

Cartographie des formations superficielles. Réactualisation des principes de représentation à 1/50 000 *

*Mapping of superficial deposits
updating of the principles of 1:50,000 scale maps*

Patrick LEBRET ⁽¹⁾, Michel CAMPY ⁽²⁾, Jean-Pierre COUTARD ⁽⁵⁾,
Jackie FOURNIGUET ⁽¹⁾, Michel ISAMBERT ⁽³⁾, Jean-Pierre LAUTRIDOU ⁽⁴⁾,
Pierre LAVILLE ⁽¹⁾, Jean-Jacques MACAIRE ⁽⁵⁾, François MÉNILLET ⁽¹⁾, Robert MEYER ⁽⁶⁾

Mots-clés : Cartographie, Formation superficielle, Base données, Tableau codage.

Résumé

De nombreuses activités humaines (aménagement, gestion de l'environnement, agriculture, urbanisation) font appel à la connaissance du sous-sol proche, domaine des formations superficielles. La conjonction de l'évolution des techniques d'archivage, de conception et d'impression des données cartographiques (cartes digitalisées, SIG, restituteurs graphiques haute-définition) et l'achèvement proche de la couverture complète de la carte géologique de la France à 1/50 000 ont justifié qu'un groupe de travail réactualise les principes de cartographie des formations superficielles. En outre, un tableau numérisable destiné à la confection de banques de données associées aux contours cartographiques est proposé pour les formations superficielles. Ce tableau encore expérimental est destiné à préparer la cartographie de demain, particulièrement la révision des cartes anciennes et les différents usages thématiques possibles effectués à partir du document de base qu'est la carte géologique.

Abstract

Many human activities, such as land-use and environmental development, agriculture or urban growth, need good knowledge of the first few metres of the geological substratum, which generally consist of superficial formations. The conjunction of the arrival of new computerized techniques for data storage, map making and printing (map digitizing, GISs and high-definition graphic restitution), with the imminent completion of the 1:50,000-scale geological map coverage of France, justified the creation of a working group for updating the techniques of mapping superficial formations, techniques that were first laid down in 1975. Moreover, a table of descriptors with lexical lists is proposed for such formations. This table will serve to create databases associated with map contours, leading to easy digitizing of thematic data associated with specific map legends. The experimental table also aims at preparing the mapping of tomorrow, in particular the revision of out-of-date maps and the creation of thematic maps that are based on geological data from maps.

Note de la rédaction. Ce projet de nouvelle note d'orientation de la cartographie des formations superficielles résulte des réflexions menées, à mi-parcours, par un groupe de spécialistes encadrant, mais aussi participant directement à un projet de recherche lancé

directement à cette fin par la Direction Scientifique du BRGM, en complément direct à la cartographie géologique « régulière » à 1/50 000 de la Basse-Normandie.

Après une large discussion, le Comité de la Carte géologique, en sa séance du 25 novembre 1993, a

* Manuscrit définitif reçu le 2 décembre 1993.

(1) SGN, BRGM, BP 6009, avenue de Concy, 45060 Orléans Cedex 2.

(2) Centre des Sciences de la Terre, URA 157 du CNRS, 6 boulevard Gabriel, 21000 Dijon.

(3) INRA, Service d'étude des sols et de la carte pédologique, 45160 Olivet.

(4) CNRS, Centre de Géomorphologie, rue des tilleuls, 14000 Caen.

(5) Laboratoire de Géologie des Systèmes Sédimentaires, Faculté des Sciences et Techniques, Parc de Grandmont, 37000 Tours.

(6) Laboratoire de Géologie, Université de Rouen, 76821 Mont-Saint-Aignan Cedex.

accepté ce texte provisoire et en a recommandé une large diffusion, de manière à enregistrer les critiques et observations, avant d'instituer la note d'orientation définitive.

La rédaction de Géologie de la France est fière de présenter un texte destiné à orienter la cartographie de demain du territoire national.

Indépendamment, cette note scientifique présente une mise au point concernant les formations superficielles, définition générale, définition des termes, problèmes de chronologie... qui devrait concerner tout lecteur non spécialiste.

Les critiques, observations, commentaires doivent être normalement adressés à l'auteur principal, sinon aux rédacteurs de la revue qui transmettront.

Introduction

Au cours des années soixante, à l'occasion des grands plans d'aménagement du territoire lancés alors, les divers spécialistes de la géodynamique de surface ont ressenti le besoin de disposer de cartes complétant la carte géologique traditionnelle qui n'était le plus souvent qu'un écorché des formations du substratum. A cette époque, de nombreuses réflexions ont été consacrées à la cartographie des dépôts récents (quaternaires surtout) et des formations superficielles. Ces études méthodologiques ont été à l'origine de la confection expérimentale de divers types de cartes concernant les formations superficielles qui étaient alors intégrées dans une thématique spécifique de l'origine de chaque cartographe : cartes géomorphologiques (CNRS, Laboratoires universitaires de Géographie physique), carte des formations superficielles (CNRS, BRGM), cartes géotechniques (LPC, BRGM), cartes pédologiques (INRA) etc. A la suite de ces expériences, divers programmes de cartographie à grande échelle de la France, le plus souvent à 1/50 000, ont été envisagés par plusieurs organismes (BRGM, CNRS, INRA, LPC,...). A ce jour, hormis le lever de la Carte géologique de la France à 1/50 000 qui se poursuit, seule la carte pédologique fait toujours l'objet d'un programme national en cours de réalisation, mais sa poursuite a été étroitement liée à une révision de la conception des cartes (passage à 1/100 000, implication des structures départementales à la réalisation de l'inventaire archivé auprès des stations agronomiques). L'abandon des diverses voies envisagées dans les années 60 peut être attribué à leur coût important (presque autant d'opérations de lever et d'impression que de types de carte) mais aussi à leur inadaptation aux besoins de l'ensemble des utilisateurs : cartes trop complexes, échelles inadaptées, thématique trop large ou trop restreinte selon l'utilisateur visé.

Les réflexions menées alors ont toutefois montré la nécessité d'intégrer les formations superficielles (sans exclure les altérites) aux cartes géologiques à 1/50 000 de la France. L'implication de ces dépôts dans les diverses activités humaines étant reconnue, la carte géologique devait s'adapter à l'expression de cette demande des utilisateurs. Depuis cette période, les formations superficielles sont de plus en plus prises en compte lors du lever des cartes géologiques. Accompagnant ces réflexions méthodologiques sur la réalisation des cartes, un guide de travail a été édité par le BRGM (1975) à

destination des cartographes de la Carte géologique de France à 1/50 000. Ce guide, dont la plupart des principes restent valables, devait cependant être actualisé pour tenir compte de l'expérience acquise depuis vingt ans et alimenter des SIG (Systèmes d'Information Géographique) qui ouvrent des horizons nouveaux quant aux produits cartographiques futurs : carte des formations superficielles, banques de données cartographiques, serveurs de données thématiques, modalités d'impressions adaptées au cas par cas.

Afin d'accompagner cette évolution, la direction scientifique du BRGM a initié un projet de recherche sur les formations superficielles en complément au programme de cartographie géologique à 1/50 000 de la Basse-Normandie.

Cette proposition de nouvelle note d'orientation est le résultat des réflexions du groupe de spécialistes constitué à cette fin.

Principes de cartographie des formations superficielles : réactualisation des notes d'orientation

La fonction de la carte géologique est double : présenter une synthèse actualisée et détaillée de la géologie d'une région et fournir un outil exploitable par les utilisateurs du sous-sol. A ce titre, les formations superficielles doivent non seulement être prises en compte mais bénéficier d'une codification fonctionnelle et aisément compréhensible par un non spécialiste.

Définition des formations superficielles

Le terme « formations superficielles » s'applique à une large gamme de formations géologiques. Si cette notion est implicite pour beaucoup de géologues, plusieurs définitions sont proposées (Dewolf, 1973 ; Faure, 1978 ; Campy et Macaire, 1989). Le groupe de travail a donc décidé de présenter une définition qui reflète l'expérience des collaborateurs (internes ou externes au BRGM) au lever de ces formations pour les cartes géologiques :

« Les formations superficielles apparaissent en surface sous l'influence de l'action météorique. D'origine continentale, meubles ou secondairement consolidées, ces formations résultent de la désagrégation physique (clastites) et/ou de l'altération chimique de roches pré-existantes. Elles peuvent rester en place sur la roche-mère (formations autochtones), être déplacées sur de courtes distances (formations sub-autochtones), être remobilisées par les agents de la géodynamique de surface (gravité, glace, eau, vent) et secondairement déposées (formations allochtones), et être exceptionnellement enfouies.

D'épaisseur métrique à pluri-décamétrique, exceptionnellement hectométrique, elles sont en relation avec la topographie actuelle. Eventuellement déconnectées de celle-ci et parfois exhumées, des paléo-formations superficielles (bauxites, altérites tertiaires etc.) révèlent des paléosurfaces.

Sous l'effet de la pédogenèse, la partie supérieure des formations superficielles peut évoluer en sols dont l'organisation a ses règles propres ».

Ainsi restituées dans leur cadre, les formations superficielles apparaissent non seulement comme des formations géologiques à part entière mais aussi comme le lieu de nombreuses activités humaines, sources de matériaux exploitables et roches-mères de nombreux sols. Elles doivent être vues comme un capital à gérer et à préserver. Enfin, leur position d'interface entre le sol et le substrat géologique les place sur le cheminement des eaux d'infiltration : elles peuvent intervenir alors tantôt comme filtres des pollutions superficielles, tantôt comme écran imperméable et participent à la protection des aquifères sous-jacents. Dans certains cas, elles constituent elles-mêmes des aquifères superficiels (altérites, alluvions...).

Choix des formations superficielles cartographiées

La définition même des formations superficielles impose à la communauté géologique de les prendre davantage en compte dès l'acquisition des données indispensables à l'inventaire cartographique. Suite aux nombreux débats sur la cartographie des formations superficielles, un consensus tenant compte des divers utilisateurs de la carte géologique de la France à 1/50 000 se développe peu à peu. De plus en plus, substrat et formations superficielles sont conjointement imprimées sur une même feuille, ce qui impose le délicat problème de perception des formations du substrat très largement masquées. Ce compromis n'est pas toujours satisfaisant, mais le respect des règles édictées depuis 1975 permet généralement une restitution conjointe du substratum géologique et des formations superficielles. Enfin, la carte géologique étant un document pour les techniciens du sol et du sous-sol, doit être de lecture accessible à de nombreux professionnels aux spécialités variées.

La représentation des formations superficielles doit respecter trois notions :

– **Extension** : doivent être cartographiées (ou mentionnées dans la notice) les formations superficielles qui masquent suffisamment le substrat pour conditionner la nature des sols et les activités humaines. Elles doivent être aisément localisées par le lecteur qui regarde la carte. Les premiers critères de représentation sont une surface suffisante (1 ha) et une épaisseur minimale (0,60 m). Leur représentation doit refléter la réalité de terrain comme celle des autres formations géologiques.

– **Signification** (affleurement-clé) : leur présence, même restreinte, apporte parfois une clé à la connaissance scientifique, principalement quant à l'évolution géodynamique (signification géomorphologique, chronostratigraphique...) des territoires cartographiés. Certains lambeaux de ces formations, négligeables en extension, mais qui sont des éléments clés pour la connaissance de l'évolution continentale d'une région doivent être cartographiés en utilisant une notation ponctuelle symbolisée.

– **Utilisation** : leur rôle économique (matériaux, substances utiles, aspects géotechniques) peut justifier la représentation d'informations ponctuelles malgré une extension très limitée de la formation géologique concernée, a priori non cartographiable à l'échelle considérée.

Parmi ses vocations, le Comité de la Carte géologique de France doit s'assurer de la bonne représentation des formations superficielles lors de la remise des cartes nouvellement levées.

Mode de représentation des unités cartographiques

Plusieurs modes de représentation peuvent être employés. Le compromis que chaque auteur estime nécessaire entre la représentation du substrat et celle des formations superficielles peut s'inscrire dans les principes énoncés en 1975 (BRGM, 1975) qui gardent toute leur valeur. Grâce aux SIG, il est désormais possible de fournir, à moindre frais que naguère, des documents cartographiques en tirage limité, avec un choix de teintes, de surcharges ou de symboles adaptés à une demande spécifique : le problème de coexistence entre substrat et surface peut apparaître moins sensible qu'auparavant. Par contre, ces nouvelles possibilités impliquent une plus grande rigueur dans la prise en compte des formations superficielles : la qualité des produits thématiques dérivés dépend directement de la qualité des leviers réguliers dont ces produits sont issus.

Couleurs

Dans le cadre du programme de lever géologique régulier à 1/50 000, la plupart des couleurs sont utilisées pour représenter l'âge ou la lithologie du substrat ; la gamme courante de coloris disponibles pour les formations superficielles est donc très limitée :

- bleu-gris : alluvions
- ocre : dépôts de versants et loess
- parme : certaines allotérites
- bleu pale : dépôts littoraux exondés
- jaune clair : dépôts éoliens
- teinte du substrat atténuee : isaltérites.

Dans certains cas particuliers, ce sont les teintes caractéristiques du substrat associées à des motifs qui permettent une différenciation des formations superficielles. C'est le cas, par exemple, pour indiquer le matériau dont dérive la formation superficielle (cas de Saint-Bonnet-de-Joux-n° 601), la teinte de base des colluvions est complétée de points correspondant à la couleur de la formation géologique dont elles dérivent. Inversement, on peut aussi indiquer de cette manière la nature du substrat dans le cas de formations superficielles peu épaisses (cas de Fismes-n° 131). Plusieurs autres types de représentations existent : points de la couleur des formations superficielles, hachures de couleur, voire croisillons ; l'expérience montre que ces dernières formules sont à proscrire car peu lisibles.

Surcharges

Pour préciser un faciès au sein d'une unité cartographique, les surcharges complètent l'information délivrée par la carte géologique et pallient le peu de couleurs mis à la disposition du géologue pour représenter les formations superficielles dans l'édition courante. Une surcharge doit être considérée comme équivalente à un caisson à part entière, ce qui impose qu'elle corresponde à une aire dont les limites équivalent à celles de contours et qu'une description spécifique doit être faite dans la légende et la notice de la carte.

Dans le cas de sédiments résiduels, dont l'affleurement est trop réduit ou trop mal délimité pour justifier d'une enveloppe particulière, un symbole utilisant les figurés des surcharges permet de transmettre l'information sous forme d'une indication ponctuelle : une poche de sable est souvent représentée par quelques petits points rouges en surcharge sur la teinte du substrat.

Dans la mesure du possible, il est fait appel aux figurés consacrés par l'usage :

| | |
|--|--|
| | Marnes |
| | Tourbes |
| | Argiles |
| | Limons |
| | Sables |
| | Galets |
| | Blocs |
| | Blocs de conglomérats ou de brèche |
| | Fragments de roches carbonatées |
| | Fragments de roches siliceuses (meulières par ex.) |
| | Silex intacts |
| | Silex fragmentés |
| | Chailles |
| | Allotérites ou isaltérites de roches grenues |
| | Concréctions et fragments ferrugineux |
| | Matériaux variés, souvent grossiers, non ordonnés |

Ce répertoire suffit dans la plupart des cas, même si localement il peut être enrichi pour des cas particuliers. Ces surcharges sont généralement imprimées en noir mais peuvent l'être en bleu ou en rouge pour exprimer des différences géologiques (ex : blocs de grès et blocs de poudingues). La tendance à réserver le rouge pour les faciès siliceux doit être généralisée, les mêmes figurés en bleu étant à réserver aux faciès carbonatés.

Contours

Il est souvent malaisé de délimiter une formation superficielle par rapport à une autre (une altérite, un dépôt de versant et des alluvions qui en dérivent par ex.) ou par rapport à un substrat (une altérite par rapport à sa roche-mère). D'autre part, il peut être utile de matérialiser un contact entre deux formations du substrat sous un masque de formations superficielles.

A l'expérience des cartes déjà éditées, il apparaît que trois types de représentation du contact suffisent :

_____ : trait continu : le contact est net et bien reconnu entre les deux formations (superficielles ou du substrat) ;

- - - - - : trait discontinu à tiretés longs : contact masqué ou supposé.

Ce trait doit matérialiser le contact entre deux formations géologiques masqué par des formations superficielles

- - - - - : trait discontinu à tiretés courts : ce trait doit être utilisé pour séparer deux formations superficielles dont la limite graduelle est toujours difficile à appréhender.

La définition des traits utilisés sur une carte devra systématiquement être explicitée dans la légende de la carte par un petit caisson approprié.

Age des formations superficielles

La carte géologique à 1/50 000 de la France a choisi l'âge comme premier moyen de discrimination des formations géologiques. La plupart des terrains anté-quaternaires peuvent faire l'objet d'une datation validée (respect du « code » Hedberg, 1979) qui les inclut dans l'échelle stratigraphique.

Les formations superficielles sont le plus souvent azoïques, aphitiques (sans éléments d'origine végétale) et généralement dépourvues d'éléments pouvant être l'objet de datations radiométriques. Leur âge est impossible à préciser en dehors d'un cadre chronologique trop large (Dépôts quaternaires, Néogène...) et insatisfaisant pour les échelles de temps à considérer (10^5 à 10^3 ans) qui ont subi de nombreux événements climatosédimentaires liés aux cycles glaciaires.

Les quaternaristes pallient actuellement cette difficulté de datation chronostratigraphique par une approche lithostratigraphique régionale fine dont la philosophie générale a été exprimée au colloque de stratigraphie du Quaternaire à Dijon en 1979 (*in* Chaline et coll., 1980). Ces approches régionalisées ont déterminé, dans de nombreuses régions de France (y compris les DOM-TOM : Prost, 1990 ; Wong, 1986), des échelles lithostratigraphiques fiables mais qui ne doivent être utilisées que dans le cadre géographique de leur définition (ex : loess du NW de la France, alluvions de l'Adour, du Sud-Ouest du bassin de Paris, dépôts glaciaires et fluvioglaciaires des Alpes ou du Jura). L'expérience de terrain montre toutefois que les formations superficielles peuvent être regroupées en grands ensembles :

- l'Holocène, ou post-glaciaire ;
- le Pléistocène supérieur qui couvre le dernier cycle climatique (dernier interglaciaire et dernier glaciaire) ;
- un ensemble de formations plus anciennes que le dernier cycle mais qui s'intègrent dans une même logique morpho-stratigraphique et qui sont souvent rapportés au Pléistocène moyen ;
- un ensemble de dépôts déconnecté du système morpho-stratigraphique actuel, pour lequel il n'y a pas de datation mais dont l'état de conservation et les caractéristiques géomorphologiques permettent de les intercaler entre deux événements bien datés dans un cadre régional mieux connu (cas des formations de plateaux à gélifractes ou d'épandages alluviaux postérieurs à des sites pliotériens datés par une faune marine par exemple). Ces ensembles sont généralement attribués au Pléistocène inférieur.

– enfin, le dernier regroupement qui existe de fait est représenté par des matériaux qui peuvent s'être mis en place depuis le Tertiaire jusqu'au Pléistocène ancien. Leur dénominateur commun est en général l'association d'un dépôt déconnecté du système morpho-stratigraphique récent, l'absence de traces de l'influence syngénétique de climats froids et des marques d'altérations importantes (rubéfaction, argilisation, etc.).

La difficulté d'attribuer une datation précise aux formations superficielles réside également dans le fait que les chronologies générales proposées sont multiples et que le cartographe a le choix entre plusieurs synthèses chronoclimatiques.

Géographiquement tout d'abord, les auteurs du Nord de la France prennent habituellement pour référence la chronologie dite « nordique ». Elle a été établie à partir des fluctuations des glaciers de l'inlandsis nord-européen pour les trois dernières glaciations (Weichselien, Saalien, Elstérien) et à partir des forages dans la plaine côtière des Pays-bas pour les périodes plus anciennes du Quaternaire et du Pliocène (Zagwijn, 1985 ; 1989). Les bonnes conditions de sédimentation et la préservation exceptionnelle de grandes séquences de dépôts faisant alterner les formations continentales et marines confèrent à la synthèse chronologique proposée une très bonne validité. Elle semble peu à peu devenir une référence pour l'Europe (Suc et Zagwijn, 1983) et est utilisée aussi en Corse ou dans les DOM-TOM (Pannetier et al., 1991). Ce cadre stratigraphique a été enrichi et précisé pour le Pléistocène supérieur par l'étude des longues séquences lacustres de l'Est ou du Sud-Est de la France (Woillard, 1978 ; Beaulieu and Reille, 1984 ; Pons et al., 1989 ; Reille et al., 1990). Cette échelle est actuellement révisée par les scientifiques allemands (Krutzsch, 1988) qui soulignent à juste titre que l'échelle nordique reste une juxtaposition de faits observés sur des sites différents et nécessite des modifications.

La chronologie dite « alpine » fondée sur les travaux du début du siècle (Penk et Brückner, 1901-1905) et établie à partir des fluctuations glaciaires du domaine circum-alpin (glaciations dites du Würm, Riss, Mindel, Günz, Biber, Donau) est l'autre échelle chronostratigraphique utilisée en France (y compris DOM-TOM : Battistini et Hinschberger, 1985 ; 1989 ; Battistini et al., 1986). Ainsi que l'a exprimé H. de Lumley (Lumley, 1976), la signification des termes a évolué depuis leur définition initiale de 1905 et a nécessité des réactualisations multiples (Renault-Miskovsky, 1992). La réalité de terrain montre que cette échelle reste adaptée à la cartographie dans les Alpes (Monjuvent et al., 1990 ; Mandier, 1984).

Les corrélations entre chronologie « nordique » et chronologie « alpine » ne posent pas trop de problèmes en ce qui concerne le dernier cycle climatique (Würm = Weichselien, Eémien = Riss/Würm), mais pour les périodes plus anciennes, les corrélations sont encore incertaines. Ceci vient en partie du fait que la zone circum-alpine a moins bien enregistré la sédimentation que la plaine côtière du Nord de l'Europe et les séquences sédimentaires y sont trop érodées et incomplètes.

Par ailleurs, la chronologie du Plio-Pléistocène est venue s'enrichir dans les dernières décennies de deux systèmes de références très fiables mais souvent difficiles à appliquer pour la datation des formations superficielles :

– l'échelle paléomagnétique est maintenant connue avec une bonne précision pour les derniers millions

d'années (Cox et al., 1968 ; Mankinen et Dalrymple, 1979). Les périodes de sens du champ magnétique dites « normales », c'est-à-dire comparables au champ magnétique actuel (périodes Gauss, Brunhes) alternent avec les périodes de sens du champ magnétique dites « inverses » (période Matuyama). Trois de ces périodes alternent depuis 3,4 millions d'années. Périodiquement des « événements » plus courts sont représentés par de brusques inversions. C'est actuellement l'inversion à 1,65 Ma associée à l'arrivée de foraminifères froids en Méditerranée (coupe de Vrica) qui fait la limite entre Tertiaire et Quaternaire (historique in Conchon, 1992). Cette limite correspondrait au début de l'Eburonien de l'échelle nordique. Une partie de la communauté scientifique française, ainsi que les stratigraphes d'Europe du Nord préfèrent une conception du Quaternaire plus longue, commençant par la dégradation climatique majeure du Prétiglien, vers -2,4 Ma. Cette limite n'est pas entérinée par une commission stratigraphique officielle mais il nous a paru justifié de l'évoquer, les scientifiques précités utilisant implicitement ce concept dans leurs synthèses régionales.

– l'échelle isotopique est basée sur le rapport des isotopes de l'oxygène dans les séquences marines (Shackleton et Opdyke, 1976) et a été utilisée pour définir la chronostratigraphie de l'Ouest canadien et de Saint-Pierre-et-Miquelon (Grant, 1989 ; Courbouleix, Rabu et coll., en préparation). Ce rapport varie avec la quantité de glace stockée sur le continent et reflète aussi le climat global. Les fluctuations de ce rapport indiquent de nombreuses variations climatiques au cours du Quaternaire, environ un cycle tous les 100 000 ans. Ces variations ont été comptabilisées sous forme de « stades isotopiques », les numéros impairs correspondant aux phases « tempérées » à faible quantité de glace continentale et les numéros pairs correspondant aux périodes « froides » à forte quantité de glace continentale. La corrélation de ces stades isotopiques avec les chronologies continentales « nordiques » ou « alpine » a été proposée (Kukla, 1977 ; Zagwijn, 1989) et fait apparaître la difficulté à établir une concordance entre enregistrement marin et enregistrement continental (y compris les zones où ne sont enregistrés que les maximum transgressifs, tel le pourtour de la Méditerranée, Keraudren, 1992). Le premier propose beaucoup plus d'oscillations climatiques que le second au cours du Quaternaire. Il faut admettre que cette discordance est liée à un problème de discontinuités de la sédimentation donc de l'enregistrement (Campy et Macaire, 1989). La sédimentation continentale présente des hiatus beaucoup plus nombreux que la sédimentation marine et de ce fait de nombreuses phases climatiques n'y sont pas enregistrées. Ces hiatus sont néanmoins aussi importants que les dépôts, ils fournissent entre autre une information importante sur les phases d'érosion qui modèlent le paysage.

Du fait des difficultés à dater précisément les formations superficielles et en raison de l'absence d'un cadre chronostratigraphique unique, le principe de cartographie de ces formations en fonction de leur mode de mise de place sera maintenu.

Le souci de l'auteur sera de faire part de ses hypothèses d'âge dans la notice en faisant explicitement référence (bibliographie) à l'échelle chronostratigraphique qu'il a utilisé, en restant objectif sur la validité de cette attribution chronologique.

Dans l'état actuel des connaissances, nous proposons deux tableaux chronostratigraphiques : l'un cou-

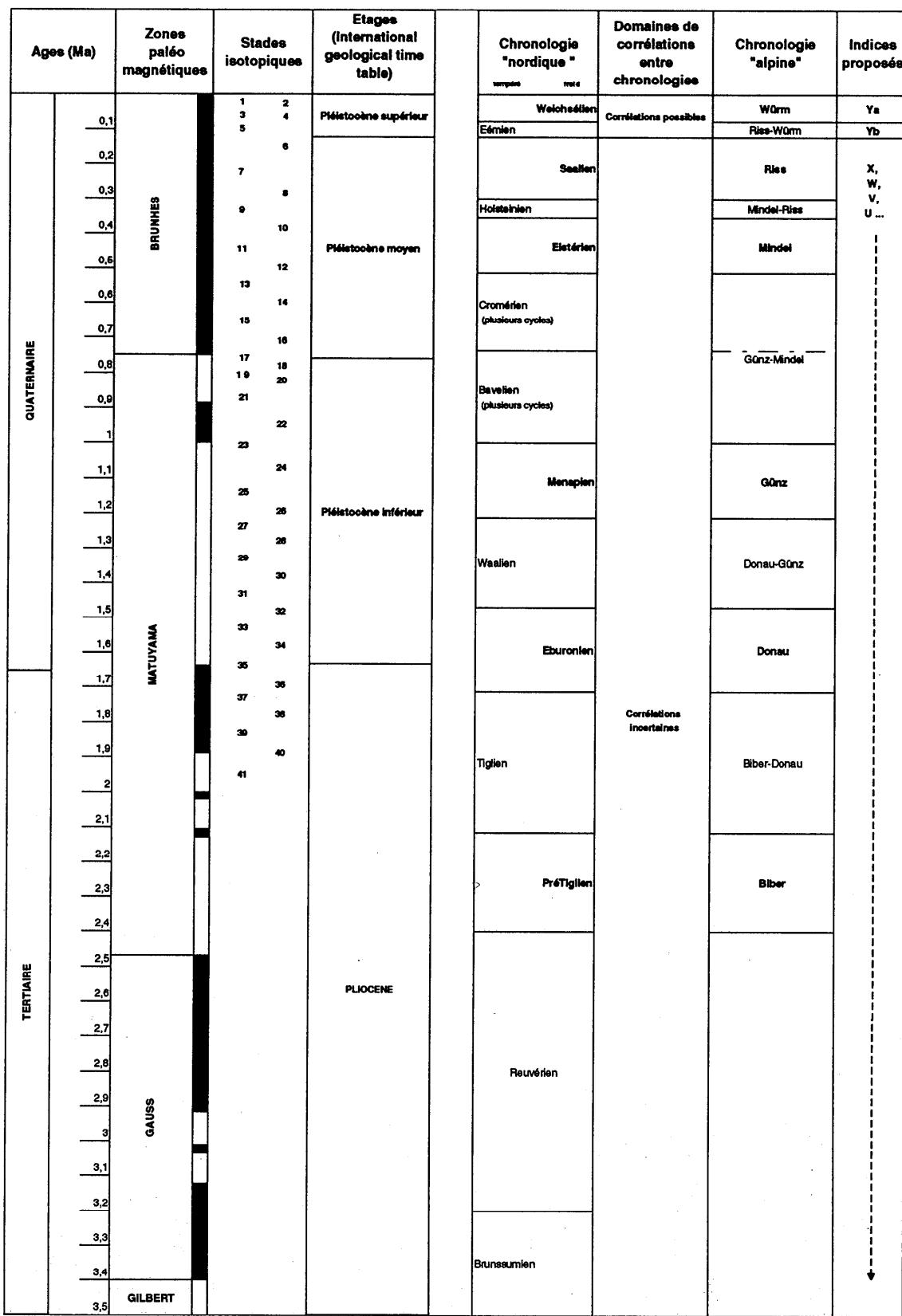


Fig. 1. – Tableau chronologique synthétique des derniers trois millions d'années. Concordance chronologique entre les zones paléomagnétiques, les stades isotopiques (colonne de gauche : stades tempérés ; colonne de droite : stades froids). La chronologie nordique (épisodes tempérés à gauche, épisodes froids à droite) et la chronologie alpine (même disposition : phases glaciaires en gras à droite, phases interglaciaires à gauche) sont présentées avec mention des corrélations possibles. La limite entre Pliocène et Pléistocène inférieur est conventionnellement placée au début de l'inversion paléomagnétique à 1,64 Ma (cf. Conchon, 1992). Pour des raisons de lisibilité, l'Holocène n'est pas figuré sur ce tableau.

Fig. 1. – Compilation table of the chronology of the last 3 Ma. Relationships between palaeomagnetic zones, isotopic stages (left: temperate stages, right: glacial stage). « Nordic » chronology (left: temperate periods, right: cold periods) and « Alpine » chronology (right: glacial periods, left: interglacial periods) are presented with acceptable correlations. The boundary of the Quaternary, between the Pliocene and Early Pleistocene, is placed over the palaeomagnetic inversion at 1.64 Ma (cf. Conchon, 1992). The Holocene has been omitted to increase legibility of the table.

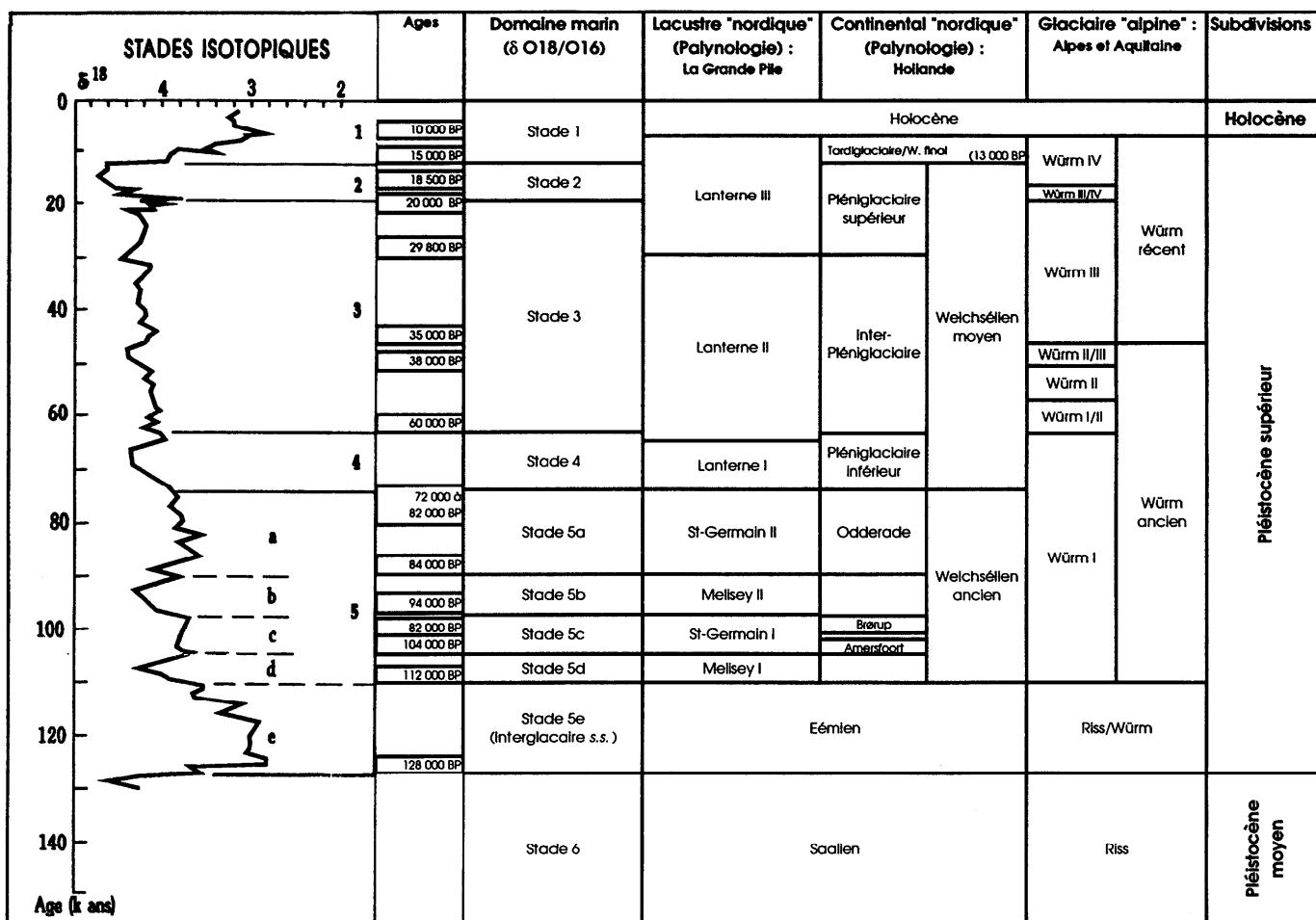


Fig. 2. – Tableau chronologique du Pléistocène supérieur :

Les stades isotopiques marins ont été corrélés avec les phases climatiques identifiées par la palynologie dans les longues séquences continentales lacustres de la Grande Pile dans les Vosges et des Echets près de Lyon (Woillard, 1978 ; Beaulieu et Reille, 1984), dans la nomenclature « nordique » (Zagwijn, 1989 ; 1992) et dans la nomenclature « alpine » (Laville et al., 1983, Renault-Miskovsky, 1992) complétées de quelques âges (Guiot et al., 1989 ; Petit-Maire, 1992) encore source de discussions.

Le stade isotopique 5 est subdivisé en une phase interglaciaire s.s. (5e) correspondant à l'interglaciaire Eémien (chronologie nordique) ou Riss-Würm (chronologie alpine) et en plusieurs phases alternativement froides (5d phases et 5b identifiées en France à la Grande Pile ou aux Echets) et plus tempérées (5c et 5a également identifiées à la Grande Pile et aux Echets). Ces 4 phases constituent le Préglaciaire (ou glaciaire ancien). Deux stades sont particulièrement froids et correspondent à deux avancées des glaciers : le Pléniglaciaire inférieur (stade isotopique 4) et le Pléniglaciaire supérieur (stade isotopique 2). Entre les deux, une période moins froide, présente une série de petites fluctuations climatiques : c'est la phase Interpléniglaciaire (stade isotopique 3). Le Postglaciaire est classiquement divisé en Tardiglaciaire (de 15 à 10 ka BP) qui reste rattaché au Pléistocène et l'Holocène.

Fig. 2. – Time table of the Late Pleistocene :

Deep sea isotopic stages are correlated to climatic phases identified by palynology on the long lacustrine sequences of la Grande Pile, Vosges and les Echets, near Lyons; (Woillard, 1978; Beaulieu et Reille, 1984), « Nordic » table (Zagwijn, 1989; 1992) and the « Alpine » table (Laville et al., 1983, Renault-Miskovsky, 1992), completed with some other dates (Guiot et al., 1989; Petit-Maire, 1992).

Istotopic stage 5 is divided in to a strictly interglacial phase (5th) corresponding to the Eemian period (Nordic table), equivalent of the Riss-Würm (Alpine table), and four phases that were alternatively cold (5d and 5b identified in France at La Grande Pile and les Echets) and temperate (5c et 5a also identified in the same places). These 4 stages constitute the Early glacial. Two phases were very cold, corresponding to ice-sheet maxima: the Lower Pleniglacial (stage 4) and Upper Pleniglacial (stage 2) separated by a longer cooler period: the interpleniglacial (stage 3). The Postglacial time is usually divided into Tardiglacial (15 to 10 ka BP) attached to the Pleistocene and the Holocene.

vraint les trois derniers millions d'années (fig. 1), l'autre le dernier cycle climatique (depuis -120 000 ans, fig. 2).

Ces deux tableaux présentent des incertitudes dont nous sommes conscients. Les auteurs de la présente note n'ont pas la prétention de fournir ici un tableau chronostratigraphique du Plio-Quaternaire en France (y compris DOM-TOM). Ces deux tableaux sont à utiliser comme une aide à la rédaction des cartes et notices

pour les auteurs qui ne disposent pas de tableaux chronostratigraphiques ou lithostratigraphiques régionaux.

Principes de notation

Ce chapitre définit les notations principales qui vont accompagner un caisson coloré ou une notation ponctuelle. Ces notations renferment une information

d'ordre génétique (notation principale en grandes capitales), de faciès (indice en petites capitales), d'origine (notation de la roche-mère en indice) et d'âge (indice) à droite de la notation principale. Il est nécessaire de se limiter à peu d'indices mais d'indiquer dans le titre de légende de chaque entité une information d'ordre strictement lithologique ou éventuellement lithologique et morphologique.

ex : D_y : Champs de dunes de sables du Pléistocène supérieur.

Cs_z : Colluvions silto-argileuses holocènes issues de dépôts périglaciaires.

Notation principale

Dépôts artificiels, remblais : X

Cette notation s'applique à tous les dépôts directement liés à l'activité de l'homme, qu'ils résultent d'un transport ou d'un remaniement sur place. Dans cette catégorie, on rangera les mouvements de terre importants effectués pour un aménagement (voies ferrées, aménagements portuaires, endiguements, etc.), les gravats ou les déchets des activités de l'homme.

L'auteur des leviers géologiques pourra éventuellement distinguer les remblais de nature inconnue, les haldes et terrils de mines, les dépôts de gravats ou d'ordures, etc., par différents indices (X₁, X₂, X₃, X₄, etc.), surtout lorsque ceux-ci présentent un intérêt économique ou un risque potentiel (pollutions, problèmes de fondations).

Sont exclus de cette dénomination les dépôts dus à l'action indirecte de l'homme qui sert alors de facteur de déclenchement ou d'accélération : résultat de l'érosion des sols, mouvements de terrain déclenchés par de grands travaux, etc. Ces phénomènes généralement ponctuels seront repérés par un signe approprié (note n° 8, BRGM, 1975).

Altérites : A

Sous ce terme sont regroupées toutes les roches résiduelles provenant de l'altération météorique d'un substrat. Cette altérite peut avoir conservé l'aspect des structures (grain, texture, fissuration) de la roche originelle, on parlera alors d'« isaltérite », ou avoir subi des transformations texturales (tassemements, perturbations liées au départ de matière par dissolution) et/ou minéralogiques importantes (argilification ou autres néogénèses minérales) par rapport à la roche originelle, on parlera alors d'« allotérite ».

La notation adoptée pour ces dépôts est un A (A en écriture anglaise). Son usage peut être modulé en x A pour une isaltérite développée aux dépens de la formation x, ou en A x pour une allotérite développée aux dépens de la formation x. Généralement, ces altérites sont indurées par un ou deux composants (Fe-Al, Si-Fe, P-Ca, etc.) et peuvent être relativement anciennes (Meyer, 1987 ; Laville et Lajoinie, 1979).

Formations superficielles consolidées : C, S, I, B, U, P

Ce sont les formations superficielles qui ont été secondairement indurées par des processus de précipi-

tation biologiques et/ou chimiques. Suivant les cas, ces indurations apparaissent en surface, de manière diffuse sur tout le profil d'altération ou dans les horizons profonds. Elles sont le plus souvent associées à des altérites ou des sols d'où provient la matière précipitée. L'usage a consacré la dénomination en « crête » correspondant à la chimie dominante du précipité (Meyer, 1987). Une lettre majuscule permet de préciser les principaux cas de figure : Calcrètes - C, Silcrètes - S, Ferricrètes - I, Alcrètes (Bauxites par ex.) - B, Travertins - U, Autres - P.

Eboulis : E

Accumulation de fragments rocheux dont le déplacement est principalement régi par la gravité. Leur granularité est toujours grossière (blocs à mégablocs), parfois accompagnée d'un peu de matrice. Un indice complémentaire peut indiquer la présence éventuelle d'une matrice ou d'un ciment carbonaté (Ec), siliceux (Es), etc.

La dénomination générique des éboulis pourra être plus précise que le symbole et renverra aux détails correspondants dans la notice. Les progrès récents des connaissances sur ces formations permettent désormais de distinguer de nombreux types d'éboulis (de gravité, d'avalanches, ruisselés, soliflués, fluants, soufflés, stratifiés, règlants - Francou, 1988 ; Francou et Hetu, 1989). Toutes les précisions associées à ces divers types devront être commentées dans la notice.

Dépôts de versants : S

Généralement mis en place sous climats périglaciaires (glaciations quaternaires) sur les versants, leur mode de mise en place fait appel à des processus divers liés au gel-dégel de l'eau libre du matériau (gélification, gélifluxion, fauchage, cryoreptation) et se caractérise à l'échelle du versant par un déplacement faible et lent des matériaux au cours d'une phase climatique froide. En France métropolitaine, la presque totalité des formations superficielles qui nappent les versants appartiennent à cette famille de dépôts mis en place sous climats périglaciaires (Lautridou, 1985).

On distingue principalement :

- Les grèzes, groizes, graveluches, presles, arènes litées... qui se caractérisent par des éléments calibrés, généralement petits (centimétriques au plus) et un litage seront notés SG (Francou, 1988 ; Francou et Hetu, 1989).
- Les formations hétérométriques, massives ou pseudo-litées, riches en matrice provenant de la gélifluxion d'altérites ou de loess et dont la granularité moyenne diminue du haut vers le bas du versant seront notés SH. Les heads appartiennent à cette famille.
- Les cônes d'éboulis lités constitués d'éléments de taille limitée (décimétriques au maximum) que l'on rencontre en milieu montagnard sont le plus souvent des dépôts d'origine périglaciaire, même si la gravité participe à leur mise en place. Dans ce cas, la notation SE pourra être utilisée.

- Enfin, presque tout le territoire de la France métropolitaine a connu la succession « dynamique périglaciaire des versants pendant la dernière période glaciaire et stabilisation holocène ». La reprise sous forme d'un colluvionnement en surface des dépôts périglaciaires de versant justifie la notation SC.

Les fentes de gel ou les formes de cryoturbation de grandes tailles (format des fentes à préciser dans la notice) méritent d'être signalées par un signe conventionnel adapté :

V : Fente de gel (Une mention dans la notice accompagnera le symbole et décrira le format, la nature du remplissage (remplissage primaire de glace ou de sable) et la fréquence de répartition de ces fentes.

~ : Cryoturbations. La cryoturbation existe partout en Europe. Seules des formes de grande taille (> 2 m), pédagogiques ou représentatives des formes de la région cartographiée pourront être ponctuellement signalées. Leur description rapide dans la notice indiquera l'élément important à prendre en compte.

Colluvions : C

Dépôt de bas de versant généralement fin, mis en place par ruissellement diffus et transportés sur de très faibles distances. Elles se distinguent généralement des alluvions par l'absence ou le faible développement des structures générées par le ruissellement (le litage est rare et diffus) et par le contexte géomorphologique local : le fond d'une petite vallée sèche en est souvent couvert tandis que les limons de débordement des grands fleuves appartiennent sans équivoque aux alluvions malgré leur absence fréquente de structures sédimentaires. Ce terme ne doit pas être utilisé comme un « fourre-tout » pour désigner des formations superficielles dont on ne connaît pas l'agent de mise en place.

Colluvions et alluvions étroitement associées : CF et FC

Dépôts qui regroupent les termes intermédiaires entre colluvions et alluvions vraies. Lors du lever des cartes géologiques à 1/50 000, l'expérience a montré la nécessité de maintenir deux classes descriptives d'évolution de l'amont vers l'aval dans les dépôts de fond de vallon. Nous conseillons toutefois aux auteurs de matérialiser sur les cartes une limite (que l'on sait approximative) entre les différents faciès de ce continuum.

Dépôts glaciaires - Tills : G

Cette dénomination s'applique à l'ensemble des sédiments dont la mise en place a pour origine le transport par la glace de matériaux variés en domaine continental. Les habitudes françaises font souvent désigner ces formations par des appellations de type géomorphologique (ride morainique, drumlin,...). Le choix de caractériser les formations superficielles à partir de leur faciès, impose de remplacer ces appellations par des termes sédimentologiques. Le terme international « till » utilisé pour désigner l'ensemble de ces formations serait sans doute le mieux approprié. Le terme de « moraine » peut à la rigueur être utilisé comme équivalent bien qu'il ait souvent, dans l'esprit de nombreux géologues et géomorphologues, un sens géomorphologique. Les tills (ou moraines) présentent de nombreux faciès en fonction du lieu de leur mise en place par rapport à la glace : till de base (= moraine de fond ~ basal till), till d'ablation (= moraine d'ablation ~ ablation till)), till sous glaciaire (= moraine sous glaciaire ~ waterlain till) (Campy et Macaire, 1989). La nécessité de distinguer ces faciès en

cartographie (intitulé de la formation) réside dans la variabilité de leurs propriétés géotechniques et hydrogéologiques dont la connaissance est indispensable en géologie appliquée.

Dépôts fluvio-glaciaires : FG

Ce terme regroupe les dépôts dont l'origine mixte (glaciaire et fluviatile) ne permet pas d'individualiser un agent de transport dominant. Les dépôts mis en place sur ou sous les glaciers (kames, eskers, alluvions de torrents sous-glaciaires), au front du glacier (rides morainiques) et les dépôts fluviatiles généralement très grossiers en aval des glaciers entrent dans cette catégorie. Les précisions concernant leur contenu et leur signification paléoclimatique devront être mentionnées dans la notice.

Cônes de déjection simples ou coalescents : FJ

Ce sont des accumulations d'origine torrentielle qui se présentent souvent en forme d'éventail élargi vers l'aval. Les sédiments sont généralement constitués de matériaux très hétérométriques (silts à mégablocs) arrachés aux versants et transportés sur de faibles distances. Les cônes proglaciaires appartiennent à cette catégorie. Leur association avec un ensemble de dépôts glaciaires identifié devra être mentionnée en notice.

Dépôts fluviatiles : F

Dépôts de cours d'eau, fins à grossiers mais généralement triés, qui ont fait l'objet d'un transport suffisant pour en avoir enregistré les effets : émussé des éléments, structures sédimentaires ou contexte morphologique (limons de débordement sans structures par ex.).

Dans les grandes vallées (Rhin, Rhône, etc.), on pourra distinguer les silts et argiles d'inondation, les remplissages argileux et organiques des bras morts ou les zones sablo-graveleuses de barre. Ces faciès ne justifieront d'un caisson spécifique que s'ils sont délimités sur la carte. Sinon, l'auteur se limitera à des notations ponctuelles accompagnées de précisions dans la notice.

Le terme « terrasse » est strictement morphologique et ne doit pas être utilisé pour décrire le sédiment. Il doit être remplacé dans la légende par un titre faisant mention du dépôt et rapporté à un niveau altimétrique relatif local (= cote altimétrique du sommet du remblaiement holocène), par exemple :

Fy : Alluvions (silts) weichséliennes, à + 2 m au-dessus du fond de la vallée.

Fx : Alluvions grossières pléistocènes à + 15 m au-dessus du fond de la vallée.

Chaque auteur pourra mentionner dans la notice les niveaux alluviaux qui forment une terrasse dans la morphologie sur les flancs de la vallée et devra expliquer les corrélations qui existent entre les niveaux alluviaux reconnus et ceux décrits sur les cartes adjacentes.

Dépôts lacustres : L

Cette notation regroupe l'ensemble des dépôts continentaux sédimentés dans les lacs ou étangs : sédiments détritiques de diverses granularités, craies etc. Tous ces dépôts répondent en modèle réduit, à la même logique

d'organisation sédimentaire que les bassins marins. Souvent difficiles à cartographier en détail à 1/50 000, on pourra y distinguer des deltas d'origines diverses, des aires de sédimentation terrigène fine dominante ou de précipitation bio-chimique dominante. Cette notation s'applique essentiellement à des dépôts récents, à l'exclusion des grands bassins continentaux anciens (Trias germanique, dépôts oligo-miocènes de Beauce, etc.).

Tourbes : T

Sédiment de zone palustre presque exclusivement composé de résidus végétaux évoluant à la base vers des faciès charbonneux (lignites par exemple).

Sables éoliens : D

Dépôts dont la granularité dominante est sableuse et dont l'agent de transport principal est le vent (transport principal par saltation). Ces sables peuvent être organisés en systèmes dunaires ou se présenter sous forme d'un ensemble relativement homogène sans morphologie typée (ex. sables de couverture du nord de la France, des Landes). La notion de dune, champ de dunes ou épandage sableux devra apparaître dans la légende du caisson cartographique.

Ce symbole identifie les zones où les galets éoliens sont fréquents. Leur mention sur une carte doit s'accompagner d'un texte descriptif (format, aspect, nature pétrographique) dans la notice.

Limons éoliens, loess : OE

Dépôts sédimentaires détritiques meubles, souvent homogènes et massifs, carbonatés ou non. Leur spectre granulométrique très particulier appartient à la classe des silts (2 à 50 µm). La suspension dans l'air est leur mode dominant de transport.

Dans les régions périphériques aux bassins de loess ou dans la partie basse de certains versants, les loess sont associés à d'autres formations : altérites, gélifractis, dépôts de versants, sables éoliens. Nous considérons que toute formation superficielle composée à plus de 50 % de silts éoliens doit être classée dans le groupe des loess (un commentaire approprié en notice précisant la nature plus complexe du sédiment).

Projections volcaniques : V

Ensemble des dépôts initialement meubles mis en place par projections lors d'éruptions volcaniques (cendres, lapillis, blocs et coulées boueuses associées). Une description détaillée (minéralogie, type d'éruption, corrélation avec un événement volcanique identifié quand c'est possible) devra apparaître clairement dans la notice. Dans le cas de projections corrélées à un épisode volcanique, on utilisera la même teinte pour cet événement et ses dépôts. Cette notation s'applique essentiellement à des dépôts récents, tertiaires ou quaternaires, en situation de formations superficielles associées à un épisode volcanique.

Dépôts marins et littoraux exondés : M

De nombreux sédiments d'origine marine littorale, actuellement exondés et généralement de faible extension, souvent mal conservés et mal datés, sont rattachés

aux formations superficielles. Sont rangés dans cette famille, les cordons de galets résiduels, les plages fossiles, les sédiments fins à faciès réduit (anciens slikkes ou shorres, sédiments d'anciens platiers) ainsi que les sédiments déposés à l'interface fleuve-océan (prismes d'estuaires).

La lettre M permet le regroupement de ces dépôts dont la classe granulométrique dominante (argiles, silts, sables, graviers, cailloux, blocs) devra apparaître dans le titre de légende.

Epandage complexe d'interfluve ou de plateau : H

Sédiments trop complexes pour être rangés dans un caisson : cette dénomination est réservée à des cas régionaux dont les modes de mise en place sont discernables mais trop complexes et/ou trop imbriqués pour pouvoir être rangés dans une des classes précitées. La variété des agents de dépôt doit être explicitée dans la notice qui accompagne la carte.

Ex. : les limons de Beauce occidentale sont le mélange d'une altérite de calcaire, d'un dépôt de versant péri-glaciaire et de limons éoliens sans qu'aucun de ces modes de mise en place ne puisse être considéré comme dominant.

Formation superficielle sans attribution génétique possible : A

Cette dénomination est réservée à des dépôts dont l'origine géodynamique n'est pas connue. Dans ce cas, le terme utilisé en légende de carte devra insister sur le ou les paramètres lithologiques les mieux adaptés à leur identification : granularité, pétrographie, chimie, etc.

Cette notation ne devra être employée qu'exceptionnellement.

Indices subordonnés

Origine lithologique des matériaux

L'indice subordonné signale l'origine des matériaux et/ou la chronologie de certaines formations. Il se présente sous la forme d'un indice associé à la notation principale. Pour éviter une notation indiciaire trop complexe (indice d'origine lithologique plus indice chronologique), il apparaît judicieux de limiter cette indexation à une famille de formations superficielles de même âge et de même origine génétique mais dont la variabilité lithologique dépend étroitement de la lithologie d'un substrat.

Par exemple :

Ee₅¹ : éboulis weichséliens alimentés par des calcaires lutétiens

Ee₅² : éboulis weichséliens à matrice fine alimentés par des calcaires lutétiens.

Ee : éboulis alimentés par des sédiments éocènes.

EIII : éboulis alimentés par des sédiments tertiaires.

Pour les autres formations dont une notation indiciaire existe (âge), l'auteur se contentera de mentionner l'origine des matériaux dans le titre de légende de l'unité ou dans la notice, par exemple :

Fxa1 : Alluvions saaliennes (Vosgiennes) : niveau à + 15 m

Fxa2 : Alluvions saaliennes (Rhénanes) : niveau à + 13 m

Indices chronologiques

Au vu des difficultés d'utilisation d'une échelle chronostratigraphique unique pour les formations superficielles, nous proposons une notation en indices qui permette à tout auteur ne sachant pas à quel système local se référer, de pouvoir renseigner sa carte. Cette simplification vise à restreindre les trop grandes variations de notation et d'indices qui existent entre deux cartes pour une même formation. Nous proposons les notations suivantes :

- **z** : indice à réservé pour l'Holocène.
- **ya** : indice à réservé pour le Pléistocène supérieur froid (dernier cycle glaciaire).
- **yb** : indice à réservé pour le Pléistocène supérieur chaud (stade isotopique 5).
- **x, w, v, u** etc. : pour les dépôts antérieurs complétés d'un chiffre séquentiel (1,2,3...) quand il est nécessaire de subdiviser un ensemble en plusieurs formations. Quand l'âge d'une formation est connu, l'auteur devra le signaler en mentionnant explicitement l'article qui donne le cadre chronologique auquel il se réfère.

L'adjonction d'un indice **a** pour les formations de climat « froid » et **b** pour les formations de climat « chaud » (= tempérées) nous apparaît utile.

Une formation datée devra par contre être mentionnée précisément dans la légende. Dans ce cas, l'auteur devra indiquer explicitement dans la notice, l'échelle stratigraphique utilisée en mentionnant l'article auquel il se réfère.

Exemples :

Fz : Alluvions holocènes.

Fya : Alluvions weichséliennes/würmien.

Fyb : Alluvions éémien/Riss-Würm.

Fxa1 : Alluvions périglaciaires (Saalien) : niveau à + 10 m au-dessus de l'étiage actuel.

Fxb1 : Alluvions tempérées (Saalien) : niveau à + 10 m au-dessus de l'étiage actuel.

Fwa1 : Alluvions périglaciaires (Pléistocène moyen) : niveau à + 20 m au-dessus de l'étiage actuel.

Fva : Alluvions périglaciaires (Pléistocène moyen) : niveau à + 20 m au-dessus de l'étiage actuel.

pva : Alluvions (Pliocène : Prétiglien).

ou (niveaux froids ou tempérés) :

Fxa : Alluvions anciennes périglaciaires : niveau + 20 m au-dessus de l'étiage actuel.

Fxb : Alluvions anciennes tempérées : niveau à + 20 m au-dessus de l'étiage actuel

ou (aucune date connue, système emboité d'âge relatif) :

Fxa1 : Alluvions anciennes périglaciaires : niveau à + 20 m au-dessus de l'étiage actuel

Fxb1 : Alluvions anciennes tempérées : niveau à + 20 m au-dessus de l'étiage actuel

Fxa2 : Alluvions anciennes périglaciaires : niveau à + 20 m au-dessus de l'étiage actuel.

Fwa1 : Alluvions anciennes périglaciaires : niveau à + 30 m au-dessus de l'étiage actuel.

Fwb1 : Alluvions anciennes périglaciaires : niveau à + 30 m au-dessus de l'étiage actuel.

Fv : Alluvions anciennes : niveau à + 40 m au-dessus de l'étiage actuel.

Fb : Alluvions anciennes tempérées sur interfluves.

Fa : Alluvions anciennes périglaciaires sur interfluves.

En ce qui concerne les paléoformations superficielles (bauxites, phosphorites, certains kaolins, etc.), l'origine génétique de la formation superficielle considérée sera

placée à droite de la notation principale qui répond aux règles de notation des formations géologiques du substrat (note n° 2, BRGM 1975).

exemple : C1B : Bauxites de l'Albien

g1S : Poudingue silicifié à faune rupéenne.

Ces notations peuvent être attribuées à tous les types de formations superficielles rencontrées. Du fait du progrès des connaissances, l'auteur d'une carte devra clairement expliciter dans la notice les différences d'attributions chronologiques qui existent pour une même formation entre sa carte et les cartes voisines plus anciennes.

Indications d'épaisseur

Une grande attention doit être accordée aux indications d'épaisseur. Elles apportent des précisions sur les formations superficielles et leur substrat et sont d'un intérêt direct pour l'utilisateur des cartes. Les indications d'épaisseur peuvent être signalées de plusieurs manières.

La technique des lignes isopaques est la plus cartographique mais elle ne peut s'appliquer que pour des formations suffisamment continues et dont les variations d'épaisseur sont bien connues : c'est rarement le cas des formations superficielles. C'est pourquoi, il est souvent préférable de ne présenter qu'un semis de renseignements ponctuels mieux adaptés aux formations superficielles et aux moyens d'investigation du géologue cartographe. Les indications d'épaisseur sont alors portées sur un point de la carte à l'aide de chiffres et de notations de taille réduite, imprimées éventuellement en couleur (rouge, bleu...) pour éviter toute confusion avec la notation des formations imprimées en noir.

Un chiffre indique une épaisseur en mètres. Sans notation complémentaire (ex. 3,2), il se rapporte à l'unité cartographique qu'il surcharge. Un chiffre non souligné signale une épaisseur reconnue sans que le substrat ait été atteint. S'il est souligné (3,2), il indique l'épaisseur totale de la formation. Dans ce cas, la nature de la formation sous-jacente peut-être indiquée, qu'il s'agisse d'une autre formation superficielle (2,1/Fz) ou du substrat identifié (3,2/e5) ou reconnu uniquement par sa lithologie (2,1/~ où ~ = marne). Les données sur l'épaisseur de la formation sous-jacente sont signalées de la même façon que pour la formation affleurante, mais dans ce cas les chiffres doivent toujours être précédés d'une notation : 2,1/Fy4,5/C3. Ce moyen permet d'appréhender la troisième dimension. Un point d'interrogation suivant un chiffre d'épaisseur traduit alors l'imprécision d'un renseignement.

L'ensemble de ces informations doit être associé au point où les épaisseurs ont été mesurées. Une information d'ordre plus général sur l'épaisseur moyenne sera exprimée dans la notice de la carte lors de la description détaillée des terrains et dans le tableau descriptif proposé dans ce document.

Autres notations ponctuelles :
information ponctuelle, affleurement
remarquable, gîte fossilifère, archéologie

Bien que non spécifiques aux formations superficielles, ces différentes indications sont traditionnellement recueillies par les géologues qui les cartographient.

| <u>MOYEN-ÂGE</u> | <u>MÉGALITHES</u> |
|--|-----------------------------|
| + Site, substructions | ■ Dolmen |
| ■ Nécropole | ▲ Menhir |
| | ○ Polissoir |
| | |
| <u>GALLO-ROMAIN</u> | |
| □ Substraction ou site divers | <u>SIGNES DIVERS</u> |
| Villa (cour rectangulaire orientée, bâtiment principal signalé par un tiret) | ○ Enclos isolés |
| □ Substraction d'âge indéterminé, probablement gallo-romaine | △ Ensemble de petits enclos |
| | △ Tumulus |
| | ■ Palaffite |
| | □ grotte, abri. |
| | |
| <u>PROTOHISTOIRE et PRÉHISTOIRE</u> | |
| ◊ Site (âge du fer) | |
| ◊ Site (âge du bronze) | |
| Site d'âge intermédiaire (Ex. site de Vix, feuille Les Riceys n° 370) | |
| ◊ Site néolithique | |
| ◊ Site néolithique et paléolithique | |
| Sites paléolithiques | |
| ◊ 3 supérieur | |
| ◊ 2 moyen | |
| ◊ 1 inférieur. | |

Fig. 3. – Symboles réservés aux sites archéologiques.
Fig. 3 – Symbols used for Archaeologic sites.

Informations ponctuelles

Quelques observations ponctuelles méritent d'être mentionnées : Loupe de glissement, roches moutonnées, bloc erratique, surface striée ou poli glaciaire, effondrements d'origine anthropique ou naturelle, phénomènes karstiques, etc. Les symboles à utiliser pour ces informations sont précisés dans la note d'orientation n° 8 des notes d'orientation (pp. 155-191, BRGM 1975).

Affleurements remarquables et unités d'extension cartographique trop restreinte à 1/50 000

Pour les formations superficielles, les affleurements remarquables sont les coupes « clé » d'une carte et les sites ayant fait l'objet d'une étude spécifique qui devra être mentionnée dans la notice. On considère que les coupes « clé » sont les sites où sont bien visibles le ou les faciès lithologiques, l'organisation géométrique et/ou stratigraphique ou ceux dont l'âge de la formation superficielle est connu. Les symboles à utiliser sont définis dans la note n° 8 des notes d'orientation (pp. 155-191, BRGM 1975).

Gîtes fossilières

Les signes habituels (pp. 155-191, BRGM 1975) qui désignent les sites fossilières (macrofaune, microfaune, flore, etc.) marquent les sites qui ont livré une information paléontologique lors du lever de la carte ou d'après la bibliographie régionale. Comme les autres formations, les formations superficielles qui ont fourni de telles informations obéissent à ces règles, un commentaire en notice complétant la carte. L'auteur devra garder à l'esprit le problème du pillage des sites lors du choix des sites figurés sur la carte ou mentionnés précisément dans la notice.

Sites d'intérêt archéologique (fig. 3)

Pour éviter tout problème de pillage des sites archéologiques, il est judicieux d'interroger le Service Archéologique Régional (Direction Régionale des Affaires Culturelles - DRAC) correspondant au périmètre de la carte en cours de lever. Cette administration indiquera quels sites (table de symboles : fig. 3) doivent être mentionnés sur la carte géologique qui n'a pas vocation à se substituer aux cartes archéologiques.

Il apparaît par contre important d'informer le lecteur que l'archéologie est réglementée en France, provoque des contraintes d'aménagement (périmètres protégés par ex.) et que tout renseignement à ce sujet peut-être obtenu auprès du service compétent dont l'adresse pourra être mentionnée dans la notice de la carte géologique.

Substances utiles

La note d'orientation n° 8 « Légende technique » de la note d'orientation (BRGM, 1975) précise le mode de figuration des substances utiles provenant du sous-sol. Elle s'applique totalement pour celles qui sont liées aux formations superficielles.

Équivalence avec les cartes voisines

Pour les utilisateurs d'une carte, il est souhaitable de connaître les équivalences entre les objets de la carte réalisée et ceux des coupures voisines, nécessité d'autant plus sensible si les cartes éditées sont de générations différentes. Un tableau d'équivalence entre la notation des formations superficielles de la carte et les notations des cartes voisines déjà levées (huit cartes au maximum) devra être fourni dans la notice.

Tableau de description

Les progrès récents de l'informatique ont permis le développement des Systèmes d'Information Géographique (S.I.G.). Pour être efficaces, ces systèmes nécessitent que des banques de données géoréférencées soient renseignées afin de permettre des traitements et tris qui répondent aux besoins des utilisateurs. Pour les cartes géologiques, il est envisagé d'associer aux cartes digitalisées, des tables de descripteurs qui renseignent chaque objet graphique (trait, ligne, point). Ainsi, à chaque enveloppe, trait ou point remarquable peuvent être associées des informations lithologiques (s.l.), chronologiques, génétiques ou autre.

Il est apparu nécessaire de préparer cette évolution des cartes en réalisant, pour les formations superficielles, un tableau de descripteurs adapté à la fois aux réalités géologiques (concepts) et aux contraintes d'exploitation d'une telle banque de données.

Modalités de mise en œuvre

Dans cette optique, chaque carte géologique devrait être accompagnée du tableau de description des différents caissons de légende des formations superficielles (y compris chaque faciès individualisé) et éventuellement (au choix des auteurs) d'un tableau par coupe ou affleurement particulier, exceptionnels ou complémentaires, considérés comme notables par les auteurs de la carte.

Ce tableau n'est pas un équivalent de la notice qui apporte une information plus complète, plus détaillée, destinée à d'autres utilisateurs. Il constitue un niveau d'information directement digitalisable pour être exploité lors de travaux à caractère thématique à partir du serveur de données en cours de mise en œuvre au BRGM. A cet égard, il faut garder en mémoire que de tels descripteurs doivent le plus souvent être utilisés en association avec d'autres documents numériques : la carte géo-

logique digitalisée qui fournit les enveloppes des contours des entités décrites, le Modèle Numérique de terrain (MNT) diffusé par l'IGN qui permet des calculs sur la morphologie, l'ensoleillement, le croisement avec des données climatiques, hydrologiques, administratives, etc.

Son utilisation peut se faire de deux manières : soit manuellement lorsqu'elle est remplie par un collaborateur de la carte, soit par saisie directe avec un logiciel approprié (par exemple : système de saisie développé sous « Accès » sous environnement « Windows » en cours de réalisation).

Documenter ce tableau ne doit pas générer d'analyses complémentaires : les rubriques doivent être renseignées par les informations recueillies pour la réalisation de la carte. Il est donc réalisable à la remise d'une carte au CCGF.

Rubriques proposées (fig. 4)

Dans cette liste, les titres gras correspondent aux rubriques à renseigner. Les listes de mots proposés constituent un lexique « fermé » destiné à permettre des tris sans équivoque de vocabulaire. Ces lexiques sont considérés comme suffisants pour une exploitation en géologie appliquée des unités cartographiques ainsi décrites.

Éléments généraux : Ce sont des éléments de contexte sur la qualité de l'information géologique qui permettent à l'auteur d'une carte géologique de renseigner le tableau. Dans cette optique, la rubrique « conditions d'observations » concerne l'ensemble des affleurements qui ont permis la définition de la formation superficielle considérée.

- Nom de l'auteur :
- Nom scientifique de la formation : au choix de l'auteur, sur les bases du guide de rédaction de la notice.
- Nom régional ou vernaculaire : au choix de l'auteur (si cette formation a une appellation locale traditionnelle, par exemple, la craie s'appelle « marie » en Haute-Normandie, certains glaciers rocheux s'appellent « Clapiez » en Massif central).
- Conditions d'observation de la formation : forage destructif, forage carotté, affleurement naturel de bonne qualité, affleurement naturel de mauvaise qualité, affleurement artificiel de bonne qualité, affleurement artificiel de mauvaise qualité.
- Nombre d'observations (points géographiquement distincts indépendamment du nombre d'unités cartographiées) : < 5, 10, 50, 100 et plus (ces valeurs sont des ordres de grandeur).

Géométrie de la formation superficielle :

- Epaisseur moyenne visible (épaisseur moyenne enregistrée à partir des affleurements) : (m)
- Epaisseur maximum observée : (m)
- Epaisseur moyenne théorique probable : (m)
- Extension latérale : continue, discontinue
- Toit : formation affleurante, ou nom de la formation recouvrante
- Type de contact avec le substrat : inconnu, net et plan, net et irrégulier, diffus ou progressif
- Substrat : inconnu ou nom de la formation
- Structures sédimentaires. Les bancs ou lits (faisceaux) sont : homogènes (massifs), hétérogènes (sans organisation visible), en feuillets obliques, en feuillets horizontaux, en feuillets arqués.
- Structures post-sédimentaires visibles : fauchage, solifluxion, cryoturbation.

| RUBRIQUES | | RÉPONSES (Indiquez préprogrammés = liste de mots proposée) | |
|--|--------------------------|---|--|
| Éléments déterminants : | | | |
| Nom duuteur : | | | |
| Nom scientifique : | | | |
| Nom régional ou vernaculaire : | au choix de l'auteur | | |
| Conditions d'observation : | trouge déstructuré | trouge cardé (quantité approximative) | diffusément naturel de mauvaise qualité |
| Nombre d'observations : | | | diffusément artificiel de bonne qualité |
| Épaisseur moyenne visible : | mètres | | diffusément artificiel de mauvaise qualité |
| Épaisseur maximum observée : | mètres | | |
| Épaisseur moyenne théologique : | discontinue | | |
| Extention latérale : | continuée | | |
| Tot : | inconnu | non de la formation recouvrante | |
| Type de contact au substrat : | neut et plein | diffus ou disgrèsif | |
| Substrat : | inconnu | non de la formation | |
| Lithologie : | | | |
| Granularités dominantes : | Blocs | sables grossiers | sables fins |
| Variaibilité horizontale à l'échelle de l'affleurement : | peu variant | grainées | grainées |
| Variaibilité verticale à l'échelle de l'affleurement : | homogène | hétéroclite non ordonné | grainées et/ou fines |
| Variaibilité horizontale à échelle des centimètres : | homogène | hétérogène non ordonné, | variations latérales |
| Structures sedimentaires variables (listez tout) : | homogène (enfouissement) | hétérogène | en failles obliques |
| Structures post-sédimentaires variables (listez tout) : | tauchage | cryocalcifications | en failles horizontaux |
| Granularités appréciables : | | scission | |
| bloks : | très abondant (> 80%) | abondant (60 à 80%) | peu abondant (20 à 40 %) |
| cailloux : | très abondant (> 80%) | abondant (60 à 80%) | peu abondant (20 à 40 %) |
| graviers : | très abondant (> 80%) | abondant (60 à 80%) | peu abondant (20 à 40 %) |
| sables & graviers (0,8 à 2 mm) : | très abondant (> 80%) | abondant (60 à 80%) | peu abondant (20 à 40 %) |
| sables moyens (0,8 à 0,5 mm) : | très abondant (> 80%) | abondant (60 à 80%) | peu abondant (20 à 40 %) |
| sables fins (0,05 à 0,3 mm) : | très abondant (> 80%) | abondant (60 à 80%) | peu abondant (20 à 40 %) |
| silex - limons (0,02 à 0,05 mm) : | très abondant (> 80%) | abondant (60 à 80%) | peu abondant (20 à 40 %) |
| argiles (< 0,02 mm) : | très abondant (> 80%) | abondant (60 à 80%) | peu abondant (20 à 40 %) |
| coquilles : | très abondant (> 80%) | abondant (60 à 80%) | peu abondant (20 à 40 %) |
| coquilles : | très abondant (> 80%) | abondant (60 à 80%) | peu abondant (20 à 40 %) |
| Chimie générale du matériau : | siliceuse | minérale | minérale |
| Partie minéralogiques figurées : | % | | autre |
| Eléments figurés : | | | |
| nature pétro dominante : | calcaire | calcaire | calcaire |
| nature pétro accessoire : | non de la roche | argiles émaillées sur le schiste | argiles émaillées |
| nature pétro nombre de composants : | non de la roche | | |
| Matrice : granulo : | argile | limon | sable moyen |
| Matrice - minéralogie dominante : | quartz | siliceux | sable gréseux |
| Matrice - couleur : | non de couleur | couleur | couleur |
| Carbone : | oui non | | |
| Ferrugineuse : | oui non | | |
| Aluminosuse : | oui non | | |
| Gypaire : | oui non | | |
| Sulfure : | oui non | | |
| Autre : | oui non | | |
| Minéral - minéralogie dominante : | siliceux | siliceux | siliceux |
| Minéral - couleur : | Marsall | | |
| Interprétation géologique : | | | |
| Contexte climatique du dépôt : | Rombeai | Alluvies | Dépôts fluviatiles |
| Age proposé : inconnu ou connu | glaçière | péripéciale | dépôt solaire |
| Vérité de l'âge : | connu = âge | tempérée | tropical sec |
| | inconnu | | équatorial |
| | supposé | | des fous chauds |

Fig. 4. – Tableau de description des formations superficielles à partir de l'information recueillie pour la réalisation de la carte et de sa notice :
(1° Colonne : rubriques à renseigner ; 2° à 11° colonne : réponses libres ou par lexique prédefini).

Fig. 4. – Descriptive table of superficial deposits planned the digitizing of data from the informations used to make the map and the explanatory notes.
(1st Column: headings, 2nd to 11th columns: free answers or fixed lexical list).

Lithologie de la formation superficielle :

- Granularité dominante : Blocs, cailloux, graviers, sables grossiers, sables moyens, sables fins, silts, argiles.

Cette rubrique doit donner une idée immédiate à l'utilisateur de l'aspect général du matériau considéré. La granularité fournie peut-être une appréciation visuelle ou le résultat d'une analyse granulométrique (à préciser lors de la fourniture de cette donnée).

- Variabilité horizontale à l'échelle de l'affleurement : peu variante, variations ponctuelles, très variante, granoclassement latéral (cas des dépôts de versants par ex.).

- Variabilité verticale à l'échelle de l'affleurement : homogène, hétérogène non ordonné, lité, granoclassement positif, granoclassement inverse.

- Variabilité horizontale à l'échelle cartographique : homogène, hétérogène non ordonné, variations latérales.

Le but des trois rubriques précédentes est de cerner la variabilité d'une formation superficielle décrite sur la carte rendue par l'auteur.

• Granularité appréciée : elle peut venir d'une simple approximation à l'oeil sur le terrain ou d'une série de granulométries effectuées en laboratoire. Dans le premier cas, la quantification en pourcentage n'est pas possible et justifie le lexique proposé qui exclut alors tout pourcentage chiffré et inversement.

Le lexique proposé est :

très abondant = 80 % ou plus

abondant = 60 à 80 %

moyennement abondant = 40 à 60 %

peu abondant = 20 à 40 %

très peu abondant = < 20 %

Pour chacune des classes granulométriques suivantes :

blocs : > 80 mm

cailloux : 20 mm à 80 mm

graviers : 2 mm à 20 mm

sables grossiers : 0,5 à 2 mm

sables moyens : 0,2 à 0,5 mm

sables fins : 0,050 à 0,2 mm

silts - limons : 0,002 à 0,050 mm

argiles : < 0,002 mm

Cette rubrique doit préciser les composants granulométriques de la formation. Elle peut être remplacée par la dénomination utilisée dans les diagrammes de texture standards (fig II. 4 p. 29, Campy et Macaire, 1989).

- « Chimie » dominante de la formation : siliceuse, carbonatée, ferrugineuse, salifère, alumineuse, autre.

- Cohérence : non induré, faiblement consolidé, induration sommitale, induration basale, induration diffuse et irrégulière, induration générale (masse dure).

Références bibliographiques

BEAULIEU J.-L., REILLE M. (1984). – A long Upper Pleistocene pollen record from Les Echets, near Lyon, France. *Boreas*, **13**, pp. 111-132.

BRGM (1975). – Notes d'orientation pour l'établissement de la carte géologique à 1/50 000. Service Géologique National, BRGM édit. Orléans, 2^e éd., 240 p.

BATTISTINI R., HINSCHBERGER F. (1989). – Le Pléistocène moyen marin et dunaire de la péninsule de Sainte-Anne (Sud de la Martinique) : sa signification volcano-isostatique. *Bull. Centre Géomorphologie*, CNRS éd., Caen, **36**, pp. 260-263.

BATTISTINI R., HINSCHBERGER F. (1985). – La morphologie des

- Epaisseur moyenne de l'induration : m.

- Ratio moyen matrice/éléments figurés : (%) .

- Eléments figurés : jointifs, non jointifs.

• Eléments figurés - forme : Anguleux polyédrique, anguleux aplati, arêtes émoussées sur polyèdre, arêtes émoussées sur éléments aplatis, galets.

- Eléments figurés - nature pétrographique dominante : nom de la roche.

- Eléments figurés - nature pétrographique accessoire : nom de la (ou des) roche.

- Eléments figurés - nombre de composants pétrographiques :

- Matrice - granulo : argile, limon, sable fin, sable moyen, sable grossier.

- Matrice - chimie :

Siliceuse : Oui, non.

Carbonatée : Oui, non.

Ferrugineuse : Oui, non.

Alumineuse : Oui, non.

Gypsifère : Oui, non.

Sodi-potassique : Oui, non.

Autre : nom.

- Matrice - minéralogie dominante : quartz, calcite, dolomite, feldspath, argiles, oxydes de fer (et manganèse), sulfates, chlorures.

- Matrice - couleur : nom de couleur (Code Munsell ou dérivé comme la « Rock Color Chart » de l'US Geological Survey).

• Interprétation génétique : remblai, altérite, encroûtement pédologique (cuirasse, silcrète, calcrète, ferricrète, etc.), dépôt de versant, dépôt fluviatile, dépôt d'origine éolienne, dépôt estuaire, dépôt marin actuellement exondé, dépôt lacustre, travertin, ensemble volcano-sédimentaire.

• Contexte climatique du dépôt : glaciaire, périglaciaire, tempéré, méditerranéen, tropical sec, tropical humide, équatorial, désertique chaud.

- Age proposé : inconnu ou connu.

- Validité de l'âge : supposé, âge radiométrique, âge par données paléontologiques.

Remerciements

Ce document est la publication scientifique n° 93073 du BRGM, avec le concours du CNRS, de l'INRA et des universités de Dijon, Rouen et Tours ; il a été réalisé dans le cadre d'un projet (CB01/PR091 : « Formations superficielles et géomorphologie ») financé sur crédits de recherche du BRGM.

Les auteurs remercient messieurs R. Battistini, J.-P. Cautru, C. Cavelier, S. Courbouleix et P. Maurizot pour leur aide à la préparation de cette note.

côtes au vent de Grande-Terre et de Marie-Galante (Guadeloupe). *Bull. Assoc. Géogr. Fr.*, Paris, **2**, pp. 85-92.

BATTISTINI R., HINSCHBERGER F., HOANG C.T., PETIT M. (1986). – La basse terrasse corallienne pléistocène (Eémien) de la Guadeloupe : morphologie, datations 230Th/234U, Néotectonique. *Rev. Géomorph. Dyn.*, CDU-SEDES éd., Paris, XXXV-1, pp. 1-10.

CAMPY M., MACAIRE J.-J. (1989). – Géologie des formations superficielles, Géodynamique, Faciès, Utilisation. Masson éd., Paris, 433 p.

CHALINE J. (coord.) et Coll. (1980). Problèmes de Stratigraphie du Quaternaire en France et dans les pays limitrophes. Actes Colloque Dijon (1978), supp. *Bull. Assoc. Fr. Etude Quaternaire*, Paris, n.s. 1, 372 p.

- CONCHON O. (1992). – Que sont Günz et Mindel devenus ? Approches récentes de la stratigraphie du Quaternaire, *Géochronique*, Orléans, BRGM-SGF éd., **44**, pp. 16-18.
- COURBOULEIX S., RABU D. et al. (en préparation). – Le Quaternaire de Saint-Pierre-et-Miquelon.
- COX A., DOELL R., DALRYMPLE G. (1968). – Radiometric time scale for geomagnetic reversals. *Quaternary J. Geol. Soc.*, London, **124**, pp. 53-66.
- DEWOLF Y. (1965). – Intérêt et principes d'une cartographie des formations superficielles. Faculté des Lettres et Sciences humaines Université Caen pub., 183 p.
- FAURE H. (1978). – Rapport de synthèse in : colloque « Etude et cartographie des formations superficielles : Leurs applications en régions tropicales, thème 1 : Formations superficielles et géologie », São Paulo - Brésil, **1**, pp. 34-54.
- FOUCAULT A., RAOUlt J.-F. (1980). – Dictionnaire de Géologie. in : coll. « Guides géologiques régionaux », Masson éd., Paris, 334 p.
- FRANCOU B. (1988). – L'éboulisation en haute montagne, Andes et Alpes. Editec éd., Caen, 2 vol., 696 p.
- FRANCOU B., HETU B. (1989). – Eboulis et autres formations de pente hétérométriques. Contribution à une terminologie géomorphologique. Notes et Comptes Rendus de groupe de travail « régionalisation du périglaciaire », Strasbourg, **14**, pp. 11-69.
- GRANT D.R. (1989). – Le Quaternaire de la région des Appalaches atlantiques du Canada. in : Fulton R.J. (ed.) : Le Quaternaire du Canada et du Groenland, *Geology of North America*, Com. Géol. Canada éd., Ottawa, K1, pp. 419-474.
- GUIOT J., PONS A., BEAULIEU J.-L. (de), REILLE M. (1989). – A 140 000 year climatic reconstruction from two European pollen records. *Nature*, London, **338**, pp. 309-313.
- HEDBERG H. D. (1979). – Guide stratigraphique international. traduction P. Burollet, C. Pareyn, C. Pomerol, M.-L. Rat et P. Rat, Doin éd., Paris, 233 p.
- KERAUDREN B. (1992). – Chronostratigraphie du Quaternaire méditerranéen. *Géochronique*, BRGM-SGF éd., Orléans, **44**, pp. 19-20.
- KRUTZSCH W. (1988). – Kritische Bemerkungen zur Palynologie und zur Klimastratigraphischen Gliederung des Pliozäns bis tiefen Altpleistozäns in Süd-, Südwest-, Nordwest- und pro parte Mitteleuropa sowie die Lage der Pliozän/Pleistozän-Grenze in diesem Gebiet. *Quatärpalaontologie*, Berlin, **7**, pp. 7-51.
- KUKLA G. J. (1977). – Peistocene land - Sea Correlations. *Earth-Sci. reviews*, **13**, pp. 307-374.
- LAUTRIDOU J.-P. (1985). – Le cycle périglaciaire pléistocène en Europe du Nord-Ouest et plus particulièrement en Normandie. Thèse d'Etat, Géographie, Université de Caen, CNRS-Groupe Seine éd., Caen, 908 p.
- LAVILLE H., TURON J.-L., TEXIER J.-P., DELPECH F., PAQUEREAU M.-M., PRAT F., DEBENATH A. (1983). – Histoire paléoclimatique de l'Aquitaine et du Golfe de Gascogne au Pléistocène supérieur depuis le dernier interglaciaire. Actes colloque AGSO Bordeaux 1983, *Cahiers du Quaternaire*, CNRS éd., Paris, n° spécial, pp. 219-241.
- LAVILLE P., LAJOINIE J.-P. (1979). – Les formations bauxitiques de la Provence et du Languedoc. Dimensions et distribution des gisements. *Mémoire BRGM*, Orléans, n° 100, 142 p.
- LUMLEY H. (de) (1976). – Cadre chronologique absolu, paléomagnétisme, chronologie paléontologique et botanique, esquisse paléoclimatologique, séquences culturelles. in : La Préhistoire française, H. de Lumley et Coll., CNRS éd., Paris, pp. 5-23.
- MANDIER P. (1984). – Le relief de la moyenne vallée du Rhône au Tertiaire et au Quaternaire. Essai de synthèse paléogéographique. Document du BRGM, n° 151, Orléans, 3 vol.
- MANKINEN E., DALRYMPLE G. (1979). – Revised geomagnetic time scale for the interval 0 to 5 m.y. B.P., *J. Geophys. Research*, **84**, pp. 615-626.
- MEYER R. (1987). – Paléoaltérites et paléosols. L'empreinte du continent dans les séries sédimentaires. Manuels et Méthodes, n° 13, BRGM éd., Orléans, 164 p.
- MICHEL J.-P., FAIRBRIDGE R.W. (1992). – Dictionary of earth Sciences/Dictionnaire des Sciences de la Terre. 2^e édition bilingue, John Wiley et Sons-Masson, Paris, 301 p.
- MONJUVENT G., FARJANEL G., FLEURY R., COURBOULEIX S. (1990). – Le glaciaire et le périglaciaire de la Bresse du Sud dans son cadre géologique et tectonique. Rapport BRGM, Orléans, 624 RP BRG 90 005, 2 vol., 163 p.
- PANNETIER W., COTILLON P., LAMBERT B. (1991). – Contrôle climato-eustatique de sédimentation quaternaire dans les bassins. *Documents et Travaux de l'IGAL*, Cergy-Pontoise, **15**, pp. 87-92.
- PENK A., BRUCKNER E. (1901-1905). – Die Alpen im Eiszeitalter, Leipzig, 1-3.
- PETIT-MAIRE N. (1992). – L'Europe dans les changements climatiques globaux du Quaternaire. *Géochronique*, BRGM-SGF éd., Orléans, **44**, pp. 24-25.
- PONS A., CAMPY M., GUIOT J. (1989). – The last climatic cycle in France : the diversity of records. *Quaternary International*, 3/4, pp. 49-55.
- PROST M.T. (1990). – Les côtes de Guyane. Programme environnement côtier, *Géomorphologie-Sédimentologie*, O.R.S.T.O.M. éd., Cayenne, pp. 41-51.
- REILLE M., BEAULIEU J.-L. (de) (1990). – Pollen analysis of a long Upper Pleistocene continental sequence in a Velay maar (Massif central, France). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **80**, pp. 35-48.
- RENAULT-MISKOVSKY J. (1992). – La palynologie du Quaternaire européen : chronostratigraphie-paléoclimatologie et paléoenvironnement végétal de l'homme fossile, *Géochronique*, BRGM-SGF éd., Orléans, **44**, pp. 21-24.
- SHACKLETON N.J.S., OPDYKE N. D. (1976). – Oxygen-isotope and paleomagnetic stratigraphy of Pacific Core V28-239 Late Pleistocene to Latest Pleistocene. *Geol. Soc. Amer. Memory*, **145**, pp. 449-464.
- SUC J.-P., ZAGWIJN W. H. (1983). – Plio-Pleistocene correlations between the northwestern Mediterranean region and northwestern Europe according to recent biostratigraphic and paleoclimatic data. *Boreas*, **12**, pp. 153-166.
- WOILLARD G. (1978). – Grande Pile peat bog : a continuous pollen record for the last 140,000 years. *Quaternary research*, **9**, pp. 1-21.
- WONG T.E. (1989). – Revision of the stratigraphy of the coastal plain of Suriname. *Natuurwetenschappelijke studiekring voor Suriname en Nederlandse Antillen*, Amsterdam, **125**, pp. 1-64.
- ZAGWIJN W. H. (1974). – Les problèmes de la subdivision du Pléistocène moyen des Pays-Bas, *Bull. Assoc. Fr. Etude Quaternaire*, Paris, **40-41**, pp. 105-107.
- ZAGWIJN W. H. (1985). – Variations in climate as shown by pollen analysis, especially in the Lower Pleistocene of Europe. in : Wright A. E. et Moseley F. (eds) : *Ice Ages, Ancient and Modern*, Seel House Press, Liverpool, pp. 137-152.
- ZAGWIJN W. H. (1989). – The Netherlands during the Tertiary and the Quaternary : A case history of Coastal Lowland evolution. *Geol. en Minjbouw*, **68**, pp. 107-120.
- ZAGWIJN W.H. (1992). – The beginning of the ice age in Europe and its major subdivisions. *Quaternary Science Review*, Pergamon Press Ltd impr., London, 11, pp. 583-591.