

Que s'est-il passé pendant la première partie du Tardiglaciaire? Indices d'un changement écologique majeur dès 17-18.000 cal BP

PHILIPPE SCHOENEICH

ABSTRACT – Many palaeoenvironmental data show that the early part of the Lateglacial, corresponding to the Oldest Dryas in the classical pollen stratigraphy, experienced already major environmental changes at European mid-latitudes. The paper reviews data from Switzerland and neighbouring regions, and proposes an interpretation based on the INTIMATE event stratigraphy, by correlation with the Greenland ice-core oxygen isotope record. It is suggested that in European mid-latitudes, a significant warming, leading to ice-retreat, to the development of steppic vegetation, to a transition to fine lacustrine sedimentation and maybe to the increase of lacustrine bioproductivity occurred as early as 18000 cal BP.

Key words: Lateglacial; Stratigraphy; Environmental change; Central Europe.

Parole chiave: Tardiglaciaire; Stratigrafia; Cambiamento ambientale; Europa centrale.

Philippe Schoeneich - Institut de Géographie Alpine, Université Joseph Fourier, 14 bis, avenue Marie-Reynard, F-38100 Grenoble. E-mail: Philippe.Schoeneich@ujf-grenoble.fr.

1. INTRODUCTION

La stratigraphie du Tardiglaciaire est une chose fort confuse, pour diverses raisons: a) l'utilisation d'une stratigraphie basée sur des zones polliniques, et dont la résolution n'est plus assez fine pour les besoins de précision actuels; b) l'usage des mêmes termes pour les zones polliniques, la stratigraphie climatique et la chronostratigraphie, avec toutefois des définitions et des limites différentes; c) l'usage de l'échelle chronologique obsolète basée sur le C¹⁴, dont les imprécisions et les limites sont aujourd'hui connues.

Avec la possibilité de calibrer de façon satisfaisante les datations C¹⁴ sur toute la durée du Tardiglaciaire, l'utilisation de datations non calibrées n'est plus justifiable, mais il se pose alors le problème de la définition d'une nouvelle échelle stratigraphique de référence.

Pour résoudre les difficultés, le groupe INTIMATE (= INTegration of Icecore MARine and TERrestrial records of the Last Termination), un groupe de

travail de la commission de paléoclimatologie de l'INQUA, propose une nouvelle stratigraphie du Tardiglaciaire reposant sur les bases suivantes (BJÖRK *et al.*, 1998; WALKER *et al.*, 1999; LOWE *et al.*, 2001):

- A) Promotion d'une nouvelle échelle de référence du Tardiglaciaire, basée sur l'enregistrement isotopique de l'oxygène des glaces du Groenland.
- B) Développement de protocoles pour les corrélations de haute précision de données environnementales multiples.

Nous montrerons dans la deuxième partie de l'article, que ce schéma de référence est susceptible de fournir pour la première partie du Tardiglaciaire non seulement un cadre chronologique et stratigraphique valable, mais aussi une référence très riche en matière d'interprétation paléoclimatique et paléoécologique. Les données disponibles montrent en effet que des changements écologiques majeurs ont eu lieu dès environ 18000 cal BP. La stratigraphie classique ne permettait pas de les appréhender ni de les ordonner. Or la référence à la courbe isotopique groenlandaise permet une interprétation parfaitement cohérente.

2. LA STRATIGRAPHIE DU TARDIGLACIAIRE

2.1. Une situation confuse

La stratigraphie classique du Tardiglaciaire est fondée essentiellement sur les données polliniques, et utilise principalement deux concepts: 1) des biozones ou zones polliniques, initialement définies par IVERSEN (1954) et FIRBAS (1949, 1954), et qui ont donné la nomenclature en usage: Dryas ancien (selon l'usage français = *Oldest Dryas*), Bølling, Dryas moyen (= *Older Dryas*), Allerød, Dryas récent, Préboréal, etc. 2) des chronozones, définies par MANGERUD *et al.* (1974) sur la base des zones polliniques et de la datation par le radiocarbone des limites de zones, et qui utilise les mêmes termes, en leur attribuant un intervalle de temps: par ex. 13000 BP pour la limite Dryas ancien/Bølling.

Les deux échelles chronologiques sont usuellement exprimées en âges C^{14} non calibrés. Ce schéma stratigraphique pose de nombreux problèmes, liés essentiellement à trois groupes de causes:

1) La nature même des données polliniques

- L'évolution de la végétation, telle que reflétée dans les diagrammes polliniques, n'est que partiellement conditionnée par le climat, et des facteurs tels que la migration des espèces ou les successions écologiques jouent un rôle prédominant dès l'Holocène. Il s'ensuit que certaines limites polliniques peuvent être asynchrones à l'échelle supra-régionale;
- La résolution de la stratigraphie pollinique est insuffisante au vu du degré de détail recherché aujourd'hui, la végétation ne réagissant pas de façon suffisamment sensible aux fluctuations climatiques de second ordre;
- Si les pollens permettent de différencier valablement les subdivisions principales du Tardiglaciaire et les phases à végétation forestière, elles ne permettent guère de différenciation valable dans le Dryas ancien;
- La limite inférieure du Dryas ancien n'est pas définie formellement, et il n'en existe actuellement qu'une définition cohérente, sur laquelle nous reviendrons plus loin.

2) La datation par le C^{14}

- L'échelle est définie en âges non-calibrés, or on sait aujourd'hui que cette échelle présente d'importantes distorsions par rapport à la réalité;
- Dans le Tardiglaciaire, les limites principales entre zones polliniques tombent sur des "plateaux" d'âge C^{14} constants, rendant impossible toute calibration précise. Ce phénomène affecte

principalement les phases de réchauffement brutal. Du fait de ces plateaux, même une amélioration des courbes de calibration du C^{14} n'apporterait pas de solution.

3) La confusion des concepts

- Les zones polliniques de FIRBAS (numérotées Ia, Ib, Ic, II, ...), les biozones de IVERSEN (*Oldest Dryas*, Bølling, ...) et les chronozones de MANGERUD *et al.* (qui utilisent les mêmes noms) sont souvent considérées comme interchangeables, bien que reposant sur des définitions différentes. Ces zones ont en outre été redéfinies sur des bases régionales, si bien qu'il n'y a plus de référence uniforme et univoque;
- Pour ajouter à la confusion, les chronozones de MANGERUD *et al.* (1974) ont été définies sur la base des datations disponibles à l'époque, ce qui était parfaitement correct au vu du code international de stratigraphie. Or les limites de zones polliniques ont été redéfinies depuis lors grâce à de nouvelles datations, mais sans que ces corrections ne soient répercutées sur les limites de chronozones. Il s'ensuit que les mêmes termes stratigraphiques recouvrent actuellement des concepts différents, aux limites chronologiques différentes ! Si les chronozones sont aujourd'hui pratiquement abandonnées par les palynologues, au profit des seules zones polliniques, le flou autour de l'âge (non calibré) des limites demeure;
- Enfin, LITT *et al.* (2001a, 2001 b) ont récemment démontré que les zones polliniques du Dryas ancien (= *Oldest Dryas*) et du Bølling avaient été utilisées depuis près de 50 ans dans un sens non conforme à leur définition originale par IVERSEN (1954) sur la localité type de Bøllingsø, et proposent une redéfinition qui rend caduques toutes les corrélations basées sur la seule nomenclature !

Le paradoxe est qu'on dispose aujourd'hui de données paléocologiques de résolution supérieure à celle de l'échelle de référence pollinique, et datées en âge calendaire par différentes méthodes autres que le C^{14} . Il y a donc un besoin réel de définir une nouvelle échelle de référence. Au vu de ce qui précède, une simple calibration de la stratigraphie pollinique n'aurait guère de sens. C'est bien une référence nouvelle qu'il nous faut.

2.2. Les propositions du groupe INTIMATE

Pour résoudre les difficultés, le groupe INTIMATE, un groupe de travail de la commission de pa-

leoclimatologie de l'INQUA, propose une nouvelle approche stratigraphique du Tardiglaciaire reposant sur les bases suivantes (BJÖRK *et al.*, 1998; WALKER *et al.*, 1999; LOWE *et al.*, 2001):

- 1) Utilisation de la courbe isotopique de l'oxygène des carottes de glace du Groenland comme référence stratigraphique. Ce choix se fonde sur les postulats suivants:
 - a) la variation du rapport isotopique de l'oxygène dans les carottes de glace est considéré comme un signal climatique, reflétant les variations des températures de l'air (JOHNSEN *et al.*, 2001);
 - b) le signal isotopique groenlandais est considéré comme représentatif de l'ensemble de la zone Atlantique Nord. Sa validité s'étend probablement à l'ensemble de l'hémisphère Nord, voire au-delà;
 - c) le signal est considéré comme corréléable dans l'espace et dans le temps (SCHWANDER *et al.*, 2000).

La courbe de référence est celle de la carotte GRIP, en attendant les résultats plus détaillés du nouveau forage NorthGRIP (JOHNSEN *et al.*, 2001). GRIP est préféré à GISP2 en raison d'une part d'une résolution plus élevée du signal isotopique, d'autre part d'une chronologie considérée comme plus fiable pour la fin du Tardiglaciaire.

- 2) Définition d'une "event stratigraphy", soit une nomenclature basée sur des événements climatiques: pics froids ou tempérés, transitions abruptes. Le principe de nomenclature est le suivant (BJÖRK *et al.*, 1998; WALKER *et al.*, 1999; LOWE *et al.*, 2001) (Fig. 1):

- a) les événements de premier ordre sont GS = Greenland stadial (pour les événements tardiglaciaires froids), GI = Greenland interstadial (pour les événements tardiglaciaires tempérés), GH = Greenland Holocene (pour les événements froids de l'Holocène);
- b) des événements de second ordre sont définis au sein de certains événements: GS-1a, GS-1b, GS-1c, ... Pour le Tardiglaciaire, la numérotation débute à la transition Tardiglaciaire-Holocène et "remonte" le temps, ce qui laisse la possibilité d'étendre la stratigraphie à des périodes plus anciennes.

La numérotation des interstades correspond aux interstades définis par DANSGAARD *et al.* (1993), aussi appelés "Dansgaard-Oeschger events". Pour l'Holocène, seuls les pics froids sont définis, et désignés par leur âge en milliers d'années (GH-11.2 = "événement 11.2 ka", GH-8.2 = "événement 8.2 ka").

- 3) Développement de protocoles pour la corrélations de haute précision de données environnementales multiples (LOWE & WALKER, 2000; LOWE *et al.*, 2001):

- a) utilisation de la tephrochronologie comme méthode de corrélation prioritaire, chaque fois que possible. Les tephra, qui sont des marqueurs instantanés et permettent des corrélations exactes, sont en effet identifiables dans les carottes de glace ainsi que dans les sédiments, et les analyses géochimiques permettent leur identification sans équivoque;
- b) pour le radiocarbone, n'utiliser que des séries de datations précises, permettant si possible l'application de la technique du "wiggles matching", en vue de réduire les intervalles de calibration.

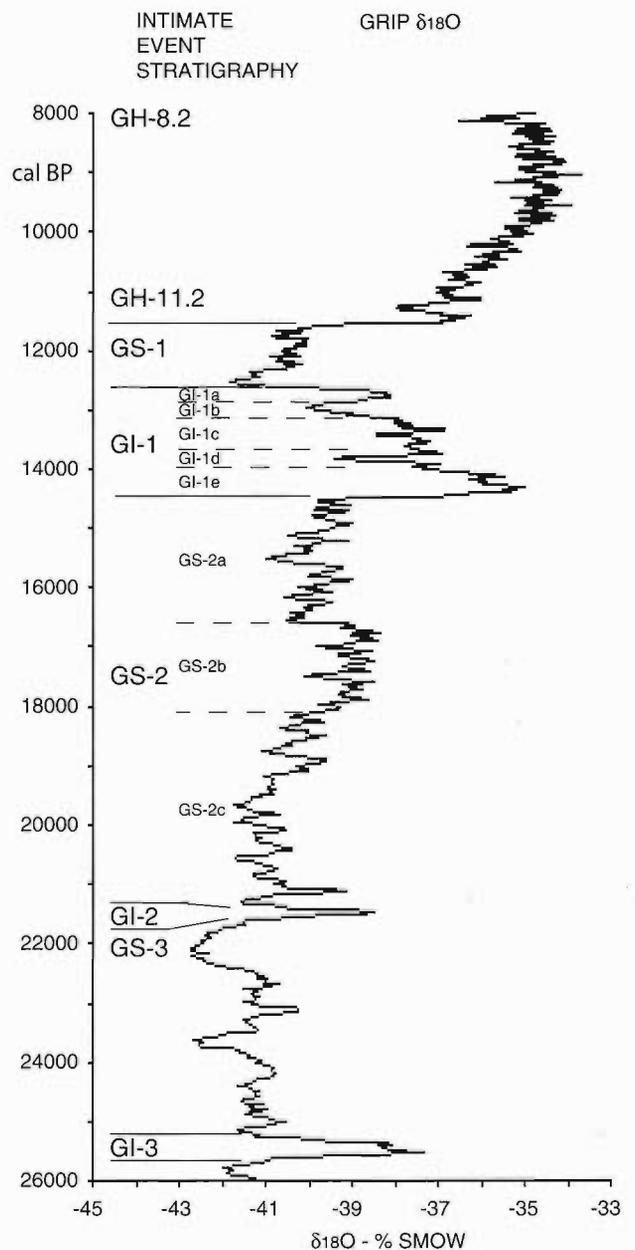


Fig. 1 - Courbe isotopique du sondage GRIP et nomenclature stratigraphique proposée par le groupe INTIMATE.

La stratigraphie proposée par le groupe INTIMATE présente les avantages suivants:

- a) Elle se base sur un signal climatique, soit une variable située à l'amont des paramètres paléoenvironnementaux (en d'autres termes : sur la cause des changements environnementaux plutôt que sur les symptômes).
- b) Elle représente un signal climatique valable pour tout l'hémisphère nord, voire de portée globale.
- c) Elle se fonde sur une chronologie indépendante, précise, définie en âges calendaires véritables (sur la base de comptages de couches annuelles de glace).
- d) Elle présente la résolution et la précision requises.
- e) Elle fournit un cadre chronologique continu (contrairement aux datations ponctuelles).
- f) Elle propose une nomenclature cohérente et continue.
- g) Elle est corrélable par le biais des isotopes de l'oxygène, par les tephra ou par la datation.

Cette stratigraphie tend à s'imposer dans la communauté de recherche paléoenvironnementale. Indépendamment du groupe INTIMATE, de plus en plus de chercheurs se réfèrent aux courbes isotopiques groenlandaises (en utilisant les sondages GRIP ou GISP2), et en utilisant des nomenclatures variables (par ex. RICHARD & BÉGEOT, 2000; BINTZ & EVIN, 2002). Pour éviter que ne s'instaure une nouvelle confusion dans ce domaine, nous recommandons que tous se rallient aux propositions et aux protocoles du groupe INTIMATE.

2.3. La question du Tardiglaciaire ancien

Le groupe INTIMATE était composé jusqu'à présent majoritairement par des chercheurs scandinaves et britanniques. Or la Scandinavie et les îles britanniques étant restées couvertes de glace jusque vers 14700 cal BP (= fin du Dryas ancien), les travaux du groupe se sont concentrés logiquement sur la fin du Tardiglaciaire.

Or, de nombreux indices montrent que le réchauffement climatique a commencé bien avant, et que d'importants changements environnementaux se sont déjà produits dès 18000 cal BP au moins dans les zones déglacées. Or ces données sont encore très dispersées et posent d'importants problèmes de datation et de corrélation. La courbe isotopique du Groenland montre d'ailleurs des variations significatives durant cette période.

Il serait donc judicieux d'étendre la problématique du groupe INTIMATE à cette période:

- a) en adoptant la "event stratigraphy" en lieu et place de la stratigraphie pollinique, trop peu différenciée et mal datée;
- b) en adoptant les protocoles de corrélation du groupe INTIMATE;

- c) en développant les corrélations entre séries de données.

Un des buts de cette présentation est donc de réunir des gens intéressés par la constitution d'un groupe de travail "Tardiglaciaire ancien" au sein du groupe INTIMATE.

3. LES INDICES D'UN CHANGEMENT ENVIRONNEMENTAL PRÉCOCE

Les données présentées se limitent à l'espace alpin et principalement à la Suisse. On tentera de démontrer qu'un changement environnemental majeur a eu lieu dès 18000 cal BP au moins en Europe occidentale (Fig. 2):

- a) Expansion des steppes à *Artemisia*, datée sur le profil pollinique des Echets (DE BEAULIEU & REILLE, 1984), faisant suite à une période de végétation très pauvre.
- b) Début de l'enregistrement paléomagnétique dans les grands lacs suisses, marquant le passage d'une sédimentation détritique à haute énergie à une sédimentation fine en eaux calmes.
- c) Premiers dépôts de craie lacustre.
- d) Déglaciation déjà très avancée dans les vallées alpines.

On fait l'hypothèse que ce changement correspondrait à l'événement GS-2b, qui sur la courbe groenlandaise se marque par une oscillation tempérée de quelque 1500 ans, entre 18000 et 16500 cal BP. Cette période de réchauffement relatif serait suivie par un refroidissement, qui se marque notamment par une diminution de la densité du couvert herbacé (RICHARD & BÉGEOT, 2000) et par l'avancée glaciaire du stade de Gschnitz, récemment datée par âges d'exposition d'environ 16000 cal BP (IVY-OCHS *et al.*, non publié). Ce refroidissement correspondrait à l'événement GS-2a.

3.1. Les isotopes de l'oxygène dans les lacs

Les variations du rapport isotopique de l'oxygène des lacs constituent le paramètre le plus directement corrélable avec la courbe isotopique groenlandaise. Le parfait parallélisme entre les courbes glaciaires et lacustres, jusque dans les oscillations de second ordre, a été démontré sur les lacs suisses (LOTTER *et al.*, 1992; SCHWANDER *et al.*, 2000), et récemment confirmé par la tephrochronologie. Il constitue l'argument majeur en faveur de la validité du signal isotopique comme référence stratigraphique.

Les isotopes de l'oxygène des lacs peuvent être mesurés selon deux approches. La mesure sur sédi-

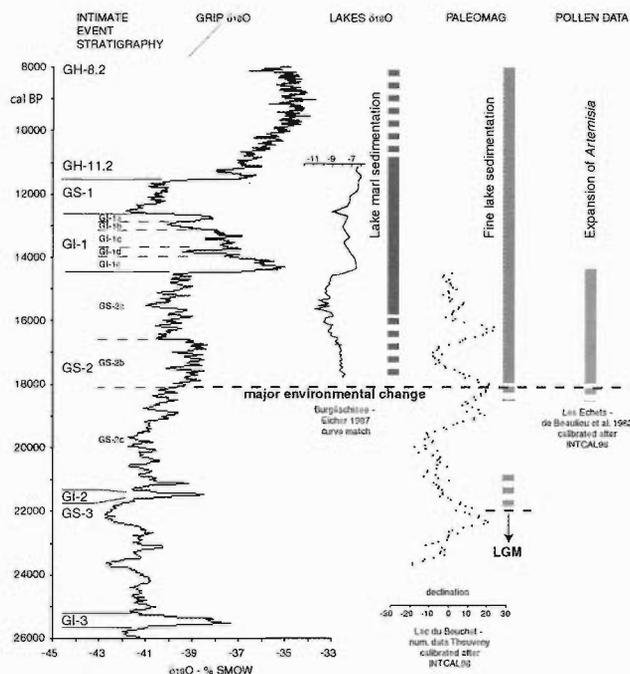


Fig. 2 - Résumé des principaux changements environnementaux attestés pendant l'événement GS-2b.

ment total n'est possible que sur la craie lacustre, soit un sédiment biogénique dont l'oxygène peut être considéré comme étant d'origine exclusivement atmosphérique. La présence d'apports détritiques carbonatés perturbe le signal. Dans la plupart des lacs analysés, on observe d'abord une sédimentation détritique, passant au-dessus à une sédimentation carbonatée biogénique. Ce changement de sédimentation correspond donc à un changement écologique majeur, marqué à la fois par une baisse du détritisme et une augmentation importante de la bioproduktivité du lac. Les courbes isotopiques valablement mesurables débutent donc avec ce changement (EICHER, 1987):

- Dans de nombreux lacs, en particulier les lacs d'altitude, le début de la sédimentation crayeuse s'opère à la transition GS-2/GI-1, et coïncide donc avec la première phase de réchauffement brutal.
- Dans de nombreux lacs de moyenne altitude, la sédimentation crayeuse débute au cours de l'événement GS-2a.
- Seuls deux lacs semblent révéler une courbe débutant déjà pendant l'événement GS-2b: il s'agit du Burgäschisee (EICHER, 1987), qui représenterait la courbe isotopique lacustre la plus précoce, et la tourbière de Chirens (EICHER *et al.*, 1981). Il s'agit dans les deux cas de lacs situés vers 400 m d'altitude.

Sous réserve de confirmation de ces corrélations, basées sur la simple similitude des courbes, la sédimentation crayeuse aurait donc débuté dans les cas les plus favorables dès 17-18000 cal BP.

Les isotopes de l'oxygène peuvent être mesurés également sur les coquilles de mollusques ou

d'ostracodes, à condition d'établir la séquence sur une seule et même espèce, pour tenir compte de "l'effet vital" de fractionnement isotopique. La limitation est ici représentée par la présence de coquilles dans le sédiment. Le début des courbes isotopiques coïncide donc avec l'arrivée des premiers mollusques, respectivement des premiers ostracodes. Seul un petit nombre de courbes isotopiques sur coquilles lacustres sont disponibles. Plusieurs d'entre elles débutent largement dans le Dryas ancien, sans qu'en l'état actuel des connaissances il soit possible de préciser davantage.

3.2. Les pollens

Le seul site sur lequel la limite inférieure du Dryas ancien a été à la fois définie en termes polliniques et datée est le marais des Echets (DE BEAULIEU & REILLE, 1984). La transition du Pléniglaciaire au Dryas ancien y est définie par l'augmentation massive de la concentration pollinique et par l'expansion des herbacées. Dans le Pléniglaciaire, la concentration pollinique absolue est très pauvre, et le spectre pollinique est dominé par les pollens de *Pinus*, interprétés comme des apports éoliens lointains. Le Dryas ancien est marqué par une augmentation massive des pollens d'herbacées, et en particulier d'*Artemisia*, interprétée comme l'expansion d'une végétation steppique.

Ce changement est daté par deux datations C^{14} à 15250 et 15050 BP, ce qui, selon les calibrations actuellement disponibles, donne environ 18000 cal BP. Cette expansion de la végétation herbacée correspondrait donc bien avec le réchauffement relatif de l'événement GS-2b.

Cette transition a été retrouvée également dans certains sites du Jura. L'analyse détaillée des profils des lacs jurassiens a par ailleurs permis à RICHARD & BÉGEOT (2000) de proposer une subdivision du Dryas ancien:

- une première phase est caractérisée par la dominance d'*Artemisia* sur *Pinus* et de fortes concentrations polliniques;
- la deuxième phase est caractérisée par une diminution des concentrations polliniques, et une dominance de *Pinus* sur *Artemisia*. Cette phase est interprétée comme une diminution de la densité du couvert herbacé, permettant aux apports éoliens lointains de *Pinus* de reprendre, en proportion, plus d'importance.

Ces profils ne sont pour l'instant pas datés, mais vu l'analogie de la transition Pléniglaciaire/Dryas ancien avec le profil des Echets, on peut faire l'hypothèse que les deux phases du Dryas ancien correspondent respectivement aux événements GS-2b et GS-2a. La première correspondrait dès lors à un réchauffement, la deuxième à un refroidissement relatif.

3.3. Les variations séculaires paléomagnétiques

Les variations séculaires paléomagnétiques (variations de la déclinaison magnétique et de l'inclinaison dues à la migration du pôle magnétique) sont enregistrées dans certains sédiments lacustres. Si ces variations du champ magnétique ne constituent pas en elles-mêmes un indicateur paléo-environnemental, l'enregistrement d'un signal mesurable n'est toutefois possible que dans des sédiments détritiques fins, déposés par décantation en eaux calmes. Dans les environnements à haute énergie (turbidites, etc.), le signal est perturbé, de même qu'en présence de drop-stones.

La conservation d'un signal mesurable, associée à l'analyse sédimentologique fine, nous renseigne donc sur les conditions du milieu. Surtout, les variations séculaires sont corrélables avec des séquences de référence bien datées et fournissent ainsi un des rares outils de contrôle chronologique continu dans le Tardiglaciaire.

Plusieurs profils paléomagnétiques ont été réalisés dans des lacs suisses. Ceux qui débutent dans le Dryas ancien sont : lac de Joux (CREER *et al.*, 1980), lac de Zurich, lac de Lugano, lac de Constance (NIESSEN *et al.*, 1992; WESSELS, 1998). La comparaison de ces profils montre que dans tous ces profils, le signal paléomagnétique mesurable débute environ par la même oscillation très marquée de déclinaison Ouest. Cette oscillation est indirectement calée dans le lac de Zurich à environ 14600 C¹⁴ BP (NIESSEN *et al.*, 1992). Le calage avec la courbe de référence du Lac du Bouchet donne un âge d'environ 15000 C¹⁴ BP (THOUVENY *et al.*, 1990). Dans tous les cas, on trouve en-dessous une longue séquence de sédiments détritiques plus grossiers et/ou turbiditiques.

Tous ces lacs montrent donc un changement plus ou moins synchrone du régime de sédimentation, avec passage d'un régime dominé par le détritisme à une sédimentation fine par décantation vers 15000-14600 C¹⁴ BP, soit env. 18000-17500 cal BP. L'interprétation en termes de paléo-environnement est délicate, et peut révéler soit un éloignement des sources détritiques liée au retrait des glaciers, soit une stabilisation du milieu et en particulier des sols par la végétation. Dans les lacs jurassiens, un changement analogue de régime de sédimentation est corrélé avec une augmentation des pollens d'herbacées (voir ci-dessus, RICHARD & BÉGEOT, 2000), ce qui tendrait à conforter la deuxième interprétation. Dans la séquence de référence du Lac du Bouchet, dans le massif central français, la limite pollinique Pléniglaciaire/Dryas ancien se place au début de la même oscillation de déclinaison Ouest (THOUVENY *et al.*, 1990).

Augmentation de la végétation herbacée et passage à une sédimentation lacustre fine semblent donc être synchrones de l'oscillation de déclinaison Ouest, et le calage chronologique de la courbe paléomagnétique place ce changement au début de l'événement GS-2b.

3.4. Les glaciers

Si le Nord de l'Europe est resté sous les glaces jusque vers 14700 cal BP, la déglaciation a été beaucoup plus précoce dans les Alpes.

L'âge du LGM (Last glacial maximum) alpin reste mal défini, mais plusieurs données récentes semblent indiquer que le retrait était déjà bien avancé vers 19000 C¹⁴ BP (soit env. 22000 cal BP) et que la fusion des grands lobes de piémont serait intervenue au plus tard pendant l'interstade GI-2 (SCHLÜCHTER & ROEHLISBERGER, 1995; MOSCARIELLO, 1996; SCHOENEICH *et al.*, 1998). L'entier de l'intervalle GS-2 serait donc occupé par le retrait par étapes et les fluctuations tardiglaciaires des glaciers alpins.

Les fluctuations tardiglaciaires des glaciers, marquées par une succession de phases de retrait et de réavancées, font l'objet d'une stratigraphie propre, dont la datation et la corrélation avec le schéma stratigraphique général reste un des grands problèmes à résoudre.

La stratigraphie la plus courante et la mieux étayée est celle des Alpes orientales (MAISCH, 1982), qui comprend 6 stades principaux: le stade d'Egesen, correspond à une réavancée marquée des glaciers de vallée alpins. Sa corrélation avec le refroidissement de l'événement GS-1 est bien établie, notamment par datation directe par les isotopes cosmogéniques (IVY-OCHS *et al.*, 1996); les 5 autres stades sont antérieurs à la transition GS-2/GI-1. Le seul élément chronologique disponible est une série récente de datations par isotopes cosmogéniques de la moraine éponyme du stade de Gschnitz, qui donne un âge (provisoire) d'environ 16000 cal BP (IVY-OCHS *et al.*, non publié). Ce stade, comme celui d'Egesen, marque une réavancée importante des glaciers, et pourrait dès lors correspondre au refroidissement de l'événement GS-2a. Les stades suivants de Clavadel/Senders et de Daun se situeraient dans la deuxième partie de l'événement GS-2a. La position chronologique des stades antérieurs, Steinach et Bühl, reste pour l'instant totalement inconnue. En gardant la logique climatique, et en tenant compte qu'ils correspondent à une extension des glaciers supérieure à celle du stade de Gschnitz, ils pourraient correspondre à titre d'hypothèse à l'événement GS-2c. Cela reviendrait à définir dans le Tardiglaciaire un nouvel interstade, correspondant à l'événement GS-2b.

Dans les Alpes occidentales, la corrélation avec le modèle des Alpes orientales est difficile, sauf pour le stade d'Egesen, reconnaissable partout. Une stratigraphie distincte a été établie pour les Préalpes vaudoises (SCHOENEICH, 1998). Elle comprend 12 stades. En l'absence de datations, leur position chronologique est inconnue, si ce n'est que les 10 premiers peuvent être placés dans GS-2. Plusieurs hypothèses de corrélation avec la stratigraphie INTIMATE peuvent

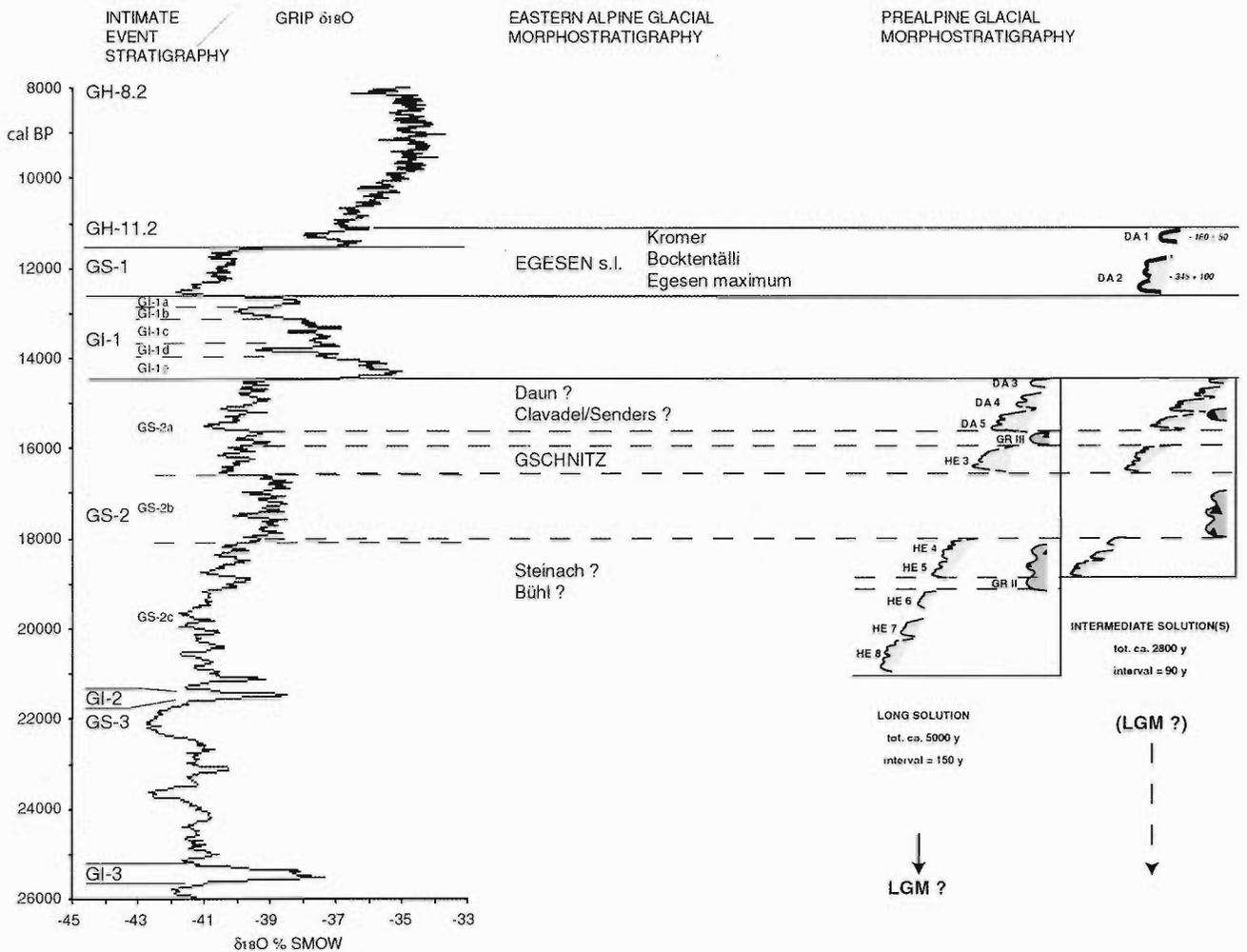


Fig. 3 – Hypothèses de corrélation des fluctuations glaciaires des Alpes orientales et des Préalpes suisses avec la stratigraphie INTIMATE.

être faites et sont illustrées par la Fig. 3. L'hypothèse 1 fait correspondre le stade HE 3 au stade de Gschnitz, l'hypothèse 2 ferait correspondre la phase à glaciers rocheux GR II à l'événement GS-2b.

Dans tous les cas, les données montrent que la déglaciation des vallées alpines est déjà très avancée vers 16'000 cal BP, et probablement bien avant.

3.5. L'importance de l'événement GS-2b

Un faisceau de données concordantes indique que l'événement GS-2b correspond à un changement écologique majeur aux latitudes moyennes du continent européen:

- Retrait probable des glaciers.
- Expansion d'une couverture végétale herbacée.
- Diminution de la sédimentation détritique dans les lacs et passage à une sédimentation fine par décantation en eaux calmes.
- Augmentation de la bioproduktivité des lacs, avec début de la sédimentation crayeuse à basse altitude.

Tout indique donc que cet événement représen-

te un réchauffement significatif, entraînant une amélioration des conditions du milieu.

L'événement GS-2a, correspond probablement à un refroidissement. Il se marque par un recul de la végétation et une avancée des glaciers, mais semble rester sans effet sur le régime de sédimentation et sur la bioproduktivité lacustre.

4. CONCLUSION

Les données existantes montrent que la première partie du Tardiglaciaire (le Dryas ancien classique), loin d'être une période uniformément froide, présente déjà une évolution environnementale importante et des variations significatives, qui semblent correspondre étroitement aux variations climatiques reflétées par les courbes isotopiques du Groenland.

Le problème du manque de datations reste entier, et a pour conséquence que la plupart des corrélations et des interprétations proposées en sont réduites

à des hypothèses. Il n'en reste pas moins que ces hypothèses montrent le potentiel d'interprétation que recèlent les données.

Pour l'archéologie, de telles interprétations climatiques pourraient être significatives pour expliquer les dynamiques de peuplement (voir les approches de BINTZ *et al.*, 2002; BINTZ & EVIN, 2002 ou de DEMARS, 2002). L'archéologie pourrait à l'inverse fournir des

données intéressantes dans l'optique d'analyses "multiproxy" du Tardiglaciaire ancien.

Il paraît donc évident qu'un gros travail de mise en commun et de corrélation de données doit être fait. Il promet de déboucher sur des avancées significatives dans la connaissance de la dynamique climatique et environnementale du Tardiglaciaire ancien.

SUMMARY – The classical Lateglacial stratigraphy, based on pollen zones, has become quite confused with time and is not accurate enough to provide a correct frame work for the interpretation of the detailed data available today. It is therefore proposed to use the INTIMATE event stratigraphy, based on the Greenland ice-core oxygen isotope record, as the reference frame work. Many environmental data can be correlated either directly or after calibration of the time-scale. They show that a major environmental change occurred at ca. 18000 cal BP, marked by steppic vegetation expansion, transition from coarse detrital to fine lacustrine sedimentation and at low altitudes to the first biogenic carbonate deposits. It is interpreted as a significant warming and would correspond to event GS-2b. It is followed by a phase of vegetation regression and of glacier advance, the Gschnitz stadial, which is interpreted as a relative cooling and would correspond to event GS-2a. So the period of the classical "Oldest Dryas", far from being an uniform cold period, shows already significant environmental changes as well as internal structures, possibly allowing finer correlations than those based on classical pollen stratigraphy.

RIASSUNTO – La tradizionale stratigrafia del Tardiglaciale, basata sulle zone polliniche, è divenuta piuttosto confusa e non accurata sufficientemente per fornire un modello corretto di interpretazione dei dati che sono oggi a disposizione. Viene proposto quindi di utilizzare il modello realizzato dal gruppo INTIMATE, basato sulle variazioni dell'isotopo dell'ossigeno osservate nei livelli ghiacciati della Groenlandia. Molti dati ambientali possono essere correlati sia direttamente o a seguito di calibrazione cronologica. Questi mostrano che un principale cambiamento ambientale si presentò circa 18000 cal BP attraverso una espansione della vegetazione steppica, una transizione dei sedimenti lacustri che da grossolani divengono più fini e dalla presenza a basse altitudini dei primi depositi carbonati biogenici. Tutto ciò viene interpretato come un significativo riscaldamento e associato all'evento GS-2b. In seguito si assiste ad una regressione della vegetazione a vantaggio della copertura ghiacciata (lo stadio di Gschnitz) probabilmente dovuto ad un relativo raffreddamento (evento GS-2a). Di conseguenza, il classico periodo definito come "Dryas antico", da considerare non più come un unico evento freddo, mostra significativi cambiamenti ambientali e strutture interne permettendo correlazioni più dettagliate di quelle basate sulla classica stratigrafia pollinica.

RÉFÉRENCES

- BINTZ P., EVIN J. & PION G., 2002 - La recolonisation humaine des Alpes du Nord et leurs marges à la fin du cycle glaciaire würmien. Livret-guide excursion AFEQ, p. 98-105.
- BINTZ P. & EVIN J., 2002 - Evénements bio-climatiques et peuplements du Tardiglaciaire au début de l'Holocène dans les Alpes du Nord françaises. Colloque Q3. *Quaternaire* 13/3-4: 279-287.
- BJÖRK S., WALKER M.J.C., CWYNAR L.C., JOHNSEN S.J., KNUDSEN K.-L., LOWE J.J., WOHLFARTH B. & INTIMATE MEMBERS, 1998 - An event stratigraphy for the Last Termination in the North Atlantic region based on the Greenland ice-core record: a proposal by the INTIMATE group. *Journal of Quaternary Science* 13/4: 283-292.
- CREER K.M., HOGG T.E., READMAN P.W. & REYNAUD C., 1980 - Palaeomagnetic secular variation curves extending back to 13400 years BP recorded by sediments deposited in Lac de Joux, Switzerland. *Journal of Geophysics* 48: 139-147.
- DANSGAARD W., JOHNSEN S.J., CLAUSEN H.B., DAHL-JENSEN D., GUNDESTROP N.S., HAMMER C.U., HVIDBERG C.S., STEFFENSEN J.P., SVEINBJÖRNSDÓTTIR A.E., JOUZEL J. & BOND G., 1993 - Evidence for general instability of past climate from a 250-kyr ice-core record. *Nature* 364: 218-220.
- DEMARS P.-Y., 2002 - Changements climatiques et occupation de l'espace. Les derniers chasseurs cueilleurs d'Europe face à la déglaciation. Colloque Q3. *Quaternaire* 13/3-4: 289-296.
- EICHER U., 1987 - Die spätglazialen sowie frühpostglazialen Klimaverhältnisse im Bereiche der Alpen: Sauerstoffisotopenkurven kalkhaltiger Sedimente. *Geographica Helvetica* 2: 99-104.
- EICHER U., SIEGENTHALER U. & WEGMÜLLER S., 1981 - Pollen and oxygen isotope analysis on late and Post-Glacial sediments of the Tourbière de Chirens (Dauphiné, France). *Quaternary Research* 15: 160-170.
- FIRBAS F., 1949 - Spät- und nacheiszeitliche Waldgeschichte Mitteleuropas nördlich der Alpen. 1. Band: allgemeine Waldgeschichte. Jena, Fischer.
- FIRBAS F., 1954 - Die Synchronisierung der mitteleuropäischen Pollendiagramme. *Danmarks Geol. Unders* 80: 12-21.

- INTIMATE MEMBERS - <http://www.geog.uu.nl/fg/INTIMATE/>
- IVERSEN J., 1954 - The late-glacial flora of Denmark and its relation to climate and soil. *Danmarks Geologiske Undersøgelse* II/80: 67-119.
- IVY-OCHS S., SCHLÜCHTER C., KUBIK P.W., SYNAL H.-A., BEER J. & KERSCHNER H., 1996 - The exposure age of an Egesen moraine at Julier Pass, Switzerland, measured with cosmogenic radionuclides ^{10}Be , ^{26}Al , ^{36}Cl . *Eclogae geologicae Helveticae* 89/3: 1049-1063.
- IVY-OCHS S., KERSCHNER H., KUBIK P.W., SCHLÜCHTER C., non publié - Expositionsalter und paläoklimatische Interpretation der Gschnitz-Moräne in Trins, Stubai Alpen. Présenté à DEUQUA 2000, Berne (résumé).
- JOHNSEN S.J., DAHL-JENSEN D., GUNDESTRUP N., STEFFENSEN J.P., CLAUSEN H.B., MILLER H., MASSON-DELMOTTE V., SVEINBJÖRNSDÓTTIR A.E. & WHITE J., 2001 - Oxygen isotopes and palaeotemperature records from six Greenland ice-core stations: Camp Century, Dye 3, GRIP, GISP2, Renland and NorthGRIP. *Journal of Quaternary Science* 16/4: 299-307.
- LITT T., BRAUER A., GOSLAR T., MERKT J., BALAGA K., MÜLLER H., RALSKA-JASIEWICZOWA M., STEBICH M. & NEGENDANK J.F.W., 2001a - Correlation and synchronisation of Lateglacial continental sequences in northern central Europe based on annually laminated lacustrine sediments. *Quaternary Science Reviews* 20: 1233-1249.
- LITT T., BRAUER A., GOSLAR T., LOTTER A., MERKT J. & RALSKA-JASIEWICZOWA M., 2001b - Summary of ELDP working group „Central Europe”. Correlation of large-scale climate events during the Lateglacial and early Holocene as inferred from the study of annually laminated lake sediments in Europe. *Terra Nostra* 3: 6th ELDP Workshop, Potsdam, pp. 26-32.
- LOTTER A.F., EICHER U., SIEGENTHALER U. & BIRKS H.J.B., 1992 - Late-glacial climatic oscillations as recorded in Swiss lake sediments. *Journal of Quaternary Science* 7/3: 187-204.
- LOWE J.J. & WALKER M.J.C., 2000 - Radiocarbon dating the last glacial-interglacial transition (ca. 14-9 ^{14}C ka BP) in terrestrial and marine records: the need for new quality assurance protocols. *Radiocarbon* 42/1: 53-68.
- LOWE J.J., HOEK W.Z. & INTIMATE GROUP, 2001 - Inter-regional correlation of palaeoclimatic records for the Last Glacial-Interglacial Transition: a protocol for improved precision recommended by the INTIMATE project group. *Quaternary Science Reviews* 20: 1175-1187.
- MAISCH M., 1982 - Zur Gletscher- und Klimageschichte des alpinen Spätglazials. *Geographica Helvetica* 2: 93-104.
- MANGERUD J., ANDERSEN S.T., BERGLUND B.E. & DONNER J.J., 1974 - Quaternary stratigraphy of Norden, a proposal for terminology and classification. *Boreas* 3: 109-128.
- MOSCARIELLO A., 1996 - *Quaternary geology of the Geneva Bay (Lake Geneva, Switzerland)*. Université de Genève, Terre et Environnement n° 4.
- NIESSEN F., LISTER G. & GIOVANOLI F., 1992 - Dust transport and palaeoclimate during the Oldest Dryas in Central Europe – implications from varves (Lake Constance). *Climate Dynamics* 8: 71-81.
- RICHARD H. & BÉGEOT C., 2000 - Le Tardiglaciaire du massif jurassien: bilan et perspectives de recherches. *Quaternaire* 11/2: 145-154.
- SCHLÜCHTER C. & ROEHLISBERGER C., 1995 - 100000 Jahre Gletschergeschichte. *Gletscher im ständigen Wandel*. Publications ASSN n° 6. Zürich, Vdf, p. 47-63.
- SCHOENEICH P., 1998 - Le retrait glaciaire dans les vallées des Ormonts, de l'Hongrin et de l'Étivaz (Préalpes vaudoises). Institut de Géographie, Université de Lausanne, *Travaux et recherches*, 14.
- SCHOENEICH P., DORTHE-MONACHON C., BALLANDRAS S. & JAILLET S., 1998 - Le retrait glaciaire dans les vallées des Alpes et des Préalpes au Tardiglaciaire. Aoste. *Bulletin d'études préhistoriques et archéologiques alpines* IX: 23-37.
- SCHWANDER J., EICHER U. & AMMANN B., 2000 - Oxygen isotopes of lake marl at Gerzensee and Leysin (Switzerland), covering the Younger Dryas and two minor oscillations, and their correlation to the GRIP ice core. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 159: 203-214.
- THOUVENY N., CREER K.M. & BLUNK I., 1990. Extension of the Lac du Bouchet palaeomagnetic record over the last 120'000 years. *Earth and Planetary Science Letters* 97: 140-161.
- WALKER M.J.C., BJÖRCK S., LOWE J.J., CWYNAR L., JOHNSEN S., KNUDSEN K.-L., WOHLFARTH B. & INTIMATE GROUP, 1999 - Isotopic 'events' in the GRIP ice core: a stratotype for the Late Pleistocene. *Quaternary Science Reviews* 18: 1143-1150.
- WESSELS M., 1998 - Natural environmental changes indicated by Late Glacial and Holocene sediments from Lake Constance, Germany. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 140: 421-432.