

**Zeitschrift:** Eclogae Geologicae Helvetiae  
**Herausgeber:** Schweizerische Geologische Gesellschaft  
**Band:** 96 (2003)  
**Heft:** [1]: Lake systems from Ice Age to industrial time

**Artikel:** Evolution des assemblages de Chironomidae (Insecta : Diptera) pendant la Tardiglaciaire dans le Lac du Lautrey (Jura, France) : essai de reconstruction paléoenvironnementale  
**Autor:** Millet, Laurent / Verneaux, Valérie  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-169048>

### **Nutzungsbedingungen**

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

### **Conditions d'utilisation**

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

### **Terms of use**

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

**Download PDF:** 15.01.2026

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

# Evolution des assemblages de Chironomidae (Insecta : Diptera) pendant le Tardiglaciaire dans le Lac du Lautrey (Jura, France): essai de reconstruction paléoenvironnementale

LAURENT MILLET<sup>1</sup> & VALÉRIE VERNEAUX<sup>2</sup>

**Key words:** Paléoenvironment, Lateglacial, Chironomidae, Jura, lake.

**Mots clés:** Paléoenvironnement, Tardiglaciaire, Chironomidae, Jura, lac.

## ABSTRACT

The study of subfossil Chironomidae assemblages from a 2.50 m long core spanning the entire Late-glacial period in Lake Lautrey (Jura, France) displays the main climatic events of this interval, i.e. Oldest Dryas, Bølling/Allerød Interstadial and Younger Dryas. Each climatic event was characterized by a particular chironomid community associated with a corresponding trophic state of the lake. Oligotrophic conditions prevailed during the Oldest Dryas, whereas a strong eutrophication characterized the Bølling/Allerød Interstadial. Moreover, the chironomid biostratigraphy appears not monotonous during this Interstadial. Two large developments of macrophyte belt were proposed at the beginning of the Bølling and the end of the Allerød, respectively. Furthermore, from their particular chironomid fauna two short intervals were identified displaying comparatively lower organic content. These intervals correspond to the Older Dryas and the Intra Allerød Cold Phase (I.A.C.P.). The beginning of the Younger Dryas is shown by a strong and rapid change in chironomid assemblages. The pelagic primary production appeared much reduced whereas the benthic production was rather favored. The progressive change in chironomid assemblages and specially the decline of *C. ambigua* (Zetterstedt) during the rest of the Younger Dryas, is interpreted as an improvement of the environmental conditions.

## RESUME

L'évolution des assemblages de Chironomidae a été déterminée à haute résolution sur une séquence sédimentaire du lac du Lautrey (Jura, France) couvrant l'intégralité du Tardiglaciaire. Chacune des oscillations climatiques majeures classiquement reconnues pendant le Tardiglaciaire dans la zone Atlantique Nord est caractérisée par une composition taxonomique originale et peut donc être associée à un fonctionnement particulier du système lacustre. Celui-ci, globalement oligotrophe pendant le Dryas ancien, s'eutrophise nettement avec l'amélioration climatique caractérisant l'interstade Bølling/Allerød. Les assemblages de Chironomidae de cette dernière période ne sont pas homogènes et plusieurs oscillations mineures sont distinguées: deux périodes de développement important des ceintures végétales, au début du Bølling et à l'extrême fin de l'Allerød et deux zones d'appauvrissement des sédiments en matière organique assimilées au Dryas moyen et à l'Intra-Allerød Cold Phase (I.A.C.P.). Un changement important des assemblages s'effectue très brusquement au début du Dryas récent. L'activité biologique pélagique est réduite et la production primaire benthique est alors favorisée. La tendance longue décelée ensuite dans l'évolution des assemblages traduit une amélioration progressive des conditions environnementales pendant le reste du Dryas récent.

## 1.- Introduction

Ces dernières années ont vu un développement généralisé des études paléoenvironnementales multidisciplinaires mettant en oeuvre une très haute résolution temporelle. Ce type d'approche intégrée permet une compréhension plus approfondie de la réponse des écosystèmes terrestres et aquatiques aux changements du climat. Il autorise, en outre, l'étude de la variabilité interne des grandes oscillations climatiques et même des modalités de transition d'une phase à l'autre (Ammann et al. 2000). La reconstruction quantitative à contraintes multi-

ples des fluctuations des paramètres climatiques clés (températures, précipitations) apparaît aujourd'hui comme l'aboutissement ultime de ces études paléoenvironnementales (Guiot et al. 1993; Birks & Amman 2000; Magny et al. 2001).

C'est dans ce contexte qu'un projet intitulé «Changements de l'environnement et oscillations du climat dans le Jura et en Toscane depuis 15000 ans. Implications pour le développement des sociétés humaines», a été initié dans le cadre du programme ECLIPSE du Centre National de la

<sup>1</sup> Laboratoire de Chrono-Ecologie, UMR 6565 CNRS, UFR Sciences et Techniques, 25030 Besançon Cedex, France

<sup>2</sup> Laboratoire de Biologie et d'Ecophysiologie, EA 3184 USC INRA, UFR Sciences et Techniques, 25030 Besançon Cedex, France.

Corresponding author: valerie.verneaux@univ-fcomte.fr

Recherche Scientifique (CNRS) français. Il prévoit l'étude comparée de deux séquences sédimentaires lacustres (lac du Lautrey et lago dell'Accesa) impliquant l'analyse parallèle à haute résolution des variations stratigraphiques de plusieurs descripteurs dont notamment: les fluctuations du niveau de lac, le rapport isotopique  $O^{18}/O^{16}$ , la minéralogie et la susceptibilité magnétique des sédiments, les assemblages polliniques et les assemblages de Chironomidae.

Cette publication présente les résultats et les premières interprétations de l'évolution stratigraphique des assemblages de Chironomidae d'une séquence sédimentaire du lac du Lautrey. Cette séquence couvre l'intégralité du Tardiglaciaire, depuis la déglaciation würmienne jusqu'au début de l'Holocène.

Les principales oscillations climatiques du Tardiglaciaire (Dryas ancien, Bølling, Dryas moyen, Allerød, Dryas récent), aujourd'hui classiquement reconnues dans la zone Atlantique Nord (Björck et al. 1998) ont été caractérisées à l'échelle du massif jurassien à partir de l'étude de l'évolution du couvert végétal par Wegmüller (1966). Depuis ces travaux, de nombreuses études palynologiques impliquant une résolution chronologique plus fine ont permis d'asseoir ces premiers résultats et d'identifier, par ailleurs, plusieurs oscillations climatiques froides de moindre amplitude comme l'Intra Bølling Cold Phase (I.B.C.P.) et l'Intra Allerød Cold Phase (I.A.C.P.) ou oscillation de Gerzensee (Bégeot et al. 2000 ; De Beaulieu et al. 1994 ; Magny 1995). Parallèlement, l'enregistrement de l'histoire environnementale tardiglaciaire par d'autres descripteurs comme les variations de niveau des lacs (Magny & Richoz 2000), les isotopes stables (Aalsbersberg et al. 1999), les assemblages de Coléoptères (Lemdahl 2000), a fait l'objet de plusieurs études dans le Jura et les régions limitrophes (Plateau suisse, frange nord des Alpes).

Dans cette large zone géographique, rares sont les reconstructions paléoenvironnementales fondées sur l'évolution stratigraphique de la composition des assemblages de Diptères Chironomidae. Les travaux de Brooks (2000) et Hofmann (1983, 2001) concernent des séquences lacustres du Plateau suisse, alors qu'aucune investigation de ce type n'a encore été entreprise dans le massif jurassien.

## 2.- Les Chironomidae: outil de reconstruction paléocologique

Le développement larvaire des Chironomidae (Insecta : Diptera) est aquatique et passe par quatre stades successifs. A chaque changement de stade, une exuvie larvaire est produite. Les capsules céphaliques, fortement chitinisées sont conservées dans les sédiments. La reconstitution des assemblages se fonde alors sur l'extraction et la détermination de ces capsules céphaliques. Grâce à plusieurs de ses attributs, la famille des Chironomidae constitue un groupe privilégié pour l'étude

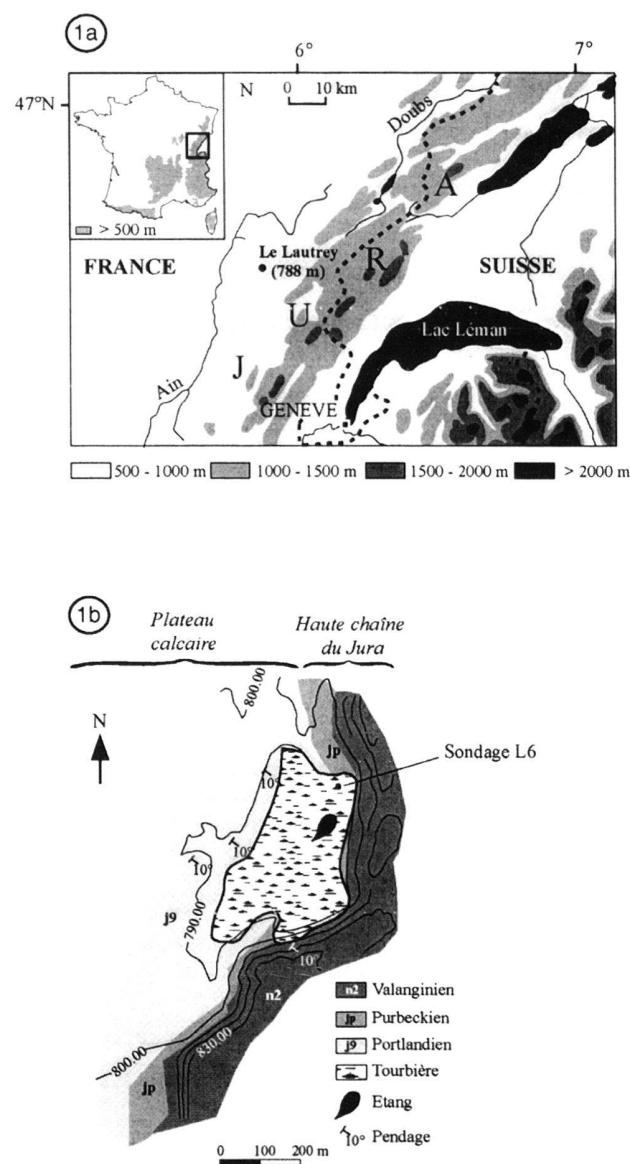


Fig. 1.a. Carte de localisation du site d'étude : le Lac du Lautrey (Jura, France).

Fig. 1.b. cadre géologique et localisation du sondage L6 (d'après Bossuet et al. 2000).

des changements environnementaux (Brooks 2000). Leurs larves sont capables de coloniser la plupart des milieux aquatiques même ceux soumis à des conditions environnementales extrêmes. Dans les lacs, elles colonisent les sédiments de la zone littorale à la zone la plus profonde. Cette famille comprend un grand nombre d'espèces sténoèces, inféodées à des conditions environnementales particulières (Brooks 2000). D'après la composition des assemblages anciens, il est donc

possible de reconstruire les conditions du milieu régnant au moment du dépôt. Les assemblages possèdent la faculté de répondre rapidement à un changement de conditions environnementales (Brooks 1995). La détection d'événements et d'évolutions environnementales même très rapides est donc possible.

### 3.- Site d'étude et méthode

Le lac du Lautrey est localisé dans le Jura français (46°35'14'' N, 5°51'50'' E) à environ 800m d'altitude (Fig. 1a). La dépression lacustre, creusée dans le substratum calcaire, est située au centre d'un bassin versant de 2.5 km<sup>2</sup>. Elle est quasiment comblée par les dépôts quaternaires ; il ne subsiste aujourd'hui qu'un petit plan d'eau résiduel cerné par une vaste tourbière de 500X200 m (Fig. 1b).

La reconnaissance préalable de la nature et de la géométrie des remplissages sédimentaires de la cuvette par les techniques géophysiques et par 42 forages mécaniques (Bossuet et al. 2000), a permis de localiser un point de sondage (i) répondant aux exigences combinées de l'étude des différents marqueurs envisagés (ii) fournissant un enregistrement sédimentaire tardiglaciaire suffisamment dilaté pour parvenir à la résolution temporelle souhaitée. Une carotte de sédiments longue de 5 m a donc été extraite à l'aide d'un carottier russe GYK au point de sondage 6 (Fig. 1b).

La chronologie des remplissages sédimentaires (Fig. 2) a été établie en référence (i) à la stratigraphie pollinique (Magny et al. 2002), (ii) à 12 dates radiocarbone AMS déterminées à partir de macro-restes végétaux d'origines terrestres (Magny et al. 2002), (iii) à la position du repère chronologique standard, le LaacherSee Tephra, visible à l'œil nu et dont le dépôt est contemporain de 12836 cal BP (Ammann et al. 1998), (iv) aux changements lithostratigraphiques associés aux transitions Dryas ancien/Bølling et Allerød/Dryas récent qui constituent de bons repères chronologiques dans les enregistrements sédimentaires des lacs jurassiens (Magny 1992).

Le pas d'échantillonnage a été adapté afin de déterminer une résolution temporelle moyenne de 25 ans par échantillon. La portion de séquence sédimentaire correspondant au Dryas ancien, à l'interstade Bølling/Allerød et au début du Préboréal a donc été totalement découpée en échantillons de 1 cm tandis que cette épaisseur a été ajustée à 0.5 cm dans les sédiments du Dryas récent.

L'extraction des restes de Chironomidae suit la procédure décrite par Hofmann (1986). Après une déflocculation à chaud par une solution de KOH (10%) puis une décarbonatation à chaud par une solution d'HCl (10 %), les sédiments sont tamisés à 100 et 200 µm. Les refus de tamis sont ensuite triés manuellement à la pince fine sous loupe binoculaire de grossissement 20 à 40X. La masse de sédiment traité est ajustée afin de finalement obtenir de 50 à 100 capsules céphaliques par échantillon. Chaque capsule céphalique ex-

traite est montée entre lame et lamelle puis déterminée au microscope. Les déterminations s'appuient sur les clés de Wiederholm (1983), Hofmann (1971), et sont menées le plus souvent jusqu'au niveau générique. Il faut cependant souligner que, parfois, ce niveau de détermination ne peut pas être atteint. Ainsi, sous la dénomination Tanytarsini sont classées les capsules céphaliques qui possèdent le mentum et les plaques ventromentales caractéristiques de cette tribu mais dont l'identification plus précise est impossible car il leur manque des pièces morphologiques (mandibule, prémandibules) ou car elles proviennent des premiers stades larvaires.

Le diagramme des abondances relatives de chaque taxon en fonction de la profondeur a été élaboré grâce aux logiciels intégrés Tilia et Tilia graph (Grimm 1991). La détermination des zones a été réalisée par une analyse de cluster stratigraphiquement contrainte, à l'aide du programme CONISS (Grimm 1991).

### 4.- Résultats

Le diagramme de la figure 2 présente l'évolution stratigraphique des abondances relatives des principaux taxons de Chironomidae. A partir des assemblages de Chironomidae, l'analyse de cluster a permis d'individualiser 5 zones principales identifiées de Ch-1 à Ch-5. La grande zone Ch-3 a été subdivisée en 7 sous zones notées de Ch-3a à Ch-3g.

#### Ch-1 (496 cm - 464 cm)

La zone est globalement caractérisée par une faible richesse taxonomique. Les assemblages sont nettement dominés par *Stictochironomus* (Kieffer) dont l'abondance relative atteint 80 %. De plus, on soulignera la présence significative d'un groupe de taxons composé de: *Protanypus* (Kieffer), *Monodiamesa* (Kieffer), *Thiennemanniola* (Kieffer), *Heterotrissocladus* (Spärck), *Abiskomyia* (Edwards), *Paraccladius* (Hirvenoja), et *Corynocera oliveri* (Lindeberg).

#### Ch-2 (464 cm - 442 cm)

Cette zone se distingue par la disparition abrupte de *Stictochironomus*, remplacé par *Corynocera ambigua* (Zetterstedt). Ce taxon domine à son tour les assemblages de Chironomidae dans les mêmes proportions puisque son abondance relative atteint près de 70 %. On constate par ailleurs la disparition de *Thiennemanniola*, *Abiskomyia*, l'apparition de *Chironomus* (Meigen) et l'augmentation de *Procladius* (Skuse). La richesse taxonomique reste faible.

#### Ch-3 (442 cm - 324 cm)

Cette grande zone est marquée par une augmentation importante de la richesse taxonomique avec l'apparition et le développement de nombreux taxons. Parallèlement *Corynocera ambigua* ainsi que *Parakiefferiella triquetra* (Pankratov)

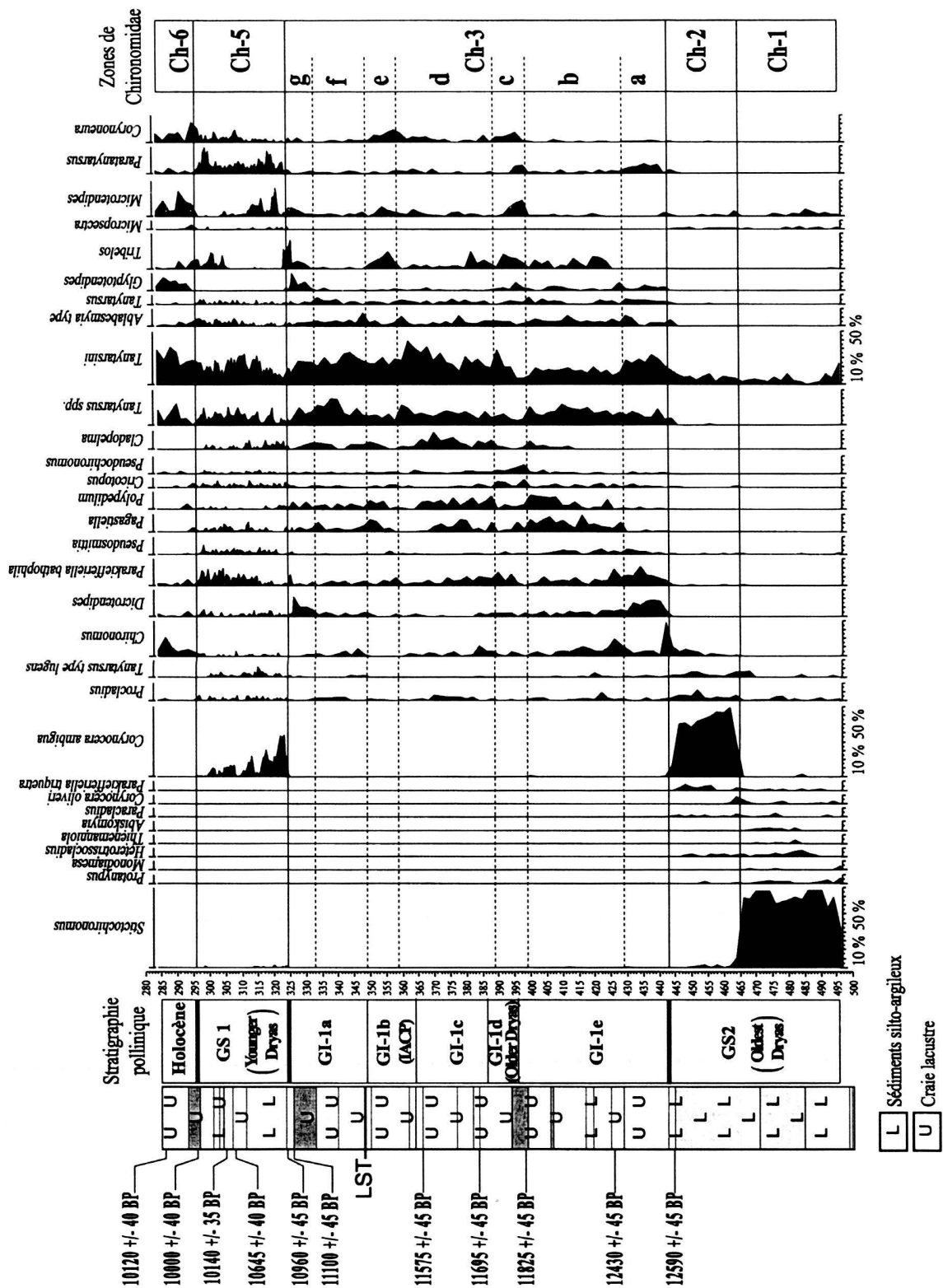


Fig. 2. Diagramme des assemblages de Chironomidae (Lautrey, sondage L6).

va), *Paracladius*, *Heterotrissocladius* disparaissent des assemblages. La zone est finalement dominée par les Tanytarsini et présente des fortes abondances relatives de taxons comme *Ablabesmyia* (Johannsen), *Chironomus*, *Polypedilum* (Kieffer), *Dicrotendipes* (Kieffer), ou *Pagastiella* (Brundin).

Cependant, cette zone n'apparaît pas totalement homogène et plusieurs sous zones s'individualisent par une composition taxonomique particulière.

Les sous zones Ch-3a et Ch-3g présentent des abondances relatives élevées de *Dicrotendipes*, *Parakiefferiella bathophila* (Kieffer), *Glyptotendipes* (Kieffer) et *Paratanytarsus* (Thienemann & Bause) tandis que les sous zones Ch-3e et Ch-3c se distinguent par des assemblages plus riches en *Pseudochironomus* (Malloch), *Tribelos* (Townes), *Corynoneura* (Winnertz) et *Microtendipes* (Kieffer).

#### Ch-4 (324 cm - 296 cm)

La richesse taxonomique y est élevée. La zone est essentiellement caractérisée par un net retour de *Corynocera ambigua* dont les abondances relatives atteignent 40%. Ce retour est accompagné par la hausse de *Microtendipes*, *Paratanytarsus*, et de *Tanytarsus lugens-type*. On observe conjointement une disparition de *Chironomus*, et la baisse de taxons comme *Polypedilum* ou *Glyptotendipes*.

À l'intérieur de la zone Ch-4, on note une évolution de la composition des assemblages. Elle est particulièrement visible à travers les changements stratigraphiques des abondances relatives de *Corynocera ambigua* et de *Microtendipes* qui sont plus élevées au début de la zone tandis que les abondances relatives d'autres taxons comme *Ablabesmyia*, *Parakiefferiella bathophila* ou *Corynoneura* présentent la tendance inverse.

#### Ch-5 (296 cm - 284 cm)

Les assemblages d'où disparaît totalement *Corynocera ambigua*, sont dominés à nouveau par les Tanytarsini, et présentent des abondances relatives importantes de *Chironomus* et de *Glyptotendipes*.

### **5.- Interprétations paléoenvironnementales**

La zonation obtenue à partir des changements de composition des assemblages de Chironomidae s'ajustent globalement assez bien avec la zonation pollinique de la séquence sédimentaire. Le Dryas ancien correspond aux zones Ch-1 et Ch-2, l'interstade Bølling/Allerød à la zone Ch-3, le Dryas récent à la zone Ch-4, et enfin le début du Préboréal à la zone Ch-5. D'une façon générale, la composition des assemblages de Chironomidae de cette séquence sédimentaire du Lautrey apparaît donc sensible aux changements environnementaux et climatiques du Tardiglaciaire.

Grâce aux données accumulées sur l'écologie actuelle

des taxons (aire de répartition, habitat, préférendum thermique, mode de nutrition), la composition des assemblages de Chironomidae caractérisant les différentes zones est interprétée en termes de conditions paléoenvironnementales. Sur cette base, un premier essai d'interprétation paléoécologique des changements stratigraphiques des assemblages de Chironomidae révélés par notre étude est proposé.

#### *a.- Le Dryas ancien (Ch-1 et Ch-2)*

Les faibles richesses taxonomiques des assemblages révèlent une faible diversification du milieu accompagnée par l'existence de conditions environnementales limitantes au développement de la vie aquatique. Cette hypothèse est appuyée par la prépondérance de la sédimentation détritique (sédiments silto-argileux) sur la sédimentation carbonatée biochimique, montrant ainsi une activité biologique très réduite au sein de la masse d'eau. La zone est enfin globalement caractérisée par la présence de taxons (*Abiskomyia*, *Protanypus*, *Heterotrissocladius*) typiques des lacs oligotrophes à mésotrophes (Saether 1979) avec une production primaire et des concentrations en nutriments limitées.

La forte domination de *Stictochironomus* dans les assemblages de Ch-1 est difficilement interprétable. Ce genre comprend un nombre important d'espèces aux écologies très différentes. On pourrait cependant émettre l'hypothèse de l'existence d'une forte proportion de la fraction sableuse dans des sédiments appauvris en particules organiques. En effet, certaines espèces de *Stictochironomus* colonisent préférentiellement ce type de substrat (Pinder & Reiss 1983); de plus le mentum de nombreux spécimens de ce genre, extraits de nos échantillons, présentent une usure caractéristique de la présence importante de sable dans les sédiments (Pinder & Reiss 1983).

La deuxième partie du Dryas ancien (Ch-2) est caractérisée par le remplacement de *Stictochironomus* par *Corynocera ambigua*. Ce taxon est souvent considéré comme indicateur de conditions climatiques froides. Cependant des études récentes (Brodersen & Lindegaard 1999a) ont montré que la relation entre basse température et *C. ambigua* n'était pas univoque. Ce taxon serait plutôt révélateur d'une transparence importante des eaux, du développement d'un lit de macrophytes benthiques (Characées par exemple) qui par son action stabilisatrice des fonds favoriserait la production de diatomées benthiques. On peut donc suspecter pendant cette période une activité pélagique toujours réduite, tandis que la production primaire benthique s'intensifierait. L'apparition de *Chironomus* révèle, en outre, un enrichissement du système lacustre et une accumulation sédimentaire plus intense de la matière organique. En effet, ce taxon capable de résister à une désoxygénation importante (Heinis & Crommentuijn 1992, Laville 1971), souvent associé aux sédiments meubles vaseux (Petridis & Sinis 1995, Maitland 1979), est souvent considéré comme indicateur d'un système lacustre riche en nutriments (Johnson



1989).

Finalement, au Dryas ancien, l'activité biologique lacustre apparaît réduite même si elle tend à s'intensifier dans la deuxième partie de cette période. Il semble donc régner pendant cette période des conditions environnementales limitantes: apports nutritifs pauvres dus à une végétation du bassin versant rare et essentiellement composée d'herbacées (Bégeot et al. 2000) et/ou conditions climatiques (température) trop rudes.

#### b.- Interstade Bølling/Allerød (Ch-3)

Durant cette période, une diversification des habitats peut être déduite de l'augmentation importante de la richesse taxonomique. Une intensification de l'activité biologique est suggérée par la sédimentation carbonatée biochimique (craie lacustre) dominante dans les dépôts. On observe aussi l'apparition et le développement de taxons (*Chironomus*, *Polypedilum*) présentant une plus grande affinité vis à vis de l'accumulation de matière organique dans les sédiments (Maitland 1979; Pinder & Reiss 1983; Wolfram 1996). D'une façon générale, la composition des assemblages de Ch-3, détermine, d'après les typologies lacustres classiques, un système lacustre mésotrophe à eutrophe (Saether 1979) avec une production primaire et des concentrations en nutriments (Azote, Phosphore) plus élevées. Ces déductions s'accordent bien avec l'amélioration climatique (réchauffement) qui caractérise l'Interstade Bølling/Allerød (Birks & Ammann 2000) et qui favoriserait ainsi l'intensification de la vie aquatique.

La composition originale des assemblages de Ch-3a et Ch-3g suggère un développement particulier des ceintures végétales macrophytiques pendant ces périodes. En effet, le genre *Glyptotendipes* (autrefois nommé *Phytotendipes*) comporte un grand nombre d'espèces fortement inféodées aux macrophytes, creusant même des galeries dans les feuilles (Thut 1968, Laville 1971, Pinder & Reiss 1983, Tourenq 1970). De plus, *Dicrotendipes*, se rencontre souvent à proximité ou dans les zones à macrophytes (Epler 1987, Wolfram 1996). Le développement macrophytique de Ch-3a pourrait correspondre à la phase de colonisation végétale des rives du lac qui suit le brusque réchauffement du début du Bølling. Ch-3g est contemporaine de la fin de l'Allerød marquée dans la région par une baisse des niveaux lacustres (Magny 2001). Par le jeu de la dynamique centripète de comblement carbonaté pendant les 2000 ans de l'interstade Bølling/Allerød, une large plate-forme littorale s'est formée (Magny 1992). Il est donc probable que la baisse du niveau lacustre avait augmenté ainsi de façon considérable la surface potentiellement colonisable par les macrophytes aquatiques et semi-aquatiques.

Les abondances élevées de *Microtendipes* et de *Pseudochironomus*, distinguant les deux sous-zones Ch-3c et Ch-3e révèlent une diminution relative de la fraction organique fine des sédiments durant ces périodes. Ces taxons colonisent préférentiellement des substrats plus sableux (McGarigle

1980, Palomaki 1989, Pinder & Reiss 1983, Sublette 1957). Grâce aux références chronologiques fournies par les dates radiocarbones, le niveau de cendres du L.S.T et la stratigraphie pollinique (Fig. 2), les zones Ch-3c et Ch-3e peuvent être assimilées respectivement aux oscillations froides du Dryas moyen et de l'I.A.C.P. (Bégeot et al. 2000).

#### c.- Dryas récent (Ch-4)

Le retour abrupt de *Corynocera ambigua* et ses fortes abondances relatives révèlent une transparence accrue des eaux, un accroissement important de la surface de sédiments colonisée par des lits de macrophytes benthiques, et enfin une production plus intense des diatomées et des micro-organismes photosynthétiques benthiques. On peut donc suspecter une baisse de l'activité biologique pélagique. Cette hypothèse est confortée par le retour d'une sédimentation à dominante détritique. Il faut cependant remarquer que la richesse taxonomique reste élevée et que de nombreux taxons présentant des affinités avec un milieu organique voient leur abondances relatives fortement diminuées, mais sont tout de même toujours bien présents dans les assemblages.

L'évolution interne à la zone Ch-4, bien illustrée par les abondances relatives de *C. ambigua* est difficilement interprétable. L'enregistrement fourni par les assemblages de Chironomidae montre cependant que le changement environnemental correspondant au Dryas récent survient brutalement et de façon plus intense au début de la zone. On constate ensuite une évolution continue des assemblages tout au long du Dryas récent qui traduirait un changement progressif du fonctionnement du système lacustre vers un système caractérisé par une production primaire pélagique plus intense. Cette dynamique interne à la zone identifiée au Dryas récent s'accorde bien avec les données paléo-climatiques obtenues dans d'autres sites jurassiens ou dans les régions limitrophes de ce massif (Lotter et al. 1992).

#### d.- Début du Préboreal (Ch-5)

La domination de taxons comme *Glyptotendipes* et *Chironomus* est globalement indicatrice de sédiments chargés en particules organiques fines (vases), d'une désoxygénation profonde plus accentuée et d'un système plus riche en nutriments. Le retour franc de la sédimentation biochimique carbonatée atteste en outre de l'augmentation de l'activité biologique aquatique.

## 6.- Conclusions

Au niveau actuel de nos interprétations, il a été clairement démontré que chaque zone climatique est caractérisée par un type d'assemblages chironomidiens particulier qui correspond à un mode de fonctionnement original du système lacustre.

Pendant le Dryas ancien, la composition des assemblages de Chironomidae suggère un système aquatique oligotrophe, pauvre en nutriments, avec une production primaire aquatique faible et des sédiments faiblement organiques. On peut donc supposer l'existence de conditions environnementales (climat, apports en nutriments) limitant le développement de la vie aquatique. Cette période est subdivisée en deux parties. Dans la deuxième, une augmentation limitée de l'activité aquatique peut être déduite; cette augmentation est cependant circonscrite à la zone benthique.

Pendant l'Interstade Bølling/Allerød, le niveau trophique du système lacustre (sensu Saether 1979) augmente. La faune chironomidienne est plus diversifiée. Les assemblages révèlent une production primaire plus intense, des concentrations en nutriments plus élevées et une accumulation de matière organique dans les sédiments. Ces changements peuvent être mis en relation avec une amélioration des conditions climatiques (Birks & Ammann 2000) et une évolution du couvert végétal du bassin versant caractérisée notamment par la colonisation forestière (Begeot et al. 2000).

Les assemblages de Chironomidae du Dryas récent permettent de conclure globalement à une baisse de l'activité aquatique pélagique, une production benthique plus élevée, un accroissement de la transparence de la colonne d'eau et à un appauvrissement relatif du système en matière nutritives. Nos résultats montrent en outre que le changement environnemental correspondant au Dryas récent s'effectue très brusquement, en quelque dizaines d'années d'après notre résolution temporelle, et avec une intensité maximale enregistrée au début de cette période. Ensuite l'évolution des assemblages tout au long du Dryas récent, traduit une amélioration progressive des conditions environnementales.

Le Préboréal est marqué par le retour d'assemblages dont la composition est caractéristique d'un système lacustre de niveau trophique élevé.

D'après ces premières interprétations, la composition des assemblages de Chironomidae est sous la dépendance directe des facteurs trophiques lacustres. Elle résulte en fait de nombreux mécanismes imbriqués: la quantité et la nature des apports allochtones, l'intensité de la production primaire et enfin la faculté du système lacustre à minéraliser la sédimentation organique, modulée notamment par la hauteur d'eau, les paramètres thermiques (stratification, turn-over), la morphologie de la cuvette, et l'oxygénation de l'hypolimnion.

Ainsi l'élaboration d'une reconstruction paléoenvironnementale plus aboutie nécessitera tout d'abord, à partir de la composition des assemblages de Chironomidae des différentes zones, une reconstruction plus approfondie des changements affectant les descripteurs clés du fonctionnement lacustre. On pourra notamment s'appuyer sur les modèles de reconstruction quantitative de la concentration en chlorophylle-*a* (Brodersen & Lindegaard 1999b), de l'Anoxic Factor (Quinlan et al. 1998), de la concentration en Phosphore total

(Lotter et al. 1998, Brooks et al. 2001) et du niveau trophique (Saether 1979, Warwick 1980).

Ces résultats seront ensuite confrontés à ceux livrés par l'étude (i) des descripteurs du fonctionnement lacustre: analyse qualitative (origine, degré de dégradation) et quantitative de la matière organique des sédiments lacustres, détermination du bilan hydrique (ii) des descripteurs du bassin versant: évolution du couvert végétal, intensité de l'érosion, nature des sols.

On pourra ainsi accéder à un niveau supérieur de compréhension de la réponse de l'écosystème lacustre dans sa globalité (lac et bassin-versant), aux changements environnementaux et climatiques tardiglaciaires et holocènes qui pourront, par ailleurs, être évalués quantitativement à partir des assemblages polliniques ou des assemblages de Chironomidae (Heiri 2001).

## Remerciements

Nous adressons tous nos remerciements à Michel Magny et à l'ensemble de l'équipe du programme ECLIPSE : «Changements de l'environnement et oscillations du climat dans le Jura et en Toscane depuis 15000 ans. Implications pour le développement des sociétés humaines» sans qui ce travail n'aurait pas pu être réalisé.

## REFERENCES

- AALBERSBERG, G., BEETS, C.J., VANDENBERGHE, J.F. & COEVERT 1999: Natural climate variability on the Lateglacial: high resolution stable isotope analyses and geochemistry from Jura lakes (Eastern France). *Terra Nostra* 10, 15-18.
- AMMANN, B., BROOKS, S., EICHER, U., VON GRAFENSTEIN, U., HOFMANN, W., VAN DER KNAAP, P., LEMDAHL, G., SCHWANDER, J., TOBOLSKI, K. & WICK, L. 1998: Wie reagieren aquatische und terrestrische Ökosysteme und rasche Klimaänderungen ? Nationalen Forschungsprogrammes 31, 102 p.
- AMMANN, B., BIRKS, H.J.B., BROOKS, S.J., EICHER, U., VON GRAFENSTEIN, U., HOFMANN, W., LEMDAHL, G., SCHWANDER, J., TOBOLSKI, K. & WICK, L. 2000: Quantification of biotic responses to rapid climatic changes around the Younger Dryas – a synthesis. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.* 159, 313-347.
- BEGEOT, C., RICHARD, H., RUFFALDI, P. & BOSSUET, G. 2000: Enregistrement pollinique des changements climatiques de l'Interstade Bølling/Allerød dans l'est de la France. *Bull. Soc. Géol. France.* 171, (1), 51-58.
- BIRKS, H.H. & AMMANN, B. 2000: Two terrestrial records of rapid climatic change during the glacial-Holocene transition (14,000-9,000 calendar years B.P.) from Europe. *P. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* vol 97: 1390-1394.
- BJÖRCK, S., WALKER, M.J.C., CWYNAR, L.C., JOHNSEN, S., KNUDSEN, K.L., LOWE, J.J. & WOHLFARTH, B. 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. *J. Qua-*



- BOSSUET, G., CAMERLINCK, C., DABAS, M. & MARTIN, J. 2000: Contribution des méthodes géophysiques (électrique, électromagnétique et radar du sol) à l'étude des dépressions lacustres. L'exemple du Lautrey (Jura, France). *Eclogae geol. Helv.* 93, 147-156.
- BRODERSEN, K.P. & LINDEGGARD, C. 1999a: Mass occurrence and sporadic distribution of *Corynocera ambigua* Zetterstedt (Diptera, Chironomidae) in danish lakes. Neo- and palaeolimnological records. *J. Paleolimnol.* 22, 41-52.
- 1999b: Classification, assessment and trophic reconstruction of Danish lakes using chironomids. *Freshwater Biol.* 42(1), 143-157.
- BROOKS, S. J. 1995: Three thousand years of Environmental History in a Cairngorms Lochan Revealed by Analysis of Non-biting Midges (Insecta: Diptera: Chironomidae). *Bot. J. Scotl.* 48 (1), 89-98.
- 2000: Late-glacial fossil midge stratigraphies (Insecta: Diptera: Chironomidae) from the Swiss Alps. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 159, 261-279.
- BROOKS, S.J., BENNION, H. & BIRKS, H.J.B. 2001: Chironomid- and diatom-phosphorus inference models and their application to a sediment core from Betton Pool, Shropshire, England. *Freshwater Biol.* 46, 511-532.
- DE BEAULIEU, J.L., RICHARD, H., RUFFALDI, P. & CLERC, J. 1994: History of vegetation, climate and human action in the french Alps and the Jura over the last 15,000 years. *Dissert. Bot.* 234, 253-275.
- EPLER, J.H. 1987: Revision of the nearctic *Dicortendipes* Kieffer, 1913 (Diptera: Chironomidae). *Evolutionary Monographs* 9.
- GRIMM, E.C. 1991: TILIA and TILIAGRAPH Software. Illinois State Museum.
- GUIOT, J., HARRISON, S.P. & PRENTICE, I.C. 1993: Reconstruction of Holocene pattern of moisture in Europe using pollen and lake level data. *Quat. Res.* 40, 139-149.
- HEINIS, F.H. & CROMMENTUJN, T. 1992: Behavioural responses to changing oxygen concentrations of deposit feeding chironomid larvae (Diptera) of littoral and profundal habitats. *Arch. Hydrobiol.* 124 (2), 173-185.
- HEIRI, O. 2001: Holocene Palaeolimnology of Swiss Mountain Lakes Reconstructed Using Subfossil Chironomid Remains. Inauguraldissertation der Philosophisch-naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Bern; Ph.D-thesis.
- HOFMANN, W. 1971: Zur Taxonomie und Palökologie subfossiler Chironomiden (Dipt.) in Seesedimenten. *Arch. Hydrobiol. Beih. Ergeb. Limnol.* 6, 1-50.
- 1983: Stratigraphy of subfossil Chironomidae and Ceratopogonidae (Insecta: Diptera) in late-glacial littoral sediments from Lobsigensee (Swiss Plateau). *Studies in the Late Quaternary of Lobsigensee* 4. *Revue Paléobiol.* 2, 205-209.
- 1986: Chironomid analysis. In: B.E. Berglund (Editor), *Handbook on Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology*. Wiley, Chichester, 715-727.
- 2001: Late-Glacial/Holocene succession of the chironomid and cladoceran fauna of the Soppensee (Central Switzerland). *J. Paleolimnol.* 25, 411-420.
- JOHNSON, R.K. 1989: Classification of profundal chironomid communities in oligotrophic/humic lakes of Sweden using environmental data. *Acta Biol. Oecol. Hung.* 3, 167-175.
- LAVILLE, H. 1971: Recherches sur les Chironomides [Diptera] lacustres du massif de Néouvielle (Hautes-Pyrénées). *Ann. Limnol.* 7 (2), 173-332.
- LEMDAHL, G. 2000: Lateglacial an early Holocene insect assemblages from sites at different altitudes in the Swiss Alps-implication on climate and environment. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.* 159, 293-312.
- LOTTER, A.F., EICHER, U., BIRKS, H.J.B. & SIEGENTHALER, U. 1992: Late-glacial climatic oscillations as recorded in Swiss lake sediments. *J. Quaternary Sci.* 7, 187-204.
- LOTTER, A.F., BIRKS, H.J.B., HOFMANN, W. & MARCHETTO, A. 1998: Modern diatom, cladocera, chironomid, and chrysophyte cyst assemblages as quantitative indicators for the reconstruction of past environmental conditions in the Alps. II. Nutrients. *J. Paleolimnol.* 19, 443-463.
- MAGNY, M. 1992: Sédimentation et dynamique de comblement dans les lacs du Jura au cours des 15 derniers millénaires. *Revue d'Archéométrie*, 16, 27-49.
- 1995: Paleohydrological changes in Jura (France), and climatic oscillations around the North Atlantic from Allerød to Preboreal. *Geogr. Phys. Quatern.* 49 (3), 401-408.
- 2001: Paleohydrological changes as reflected by lake-level fluctuations in the Swiss Plateau, the Jura Mountains and the northern French Pre-Alps during the Last Glacial-Holocene transition: a regional synthesis. *Global Planet. Change* 30, 85-101.
- MAGNY, M. & RICHOT, I. 2000: Lateglacial lake-level changes at Montilier-Strandweg, lake Morat, Switzerland and their climatic significance. *Quaternaire* 11, (2), 129-144.
- MAGNY, M., GUIOT, J. & SCHOELLAMMER, P. 2001: Quantitative reconstruction of Younger Dryas to mid-Holocene paleoclimates at Le Locle, swiss Jura, using pollen and lake-level data. *Quat. Res.* 56, 170-180.
- MAGNY, M., BÉGEOT, C., RUFFALDI, P., BOSSUET, G., MARGUET, A., BILLAUD, Y., MILLET, L., VANNIERE, B. & MOUTHON, J. 2002: Variations paléohydrologiques de 14700 à 11100 cal BP dans le Jura et les Pré-Alpes françaises. In: BRAVARD, J.P. & MAGNY, M. Eds, *Variations paléohydrologiques en France depuis 15000 ans*. Editions Errance, Paris.
- MAITLAND, P.S. 1979: The distribution of zoobenthos and sediments in Loch Leven, Kinross, Scotland. *Arch. Hydrobiol.* 85 (1), 98-125.
- MCGARRIGLE, M.L. 1980: The distribution of chironomid communities and controlling sediment parameters. In L. Derravaragh, Ireland. *Chironomidae. Ecology, Systematics, Cytology and Physiology*. Ed. Murray D.A., Pergamon Press, Oxford-New-York, 275-282.
- PALOMÄKI, R. 1989: The chironomid larvae in the different depth zones of the littoral in some finnish lakes. *Acta Biol. Oecol. Hung.* 3, 257-266.
- PETRIDIS, D. & SINIS, A. 1995: Benthos of Lake Mikri Prespa (North Greece). *Hydrobiologia*. 304, 185-196.
- PINDER, L.C.V. & REISS, F. 1983: 10: The larvae of Chironominae (Diptera: Chironomidae) of the Holarctic region-Key and diagnoses. *Ent. Scand. Suppl.* 19, 293-435.

- QUINLAN, R., SMOL, J.P. & HALL, R.I. 1998: Quantitative inference of past hypolimnetic anoxia in south-central Ontario lakes using fossil midges (Diptera: Chironomidae). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 55, 587-596.
- SAETHER, O.A. 1979: Chironomid communities as water quality indicators. *Holarctic Ecol.*, 2, 65-74.
- SUBLETTE, E. 1957: The ecology of the macroscopic bottom fauna in lake Texoma (Denison reservoir), Oklahoma and Texas. *Am. Nat.* 57, 371-402.
- THUT, R.N. 1968: A study of the profundal bottom fauna of lake Washington. *Ecol. Monogr.*, 39 (1), 79-100.
- TOURENQ, J.N. 1970: Complément à l'inventaire des Chironomides de Camargue. *Ann. Limnol.* 6, 363-370.
- WARWICK, W.F. 1980: Chironomidae (Diptera) responses to 2800 years of cultural influence: a palaeolimnological study with special reference to sedimentation, eutrophication, and contamination processes. *Can. Entomol.* 112(11), 1193-1238.
- WEGMULLER, S. 1966: Über die Spät- und postglaziale Vegetationsgeschichte des Südwestlichen Jura. *Beitr. Geobot. Landesaufn. Schweiz.* 48, 142p.
- WIEDERHOLM, T. 1983: Chironomidae of the Holarctic region. Keys and Diagnoses. Part 1. Larvae. *Ent. Scand. Suppl.*, 19, 1-457.
- WOLFRAM, G. 1996: Distribution and production of chironomids (Diptera: Chironomidae) in a shallow, alkaline lake (Neusiedler See, Austria). *Hydrobiologia* 318, 103-115.
- Communication submitted October 17 - 18, 2001  
Manuscript accepted December 2, 2002

