'occupation (RU504) ou sur les habitats ruinés ou incendiés (RU511, RU533, RU218, RU554, RU556, RU296). Ils se rencontrent d'autre part en remplissage des fossés arrière des bâtiments (fossés de drainage, caniveaux,

86 Collectif 1999; Roulier 1995.

87 Bertran *et al.* 2004 b.

88 Le ruissellement est un écoulement de type newtonien: la déformation est en relation linéaire avec la contrainte exercée (Pierson et Costa 1987). Les conditions de déclenchement se rencontrent lorsqu'une quantité de pluie dépasse la capacité d'infiltration du sol, soit parce que l'intensité de cette dernière dépasse la vitesse d'inflitration du sol (ruissellement hortonien), soit parce que le sol est imbibé suite à des précipitations de longue durée (ruissellement de saturation) (Lenoble 2003).

89 Bertran et Texier 1997; Lenoble 2003.

90 Lenoble 2003; Bertran *et al.* 2004 b.

gouttières, RU516, RU522, RU549, RU551). Ils ont également été observés de façon assez récurrente à la base des coulées boueuses (RU328 avant TL591 et TL624), plus rarement avant des phases de charriage torrentiel (RU556 avant TO574). Ces dépôts se caractérisent macroscopiquement par leur texture assez fine, sablo-limoneuse à limoneuse jaune-beige ou gris-beige clair, homogène ou à laminations diffuses; les granules sont généralement absents dans les nappes de limons et de sables, mais des passées gravillonneuses peuvent s'interstratifier (RU321). Ces faciès plus grossiers peuvent aussi être rencontrés plus localement (comblement de rigoles et fossés). Les courbes granulométriques cumulatives (annexe 3, f) présentent un faisceau assez large, allant de sables un peu limoneux assez triés dans les fractions sableuses moyennes et grossières (médiane vers 80 µm - 150 µm) jusqu'à des limons (médiane à 20 µm - 40 µm).

2.1.5.4 Les alluvions de la Gamsa

Les alluvions de la Gamsa ont été échantillonnées dans le domaine morpho-sédimentaire G. Des faciès grossiers (graviers à matrice sableuse en remplissage de chenaux, voir fig. 116, 118 et 119, pp. 179 sqq.) contrastent nettement avec des dépôts fins (limons, limons sableux et sables limoneux homogènes ocre-jaune et vert olive ou à laminations colorimétriques; sables plus rares en remplissage de petits chenaux, voir fig. 118 et 119, pp. 182-184). Le contexte géomorphologique peut être défini de la façon suivante: en bordure orientale du cône de la Gamsa, des chenaux orientés sud-ouest/nord-est ont été creusés à proximité du raccordement du versant du Glishorn avec la plaine alluviale du Rhône.

Les alluvions grossières

Ces faciès sont mis en place par processus de charriage torrentiel, les éléments grossiers étant tractés sur le fond[91]. Dans les diagrammes présentés, les fractions inférieures à 2 mm des alluvions grossières ont été regroupées en trois faciès distincts: les faciès les plus grossiers montrent des courbes fortement redressées au-dessus de 300 µm (annexe 4, e); les deux autres faciès présentent des matrices sableuses, assez bien classées pour l'un d'eux, avec des courbes cumulatives redressées entre 100 µm et 500 µm (annexe 4, f), nettement moins bien classées pour l'autre, avec une composante limoneuse non négligeable (annexe 5, a).

Les alluvions fines

Ces dépôts fins ont pu sédimenter, sans être évacués, dans une petite dépression oblongue résultant de l'effet de barrage créé par le cône de la Gamsa dans la partie orientale de son cône, dont les apports sont ici à contre-courant du cours du Rhône (fig. 7, p. 19). Ces alluvions fines ont été regroupées en quatre faciès différents: les sables limoneux, les limons sableux, les sables fins et les limons. Les limons sableux sont les plus abondamment représentés; ils montrent des courbes cumulatives redressées de 5 µm à 10 µm et de 100 µm à 150 µm, avec des médianes comprises en général entre 15 µm et 60 µm (annexe 5, c); les sables limoneux présentent des courbes cumulatives moins redressées entre 10 µm et 200 µm (annexe 5, b); les limons (annexe 5, d) et les sables (annexe 5, e) sont plus rarement représentés. Les teneurs en carbonates varient de 0 % à 15 % dans les dépôts de la Gamsa; le bassin versant de ce cours d'eau, situé en grande partie dans les nappes de socle du domaine pennique, essentiellement silicatées (gneiss, amphibolites, etc.), traverse plus en aval, au niveau des gorges situées juste en amont de son cône alluvial, des zones plus carbonatées (bancs dolomitiques et calcschistes des nappes de couverture).

91 Meunier et Bertran 2004.

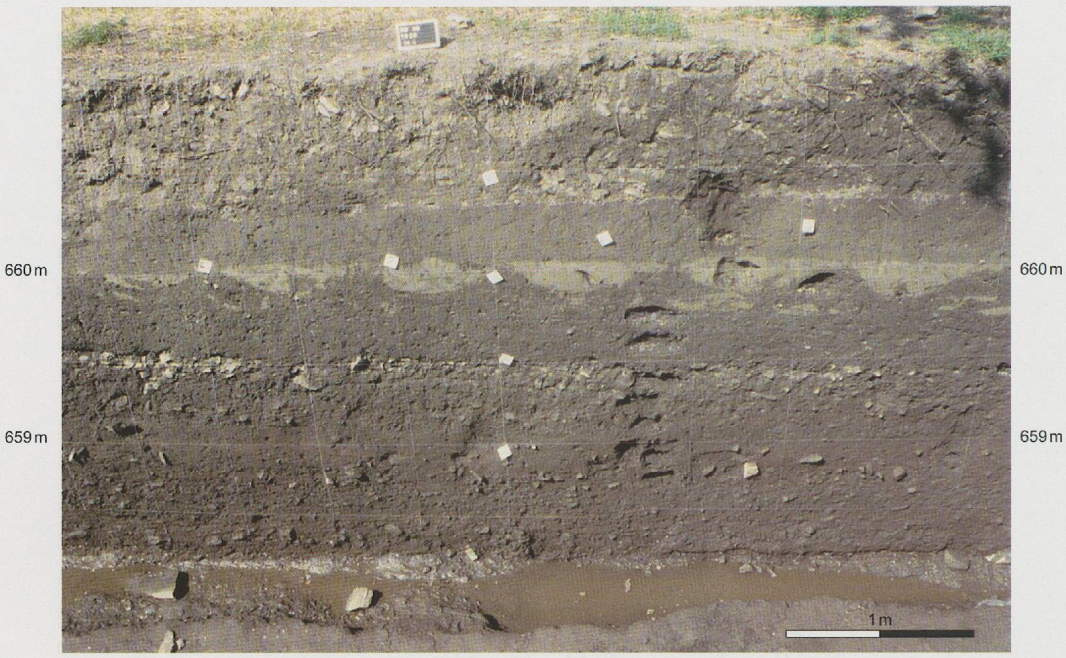

Fig. 28 — Alluvions du Rhône en tranchée Tr.28. L'aspect festonné (altitude 660 m) est dû aux labours postérieurs. Voir également fig. 123, p. 190.

2.1.5.5 Les alluvions du Rhône

Les alluvions du Rhône ont été reconnues dans les parties aval de plusieurs coupes du site (Tr.3, Tr.9, Tr.28, Tr.35; domaine morpho-sédimentaire H); ce sont essentiellement des limons de débordement de crue. Ces dépôts se caractérisent macroscopiquement par leur texture fine, homogène et leur teinte jaune clair qui contraste assez nettement avec celle des colluvions grises ou gris-beige qu'ils recouvrent (fig. 28). Nous avons comparé leurs caractéristiques granulométriques (annexe 6, c) avec celles des alluvions actuelles du Rhône provenant des berges de son lit mineur (échantillonnées à Naters; annexe 6, a) et d'un dépôt de crue actuel (annexe 6, b). Les alluvions rhodaniennes provenant du site montrent des courbes redressées entre 10 µm et 100 µm, avec des médianes comprises entre 25 µm et 55 µm; le fuseau de courbes se situe entre les faciès limoneux (médiane à 15 µm) et sableux (médianes à 150 µm - 250 µm) échantillonnés sur les berges actuelles du Rhône à Naters (fig. 23), alors que le limon de crue déposé sur le site le 24 septembre 1993 se caractérise par sa texture très fine: avec une médiane voisine de 5 µm, il constitue le sédiment le plus fin reconnu sur le site. Les alluvions actuelles du Rhône sont pauvres en carbonates: de 0 % à 5 % pour les sédiments des berges actuelles, 10 % pour le limon de crue; pour la majeure partie des échantillons provenant du site, les valeurs avoisinent également les 10 % (fig. 18 et 19).

2.1.5.6 Les dépôts des contextes paraglaciaires, les faciès glacio-lacustres et fluvio-glaciaires

Provenant des domaines morpho-sédimentaires A et F, les faciès sédimentaires des contextes paraglaciaires comprennent des sables et des limons glacio-lacustres, ainsi que des graviers et des sables gravillonneux fluvio-glaciaires. Leur géométrie et leurs contextes stratigraphique et géomorphologique seront décrits dans le détail plus bas (pp. 60 sqq.). Les données du profil BW X, dont la moitié inférieure concerne ces faciès, sont d'autre part présentées en annexe (annexes 10 à 12).

Les dépôts glacio-lacustres

Les limons glacio-lacustres présentent des courbes assez redressées entre 2 µm et 50 µm, avec des médianes autour de 20 µm (fig. 23); en tenant compte du fait que les méthodes d'analyse laser sous-estiment les fractions fines[92], ces faciès peuvent être considérés comme limono-argileux. Il est à noter d'autre part que les courbes granulométriques ont été effectuées sur sédiments non décarbonatés et qu'une grande partie des grains des fractions les plus grossières des deux échantillons provenant du profil BW X (éch. 13 et 20) est d'origine post-sédimentaire (manchons racinaires carbonatés d'origine pédogénétique). Les sables et les sables limoneux présentent des courbes fortement redressées entre 20 µm et 300 µm, avec des médianes comprises entre 50 µm et 200 µm (annexe 6, e). Dans le diagramme *sorting*/ médiane, les sédiments glacio-lacustres sont situés sur un alignement légèrement oblique qui correspond au domaine lacustre défini par Selmer-Olsen. Les teneurs en carbonates varient assez fortement d'un échantillon à l'autre, conséquence, pour les sables (de 0 % à 22 %), des fortes variations dans la composition minéralogique des constituants selon les échantillons (essentiellement: quartz, micas et calcite; annexes 10 et 11); pour les limons, ces variations (de 11 % à 26 %) sont à mettre en relation, pour une part du moins, avec la présence des carbonates d'origine pédogénétique.

Les dépôts fluvio-glaciaires

Ces dépôts sont finalement peu représentés sur le site: coupes Stg 572 et Stg 575 à Waldmatte-ouest et coupes S20-est et S21-sud de Bildacker. Ce sont des graviers jaune-orangé ou gris, à matrice sableuse. Les courbes des fractions inférieures à 2 mm sont assez redressées au-dessus de 100 µm (annexe 6, d). Du point de vue pétrographique, les apports allochtones dominent dans les fractions 8-32 µm (fig. 41).

2.1.5.7 Les sols enfouis affectant d'anciennes séquences colluviales et les sols actuels

Les colluvions ayant subi une pédogenèse

Du point de vue pédologique, elles peuvent être qualifiées de «sols tronqués sur substrat colluvial». Ces colluvions ont acquis une teinte, généralement graduelle depuis la base, allant du brun-rougeâtre au vert olive vers le sommet. L'étude micromorphologique menée en parallèle permet d'en définir certaines caractéristiques: la présence d'un horizon B d'altération, leur porosité plus faible que celle des autres formations, les indices de bioturbation, la présence de nodules ferrugineux ou ferromanganique (voir chapitre IX). Du point de vue granulométrique, ces colluvions présentent des courbes assez rectilignes entre 15 µm et 2 mm (annexe 3, c).

Les colluvions fines rougeâtres remaniant des dépôts fins glacio-lacustres et ayant subi une pédogenèse

Elles sont présentes à Bildacker (profil BB 98, fig. 59, p. 101) et à Waldmatte-ouest (coupe Stg 1290 sud, fig. 39) dans des séquences qui surmontent les séquences tardi-glaciaires glacio-lacustres. La matrice, fortement dominante, est sablo-limoneuse à limono-sableuse, héritée des faciès glacio-lacustres; les granules sont présents mais rares. L'altération qu'elles ont subie leur confère une teinte ocre-rouge bien marquée. Du point de vue granulométrique, ces colluvions présentent des courbes assez rectilignes entre 10 µm et 200 µm (annexe 3, d).

Les sols humifères actuels

Ils sont généralement formés sur substrat de limons de débordement de bisse. Leur granulométrie (composante limoneuse non négligeable) reflète les caractéristiques de ce substrat (annexe 6, f).

92 Konert et Vandenberghe 1997.

2.1.5.8 Les dépôts anthropogènes

Les dépôts analysés ont été regroupés selon les faciès suivants:
- sols d'occupation;
- placages, bourrelets et soles de foyer en «argile» bleue ou verte;
- remblais.

Ces trois faciès ne constituent de loin pas la palette complète des couches liées aux occupations humaines.

Les sols d'occupation
Ce sont des accumulations peu épaisses de sédiment assez fin, pauvre en cailloux, présentant souvent des laminations colorimétriques (beige clair/gris foncé) et/ou granulométriques (sables limoneux plus ou moins fins), s'étendant sur des surfaces subhorizontales, à l'intérieur des bâtiments. Les sols d'occupation présentent un large faisceau de courbes granulométriques peu redressées, dont les médianes sont comprises entre 30 µm et 200 µm, les faciès les plus grossiers (sables moyens à grossiers) constituant les dépôts les mieux triés (annexe 7, a).

Les placages, bourrelets et soles de foyer en «argile» bleue ou verte
Ce sont des «chapes» localisées dans certains espaces domestiques, parfois en soubassement de zones foyères ou en bourrelets le long de parois; le sédiment qui les constitue présente des caractères macroscopiques (couleur, texture, parfois concrétionnement et cimentation des éléments entre eux) qui laissent à penser que ce matériau est exogène. À l'exception d'un échantillon (BW VII-10b), ces matériaux présentent des courbes très peu redressées, caractéristiques de dépôts très mal triés (annexe 7, b).

Les remblais
Du point de vue macroscopique, les remblais se caractérisent par leur forte hétérométrie et l'absence d'organisation du sédiment (annexe 7, c), caractères communs à plusieurs faciès naturels rencontrés sur le site (colluvions, laves torrentielles). Les courbes cumulatives sont assez rectilignes entre 10 µm et 400 µm et s'infléchissent à leurs extrémités (annexe 7, c). Dans un contexte comme celui de Gamsen, les critères archéologiques sont quasiment indispensables pour établir de façon indubitable la présence de remblais: accumulation «anormale» de sédiment à l'aval d'une surface terrassée ou d'une zone excavée, délimitant un talus aval à forte déclivité, souvent rectiligne.

2.2 La dynamique de transport des matériaux: rhéologie / hydrodynamique / dynamique gravitaire

2.2.1 Quelques aspects théoriques et leurs applications au cas de Gamsen

Dans un contexte de versant comme celui de Gamsen, où la pente est forte, les mécanismes de transport des matériaux sont fortement influencés par la gravité, l'eau jouant un rôle plus ou moins marqué selon les mécanismes impliqués. Les faciès rencontrés, qui vont des matériaux d'éboulement et d'écroulement rocheux aux alluvions torrentielles plus ou moins triées, en passant par les laves torrentielles, sont caractéristiques de mécanismes de transport et de dépôts fort différents les uns des autres. Nous passerons en revue ci-après les différents cas de figure.

Type d'écoulement	*Water flood (streamflow)* = charriage torrentiel	*Hyperconcentrated (stream) flow* = charriage torrentiel + lave torrentielle fluide	*Debris flow* = lave torrentielle boueuse
régime d'écoulement	turbulent	turbulent (à laminaire)	laminaire
mode d'écoulement	écoulement diphasique (eau + particules)	écoulement diphasique (eau + particules)	écoulement monophasique
comportement rhéologique	frictionnel		viscoplastique
charge transportée	de 1 % à 40 % en poids de 0,4 % à 20 % en volume	de 40 % à 70 % en poids de 20 % à 47 % en volume	de 70 % à 90 % en poids de 47 % à 77 % en volume
pourcentage d'eau libre	entre 100 % et 33 %	entre 33 % et 0 %	0 %
densité de la masse en mouvement	1,01 à 1,33 g/cm3	1,33 à 1,80 g/cm3	1,80 à 2,30 g/cm3

Fig. 29 — Caractéristiques physiques et rhéologiques des différents types d'écoulement (d'après Costa 1988).

2.2.1.1 Modèles rhéologiques et dynamique des fluides

Comme le souligne P. Tissières, le sédimentologue confronté aux mécanismes de dépôts dans l'eau est tenté de recourir aux lois de l'hydraulique[93]. Pourtant, les champs d'application des deux domaines d'étude coïncident avec difficulté car l'hydraulicien étudie les transits de matériaux dans des conditions d'équilibre, alors que les observations du géologue portent essentiellement sur des états de déséquilibre, soit par excès de charge (dépôts), soit par excès de turbulence (érosion).

Pour appréhender l'ensemble des déplacements de matériaux rencontrés sur le site, il est nécessaire de faire un rappel théorique concernant la dynamique des grands types d'écoulement[94]. Si l'on tente d'appréhender du point de vue théorique la question du comportement d'un flux constitué d'un mélange sédiment + eau, il conviendra de prendre en considération les différents cas de figure[95], depuis le cas où la concentration de sédiment est égale à 0 % (eau pure), jusqu'au cas où cette concentration atteint 100 % (sédiment sec).

J. E. Costa[96] différencie trois grands types d'écoulement d'après leurs comportements rhéologiques (fig. 29):
- *water floods (normal streamflow)*;
- *hyperconcentrated (stream) flows*;
- *debris flows* auxquels la notion de flux granulaires *(granular flows)* est souvent adjointe[97].

<u>*Water floods ou normal streamflow (écoulement torrentiel normal)*</u>
En régime torrentiel normal, l'eau transporte une charge assez réduite en matériaux et la concentration des particules reste suffisamment faible pour n'affecter le comportement du fluide que de manière négligeable; étant donné la distance qui sépare les particules, les interactions entre les grains restent très faibles. Ces écoulements de type *water flood* se caractérisent par un écoulement turbulent (structures tourbillonnaires), la charge en matériaux transportés est relativement faible (moins de 40 % en poids – le pourcentage d'eau libre est compris entre 100 % et 33 %); la viscosité est faible; le comportement du fluide est celui d'un liquide; la turbulence est le facteur principal de support des particules dans le fluide. Pour prendre des exemples actualistes, nous sommes dans le cas de la Saltina en régime normal ou du transit dans les bisses.

93 Tissières 1990.

94 Blatt *et al.* 1980; Leeder 1982; Pierson et Costa 1987; Costa 1988; Francou 1988; Ancey 1997 et 1999; Bertran *et al.* 2004c.

95 Pierson et Costa 1987.

96 Costa 1988.

97 Pierson et Costa 1987.

Hyperconcentrated flow (écoulement hyperconcentré)

Dans les flux hyperconcentrés, quand la charge en particules transportées augmente, il arrive un moment où il commence à se produire une interaction entre celles-ci; cette interaction peut être d'ordre électrochimique pour les particules argileuses ou d'ordre physique pour les particules de granulométrie supérieure (collision entre grains); le comportement du fluide s'en trouve modifié: le flux passe progressivement de turbulent à laminaire à mesure que la charge augmente, du fait de la collision des particules entre elles; la viscosité augmente fortement; le comportement devient plastique. Dans ces flux hyperconcentrés, la charge est plus élevée que dans les écoulements torrentiels en régime normal: elle varie entre 40 % et 70 % en poids (le pourcentage d'eau libre varie de 33 % à 0 %). Les mécanismes de support des sédiments sont principalement la flottation et la turbulence. Si la vitesse du fluide décroît, les particules les plus grossières se déposent. Nous sommes dans le cas de la Saltina lors de la crue du 24 septembre 1993 ou lors de crues mineures.

Debris flows, mud flows (lave torrentielle)

Dans les coulées de débris, la charge en matériaux transportés augmente encore; à partir d'un certain seuil, le comportement du flux change à nouveau: les particules sont en contact permanent et les interactions entre les grains sont très fortes; l'eau et les particules solides se déplacent ensemble et à la même vitesse, comme un seul et même corps, et ne peuvent pas être séparées (écoulement monophasique), alors que dans les flux normaux et hyperconcentrés, l'eau et les particules solides restent des composantes séparées dans le fluide, avec la possibilité de se déposer séparément si la vitesse du flux diminue[98]. Dans le cas des laves torrentielles, l'écoulement est de type laminaire; la charge en matériaux est forte: la charge solide varie entre 70 % et 90 % en poids (0 % d'eau libre). Dans les laves torrentielles, la densité de la masse en mouvement est comprise entre 1,80 g/cm^3 et 2,30 g/cm^3, alors que la densité d'un flux d'eau transportant du sédiment (régime torrentiel normal) est comprise entre 1,01 g/cm^3 et 1,33 g/cm^3 et que celle d'un écoulement hyperconcentré est comprise entre 1,33 g/cm^3 et 1,80 g/cm^3; du fait de la faible différence de densité entre les éléments supportés dans la coulée et le fluide lui-même, la force de flottation joue un grand rôle lors du transport des sédiments dans les coulées de débris et les coulées de boue; à celle-ci s'ajoutent les forces d'interaction entre les grains liées aux chocs des particules entre elles. Le comportement du flux est alors «visco-plastique». En général, dans une lave torrentielle, la concentration solide du mélange décroît depuis le front de la coulée vers l'arrière, et, à partir d'un certain point, l'écoulement n'est plus monophasique mais passe à un écoulement hyperconcentré[99]. Comme exemple actuel de lave torrentielle, nous citerons le cas de la coulée de Glis-Holzji en août 1995, documentée et échantillonnée quelques jours après son dépôt (fig. 20 à 22).

Dans un système de lave torrentielle, on peut généralement distinguer, du point de vue morphologique[100], de l'amont vers l'aval: un chenal d'écoulement fortement incisé, un chenal non incisé, bordé de levées à fronts externes raides puis à l'aval une coulée lobée qui perturbe en général peu le substrat qu'elle recouvre; l'écoulement s'effectue par vagues successives (bouffées). Le front de la coulée renferme une plus grande concentration de blocs que le reste de la coulée où les éléments grossiers incorporés sont fréquemment redressés. Après la phase de déclenchement, les matériaux constitutifs des laves torrentielles vont se propager dans le chenal d'écoulement en y abandonnant des dépôts et en incorporant d'autres matériaux accumulés dans le lit ou arrachés aux berges. L'écoulement par bouffées, qui conduit à de très forts pics de débit, résulte entre autres de la présence d'un front grossier, d'un gradient de vitesse hétérogène au sein de la coulée, des variations de la

98 Costa 1988.

99 Coussot 1996.

100 Francou 1988; Johnson et Rodine 1984.

configuration du chenal, d'une réalimentation en matériaux solides pendant la propagation et accroît considérablement la force d'impact [101]. Quand le front atteint le cône de déjection, le matériau s'étale et la lave s'arrête en formant un lobe [102].

L'aspect théorique, développé par Ph. Coussot [103], avait été abordé précédemment par Johnson [104]. Ce dernier a proposé un modèle rhéologique pour expliquer le comportement des matériaux dans les coulées de débris: c'est le *Coulomb-viscous model*. La coulée est constituée d'une masse centrale (le «radeau») qui se déplace de manière rigide à vitesse constante sur un soubassement à écoulement laminaire où la vitesse décroît de façon parabolique vers la bordure. La vitesse est nulle à la base et sur les bords de la coulée, expliquant le fait que les éléments recouverts par la coulée ne sont en général pas perturbés, les cisaillements ayant lieu entre la masse centrale à comportement rigide et la couronne périphérique à écoulement laminaire. Lorsque la pente décroît, la vitesse de la coulée diminue; la couronne périphérique à écoulement laminaire diminue d'épaisseur. Quand cette couronne périphérique n'existe plus, suite à une trop forte diminution de la pente en aval, la coulée s'immobilise. Une coulée constituée de 80 % à 90 % de particules solides s'arrête sur des pentes de 5 à 10 degrés. De façon théorique, il est possible de définir une relation entre «l'épaisseur critique» et «l'inclinaison critique» de la coulée, seuils à partir desquels la masse de matériaux se met en mouvement ou se stabilise.

D'après les derniers auteurs cités, les mécanismes d'initiation des coulées sont de deux types:

- glissement de terrain incorporant progressivement de l'eau dans la masse de débris;
- «effet de tuyau d'arrosage» *(fire hose effect)*: un courant d'eau se déplaçant à grande vitesse rencontre une masse de débris dans laquelle il dissipe son énergie en la dispersant dans la masse.

La vitesse de déplacement des laves torrentielles varie selon la pente, de plusieurs mètres par seconde dans les parties amont des bassins où la pente est forte (0,5 m/s à 10 m/s dans la partie principale de l'écoulement), à des vitesses nulles sur les cônes de déjection, de pente beaucoup plus faible [105].

Les laves torrentielles se déclenchent lorsqu'un ensemble de conditions critiques se trouvent réunies; celles-ci dépendent de plusieurs facteurs: la pente, la forme et les dimensions de l'impluvium, la lithologie, l'état de couverture du terrain, la pluviométrie, etc. [106]:

- *lithologie du substrat*: la présence de matériaux facilement mobilisables (moraines, matériaux d'anciens glissements de terrain, alluvions, marnes) lors des forts ruissellements est un facteur propice au déclenchement des coulées de débris. À Gamsen, la lithologie (importante quantité de matériaux tassés et écroulés du flanc du Glishorn) présente un contexte favorable à la formation de laves torrentielles;
- *relief*: forts dénivelés et forte pente dans la partie amont de l'impluvium, ce qui est le cas pour le site de Gamsen (pente de la corniche: 50° à 55°);
- *état de couverture du terrain*: rareté du couvert végétal, impact anthropique sur le bassin versant (défrichement, incendies);
- *contexte climatique*: les laves torrentielles sont en règle générale déclenchées par des précipitations avec fortes intensités horaires [107]. Le seuil horaire d'intensité minimal de déclenchement est fonction du contexte: en milieu périglaciaire (présence de pergélisol), il sera beaucoup plus bas (de l'ordre de 2 mm) qu'en milieu tempéré (de l'ordre de 8 mm à 10 mm). D'autre part, il faut mentionner le jeu combiné de précipitations pluvieuses et de fontes de neige tardives dues à des enneigements exceptionnels en altitude, entraînant une saturation en eau des matériaux [108]. Les périodes de réchauffement climatique sont en général propices aux déclenchements des laves torrentielles si la partie amont de l'impluvium est dans la frange

101 Bardou 2002; Remaître 2006.

102 Remaître 2006.

103 Coussot 1996.

104 Johnson et Rodine 1984.

105 Coussot 1996, 1997 a, 1997 b.

106 Tricart 1961; Francou 1988; Bertran et Coussot 2004.

107 Rapp et Strömquist 1976; Francou 1988.

108 Gex 1924; Tricart 1961; Haeberli et Naef 1988.

de limite altitudinale du pergélisol, le recul de celui-ci favorisant alors le dégagement de grandes masses de matériaux instables dans les couloirs (cas de Poschiavo aux Grisons, du Münstigertal et du Gerental dans la haute vallée de Conches en 1987 [109]). La formation de retenues temporaires d'eau et de matériaux solides sur le cours du torrent et la rupture brutale de celles-ci [110] constituent souvent une étape intermédiaire entre la mobilisation progressive des matériaux et le déclenchement de la coulée proprement dite.

Pour expliquer le processus de mobilisation d'une lave torrentielle, certains auteurs [111] mettent l'accent sur le fait qu'il faut dissocier, d'une part, les prédispositions du bassin versant (prédispositions de base + prédispositions variables), d'autre part, les événements déstabilisants (précipitations exceptionnelles, fonte des neiges); c'est la conjonction des deux variables (prédispositions variables et événements déstabilisants) qui créera le déclenchement du processus.

Granular flow ou grain flow (écoulement granulaire)
Il s'agit d'un flux de particules sans cohésion. Le comportement fluidal de la masse en mouvement n'est plus dû dans ce cas à la présence d'eau (qui ne joue plus qu'un rôle très marginal) mais à la transmission de l'énergie cinétique par les impacts répétés des grains entre eux durant l'écoulement [112]; ces flux granulaires peuvent se produire aussi bien en milieu subaquatique (chenaux sous-marins par exemple [113]) qu'en milieu subaérien [114]; ce sont par exemple les avalanches de débris, les éboulements à fort déplacement et les écroulements rocheux, pouvant se déplacer à grandes vitesses et sur de longues distances [115]. Les coulées sèches sont d'extension géographique plus modeste (pieds de corniches, etc.).

2.2.1.2 Les mouvements lents de colluvionnements et les déplacements superficiels de matériaux sur de faibles distances

Les déplacements de matériaux sur de faibles distances jouent une part importante dans l'évolution morphologique du terrain sur le site de Gamsen, principalement dans certains contextes morpho-sédimentaires, tels que les cônes (domaines B, C et D) et les anciennes berges de la Gamsa (domaine G) où les colluvions prennent une place importante dans les processus de déplacement et d'accumulation de matériaux, surtout aux périodes contemporaines et postérieures aux habitats protohistoriques et historiques. Ces mouvements de déplacement des matériaux sous l'action de la gravité sont la conséquence de la conjonction de plusieurs facteurs tels que la variation des conditions d'ensoleillement et de température tout au long de l'année, les précipitations (à forte ou faible intensité horaire), l'amplitude thermique journalière, les cycles journaliers de gel/dégel, mais également tels que les modifications de la quantité et de la qualité de matériaux facilement mobilisables liées aussi bien à des phénomènes naturels (nappes d'épandage de dépôts de ruissellement et laves torrentielles) ou anthropiques (déblais de talus), les modifications de la pente et de la qualité du couvert végétal, conséquences également soit de phénomènes naturels (front de coulées de débris), soit d'activités humaines (terrassements).

La mise en place des colluvions peut faire intervenir des mouvements lents qui s'opèrent au cours de cycles répétés (cryoreptation, formation de *pipkrakes*, etc., voir *infra*) et des mouvements plus rapides, mais occasionnels et restreints quant à leur amplitude spatiale, entraînant des déplacements de petites quantités de matériaux sur quelques mètres au maximum (ruissellements). Dans le contexte du site de Gamsen, on pourra retenir les processus potentiels suivants:
- *la cryoreptation (ou gélireptation* [116]*)*: celle-ci est la conséquence du gonflement cryogénique de l'eau interstitielle contenue dans le sol en surface; ce gonflement

109 Haeberli et Naef 1988.
110 Haeberli et Naef 1988; Coussot 1997a et 1997b.
111 CREALP, pp. 1 sqq.
112 Francou 1988.
113 Middleton et Hampton 1976; Selley 1988.
114 Pierson et Costa 1987.
115 Lhénaff 1996.
116 Birot 1981.

correspond à une expansion de 9 % du volume d'eau. Le gonflement sera donc proportionnel à la quantité d'eau que renferme le sédiment. L'expansion se fait perpendiculairement à la surface lors des cycles de gel; pendant les cycles de dégel, la cohésion se relâche et les particules se rabaissent selon la verticale. Comme dans le cas des *pipkrakes*, le déplacement est donc fonction de la pente. D'après P. Birot [117], c'est la classe granulométrique des limons qui est la plus favorable à ce type de mouvement alors que la formation des *pipkrakes* est favorisée dans les sédiments de texture à dominante sableuse;

- *la formation de pipkrakes* («aiguilles de glaces»): les mouvements de particules à la surface du sol liés au phénomène des *pipkrakes* se produisent lors des cycles journaliers gel/dégel sur des sols gorgés d'eau, même dans les régions tempérées [118]. Sur le site de Gamsen, en ubac, ces cycles sont fréquents principalement au début du printemps et à la fin de l'automne, lorsque le nombre d'heures d'ensoleillement est restreint à cause de la configuration du relief du Glishorn (fig. 12); la présence de *pipkrakes* y a été observée à maintes reprises. Quand le sol est humide (printemps avec la fonte des neiges, automne), des aiguilles de glace de ségrégation, alimentées par des phénomènes de capillarité, soulèvent de quelques millimètres à plusieurs centimètres des petites pierres perpendiculairement à la surface du sol; lors de la fonte de ces aiguilles de glace, ces éléments retombent en fonction des lois de la gravité: en cas de dégel très rapide, la chute de la particule lui confère une énergie cinétique et elle retombe, non pas à la verticale, mais plus en aval. Le déplacement est fonction de la pente du terrain (il sera d'autant plus grand que la pente est raide), de la longueur des aiguilles de glace de ségrégation, du nombre de cycles de gel/dégel, de la taille des particules soulevées. S'il y a répétition d'un grand nombre de cycles journaliers de gel/dégel, le déplacement superficiel de matériaux peut devenir important. P. Höllermann [119] a montré que ce sont les éléments de taille comprise entre 3 cm et 4 cm qui sont susceptibles de subir les plus forts déplacements (de l'ordre de 40 cm par an). D'après B. Van Vliet-Lanoë [120], les mouvements sensibles vers l'aval des particules soulevées se font sentir surtout pour des pentes supérieures à 20 degrés. Notons que sur le site de Gamsen, et en particulier dans la zone d'habitat protohistorique et historique, bien que la pente générale du terrain sur les cônes soit de l'ordre de 8° à 10°, des aires localisées de pente assez forte (de l'ordre de 25 à plus de 35° se rencontrent, en particulier à l'emplacement des talus amont de terrasse et des remblais aval;
- *la saltation pluviale*: la saltation pluviale (mécanisme du *splash*) se produit par l'impact des gouttes de pluie sur les particules fines d'un sol dénudé, principalement sur terrain sableux; les particules sont éjectées radialement autour de l'impact. L'impact des gouttes provoque la rupture des agrégats du sol [121]. Sur un terrain en pente, il se produit un déplacement des particules vers l'aval dû au fait que la proportion des grains éjectés vers l'aval est plus grande que celle des grains éjectés vers l'amont (avec un maximum pour des pentes avoisinant 26 degrés) et que la trajectoire des premiers est plus grande que celle des seconds [122];
- *le ruissellement*: celui-ci se produit au cours des averses lorsque la perméabilité du terrain ne lui permet plus de recevoir toutes les précipitations; les eaux pluviales se rassemblent en petites rigoles aux trajectoires qui peuvent se modifier à chaque précipitation ou peuvent, durant de courts laps de temps, constituer des nappes (écoulement en nappe). Les particules de la taille des limons seront susceptibles d'être mises en suspension par une tranche d'eau de quelques millimètres seulement [123] et déplacées sur des distances plus ou moins grandes. Les conditions de transport des particules sont complexes: mélange de particules en suspension et d'éléments de taille plus forte en saltation et tractés sur le fond [124];

117 Birot 1981.

118 Birot 1981; Van Vliet-Lanoë 1988; Bertran et Coutard 2004.

119 Höllermann 1978.

120 Van Vliet-Lanoë 1988.

121 Lenoble 2003.

122 Birot 1981.

123 *Ibid.*

124 Bertran et Texier 1997.

- *le fauchage*: le fauchage est une déformation superficielle du sol liée à la gravité (déversement de la partie superficielle du terrain vers l'aval). Quelques exemples ont pu être observés sur le site (déversement vers l'aval des trous de piquet et des calages de poteau). Le fauchage peut résulter de mouvements lents de déplacement en masse dus au gel;
- *l'impact anthropogène*: l'activité humaine directe et indirecte (déplacement des personnes, piétinement par les troupeaux, dénudation du sol lors de terrassements et d'aménagements divers, etc.) entraîne des déplacements aléatoires de matériaux de différentes tailles qu'il est difficile d'évaluer.

Tous les processus de mouvement lent qui viennent d'être décrits sont susceptibles de créer de sensibles perturbations de la position initiale du matériel archéologique, d'autant plus qu'une partie des processus mentionnés (*pipkrake*, cryoreptation) s'applique particulièrement bien à des éléments plats comme des tessons de céramique ou certains fragments osseux. Il convient d'ajouter à ces mouvements lents d'amont vers l'aval les bioturbations qui créent des brassages du sol, pour lesquels la composante verticale n'est pas négligeable[125].

La question des colluvions sera à nouveau abordée plus loin et replacée dans un contexte dynamique et chronologique précis lors de l'étude du cône est de Waldmatte (chap. v, pp. 108 sqq.).

125 Balek 2002; Canti 2003.