

Eunotia renata Lange-Bertalot 2011 (Bacillariophycée) Un taxon nouveau pour la flore diatomique française Caractéristique de l'écologie et survivance des diatomées aérophiles Exemple du bassin de l'Agout

Jean BERTRAND¹ et Clother COSTE²

Résumé

Eunotia renata (Lange-Bertalot) est une diatomée rarissime en Europe, connue seulement des régions arctiques, à l'exception d'une récolte non publiée en Allemagne du sud-est. Nous décrivons sa première découverte en France, près de Castres (Tarn) en bordure de la rivière Agout dans des petits amas de mousses plus ou moins desséchées d'*Isothecium myosuroides* (Bryophytes). Ce fait déjà surprenant le fut encore plus par la présence de diatomées vivantes en quantité variables en fonction des lieux de récoltes. Cette espèce, accompagnée de plusieurs taxons connus comme aérophiles, est probablement aérophile elle-même par sa présence dans la mousse. Conjointement, une méthode nouvelle de fixation et de coloration persistante est testée afin de constituer une collection durable et d'étudier la survivance des cellules dans les récoltes parmi les cohortes accompagnatrices de cette diatomée. Une étude écologique locale est engagée permettant de mieux situer cette nouvelle diatomée.

Mots clés : Bacillariophyceae, *Eunotia renata*, diatomée aérophile, survivance, coloration.

Abstract

Eunotia renata (Lange-Bertalot) is an extremely rare diatom in Europe, known only from Arctic regions, with the exception of an unpublished collection from southeast Germany. We describe its first discovery in France, near Castres (Tarn) on the banks of the Agout river, in small clusters of more or less dried-out mosses of *Isothecium myosuroides* (Bryophytes). This already surprising fact was made even more so by the presence of living diatoms in varying quantities, depending on where they were collected. This species, along with a number of taxa known to be aerophilic, is probably aerophilic itself by virtue of its presence in moss. At the same time, a new method of fixation and persistent staining is being tested in order to build up a lasting collection and to study the survival of cells in harvests among the accompanying cohorts of this diatom. A local ecological study is underway to better situate this new diatom.

Mots clés : Bacillariophyceae, *Eunotia renata*, aerophilic diatom, survivance, coloration.

1. Introduction

Eunotia renata appartient au cortège des espèces de diatomées récemment apparues dans les eaux françaises. Elle fut découverte et dénommée par Lange-Bertalot et décrite dans le volume 6 des « Diatoms of Europe » en 2011. Extrêmement rare, elle n'était jusqu'alors connue que des régions arctiques et d'Allemagne, mais seulement à l'état de frustules mortes. Notre surprise fut

de la découvrir vivante, sur des bryophytes le long de la rivière Agout près de Castres (France).

Considérée comme une relique nous n'avions aucune idée de l'écologie de cette diatomée, puisque la préparation classique pour l'observation des frustules consistait à dissoudre toute la matière vivante afin de permettre la définition maximale nécessaire pour la taxonomie. Seules les cohortes accompagnatrices donnaient un aperçu général de l'écologie de cette

1. 42 rue de Malvoisine, 45800, St Jean-de-Braye. j.r.bertrand@orange.fr

2. 26 rue de Venise, 81100, Castres. cloter@wanadoo.fr



diatomée, comme le suggère Lange-Bertalot, qui la classait comme aérophile probable.

Profitant de cette heureuse découverte nous avons eu l'opportunité d'étudier l'écologie régionale de cette nouvelle diatomée et de comprendre l'évolution de la vie de ces cellules dans ce contexte. Il nous fallait alors réinventer les moyens de suivre cette évolution par des nouvelles méthodes de fixation, de coloration et de préparation en vue d'une conservation définitives destinées aux collections de référence, permettant l'observation à des grossissements optiques maximum.

2. Matériel et Méthodes

2.1. Une méthode nouvelle de coloration

Une méthode de coloration persistante pour des préparations définitives de diatomées montées au Naphrax, devait être trouvée, afin de distinguer, à de forts grossissements, les diatomées vivantes des diatomées mortes (ces dernières n'ayant plus de chloroplastes).

Historique

Pour rappel, la méthode de référence pour les comparaisons des espèces est celle reconnue depuis les publications originelles de Müller (1893) et de Lauterborn (1896), entre autres auteurs, qui décrivaient entièrement les cellules vivantes. En 1902, Mereschowsky, après une étude approfondie des organites, en particulier des chloroplastes et des pyrénoides, de 500 espèces

environ de diatomées vivantes, conclu à l'impossibilité de réaliser une classification réaliste des diatomées et se concentra sur l'examen des frustules pour en établir une taxonomie objective. La plupart des diatomistes se rangèrent à son avis. Mais il fallut bien constater que l'observation optimale permettant la définition précise nécessaire à la taxonomie des diatomées, entraîne la destruction complète de la matière vivante à l'intérieur des frustules. Toutefois Cox (1981) tentait à nouveau, sur le genre *Navicula*, de déterminer les espèces à l'aide de diatomées vivantes. Mais sa classification ne s'avéra valable que dans 67 % des cas pour les genres et seulement 15 % pour les espèces (Bertrand 1995). Les inclusions internes ne sont jamais prises en compte dans la méthode actuelle, car ces informations sont du domaine histochimique.

Une nouvelle coloration

La mise au point d'une nouvelle coloration a été établie en comparant systématiquement un certain nombre d'essais avec la méthode classique (Bertrand *et al.* 2016).

Un premier essai a été effectué sur des diatomées vivantes sur les filaments d'algue *Cladophora* dans le déversoir « La Patache » Combleux (45800) pour confirmer la possibilité de coloration diversifiée, puis dans 6 autres essais avec divers produits chimiques, toujours en comparaison avec la méthode classique.

La méthode définitive suivante adoptée est celle-ci :



Fig. 1 - Localisation de Castres (Tarn) et de la vallée de l'Agout en Occitanie et carte IGN de la section à l'est de Castres, montrant les 9 points de récolte distribués sur 3 km environ sur le chemin dit « des Fontaines » le long de la rive de l'Agout, affluent du Tarn. Les barres obliques sur le cours d'eau sont des barrages de retenue d'eau avec déversoirs qui pulvérisent l'eau dans l'atmosphère.

Extraction des diatomées des mousses ; sonication dans l'eau de la récolte pendant 20 à 30 minutes ; agitation brutale pendant 5 minutes dans le même récipient; filtrage pour éliminer les plus grosses matières végétales ou organique ; sédimentation des dépôts ou centrifugation ; fixation au liquide de Semichon (Séguy 1951) - Alcool à 70°-90 %, Formol 7%, Acide acétique 3% -pendant 2 heures ; 3 lavages ; coloration à l'éosine à 2 % pendant 1 heure ; 3 lavages. Après concentration, dépôt de 4 gouttes sur lamelle puis dessiccation complète lente à faible température. Montage au Naphrax.

Seuls sont colorés en rose foncé les chloroplastes des diatomées et organites identiques d'autres organismes présents dans la préparation tels que : Rotifères, Amibiens, Rhizopodes, Desmidiées, pollens, spores de champignons, etc... d'où la difficulté des observations avec un objectif X100 à immersion, mais indispensable pour la détermination des diatomées. L'examen direct du culot et son montage en préparation permet de détecter les diatomées adhérentes aux feuilles de mousses.

Il est également possible de filtrer le culot brut pour obtenir une préparation plus claire. Cependant ce filtrage risque d'éliminer un certain nombre de diatomées de grandes dimensions ou celles adhérentes par leur mucus sur les feuilles de mousses.

2.2. Récoltes

Le choix des diatomées aérophiles (Van Dam *et al.*

1994) est justifié par le fait qu'elles peuvent vivre un certain temps hors de l'eau sans affectation des processus vitaux.

La nouvelle méthode a été appliquée sur la totalité des préparations de 2024 en comptant systématiquement environ 1000 frustules pour obtenir si possible la totalité des espèces de diatomées présentes et éviter dans la mesure du possible, les biais induits par le comptage restreint de 400 frustules habituellement utilisé pour la qualification de l'eau des rivières (Prygiel & Coste, 2000). Les lames de références sont inscrites dans la collection J. Bertrand sous les n° 230 221.01 à 230 221.17 et 240 604.01 à 240 604.09.

Les 9 récoltes de l'année 2024 ont été faites en suivant le cours de la rivière l'Agout de l'aval vers l'amont. (**Fig. 1**) sur 1500 m environ dans des intervalles approximativement égaux en fonction de la présence des thalles de lichens *Cladonia* exclusivement, servant de repaire vivant sur le socle de mousse.

Avant de procéder aux calculs de corrélation (Pearson) nous avons normalisé les peuplements diatomiques qui suivent tous une loi hyperbolique (confirmée par le grand écart entre la moyenne et la médiane) par $NL = (n + 1) \times \text{Log}2$, où « n » correspond au nombre d'individus par espèce, $NL = \log$ de n. Les indices de Shannon (Shannon & Weaver, 1949) ont été calculés également avec $\text{Log}2$, les effectifs par espèce ont aussi été log-transformés. Les analyses statistiques AFC (analyse factorielle des

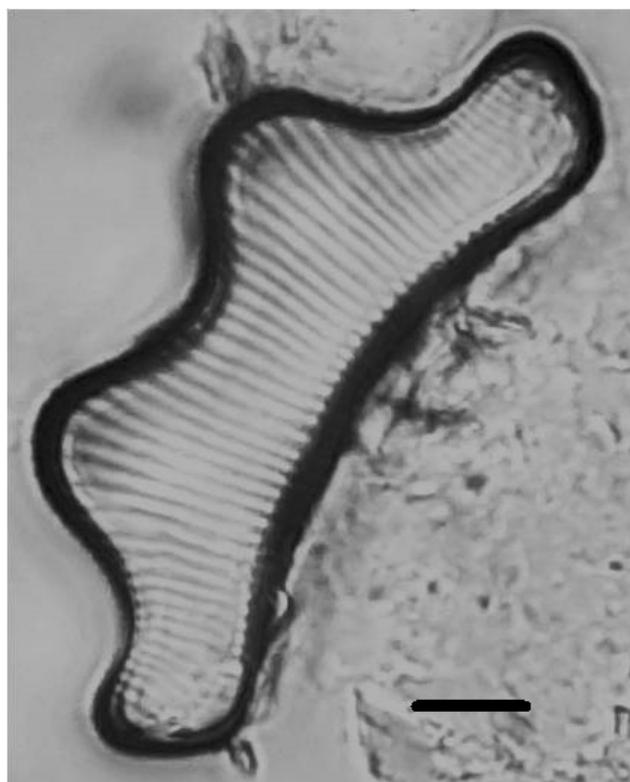


Fig. 2 - Frustules d'*Eunotia renata*, préparation classique destinée à la taxonomie (échelle 5µm).



Fig. 3 - Vue connective d'une frustule (échelle 5 μm).

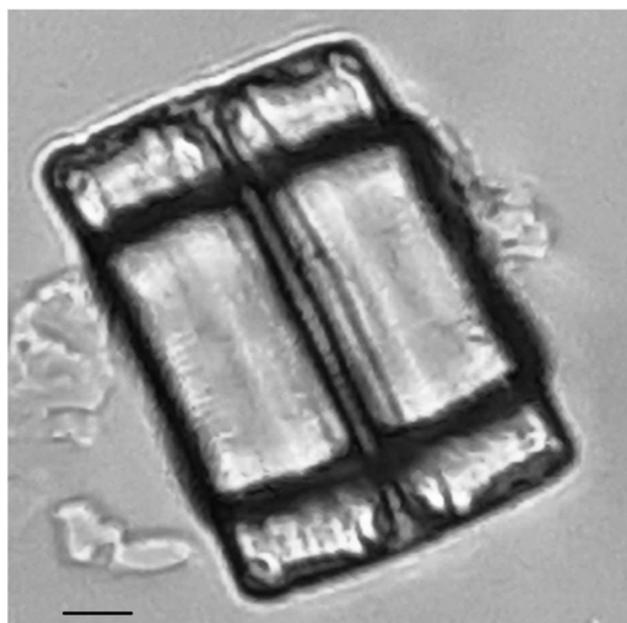


Fig. 4 - Deux frustules accolées en vue connective de *Eunotia renata* (échelle 5 μm).

correspondances) ont été conduites à l'aide du logiciel ADE4 (Doledec & Chessel, 1994 ; Thioulouse *et al.* 1997). Les courbes de richesse ont été analysées et étudiées d'après les travaux de Canard & Poinso (2004). Les genres et espèces des diatomées ont été déterminés d'après, Krammer (2002), Lange-Bertalot (2001, 2011), ainsi que la littérature régionale la plus récente telle que: Peeters & Ector (2017a, b et 2018).

Les photos ont été réalisées à l'aide de caméra Olympus 50 EP 50 avec transfert de données HDMI, WLAN, fixée sur Microscope Olympus muni d'objectif X100 immersion (ouverture. 1,43).

2.3 Observations et résultats

Dans une première approche, les mousses *Isothecium myosuroides* ont été récoltées sur le sol dans différents sites de la banlieue de Castres (Tarn) afin d'approfondir les données concernant les diatomées spécifiques de ces lieux. Parmi celles-ci (**Tab.1**), nous avons découvert la diatomée *Eunotia renata*, espèce rarissime (**Fig. 2-5**), nouvelle pour la France, d'abondance 14 % dans l'unique récolte sur mousses, détectée grâce à la présence discrète et extrêmement imbriquée d'un lichen *Cladonia* (préparation 230 221.14).

3. Description d'*Eunotia renata*

Sur les 9125 cellules comptées, nous n'avons trouvé que 6.1 % de *E. renata* soit 557 qui ont pu être mesurés ; les dimensions des longueurs et largeurs des frustules des formes françaises (moy L : 32.81 μm ; moy. l :

13.67 μm) sont comparées avec les descriptions données par H. Lange-Bertalot (2011) : 35 à 40 μm pour la longueur et 12 à 14 μm pour la largeur. Quant au nombre de stries, nous obtenons une moyenne de 11.31 par 10 μm comptées au niveau de la partie creuse médiane des frustules pour 10 à 12 données par Lange-Bertalot.

Par ailleurs l'épaisseur (mesure de la vue connective, **Fig. 4**) varie de façon importante, de 9 à 19 μm , et montre très souvent un accouplement de deux diatomées identiques, de même épaisseur (**Fig. 5**). À l'état vivant les chloroplastes bruns-dorés, de formes granulaires sont dispersés d'une manière aléatoire dans la cellule. Compte tenu de sa forme géométrique particulière, *E. renata* se présente généralement sur les faces connectives, sous la forme d'un rectangle traversé par deux bandes opaques qui sont la projection des deux bosses visibles en vue valvaire (**Fig. 4**).

4. Écologie – Distribution régionale

Nous avons effectué 9 récoltes de *Cladonia* sur leur socle de mousses dans le même site, échelonnées le long de la rivière l'Agout (**Fig. 1**) pour confirmer ou infirmer la présence de cette nouvelle diatomée et identifier le cortège d'espèces qui l'accompagne.

Les genres et espèces des diatomées ont été déterminés d'après Krammer (2002), Lange-Bertalot (2001, 2011), ainsi que la littérature régionale la plus récente telle que Peeters & Ector (2017a, b et 2018). Les photos ont été réalisées selon le protocole décrit plus haut.

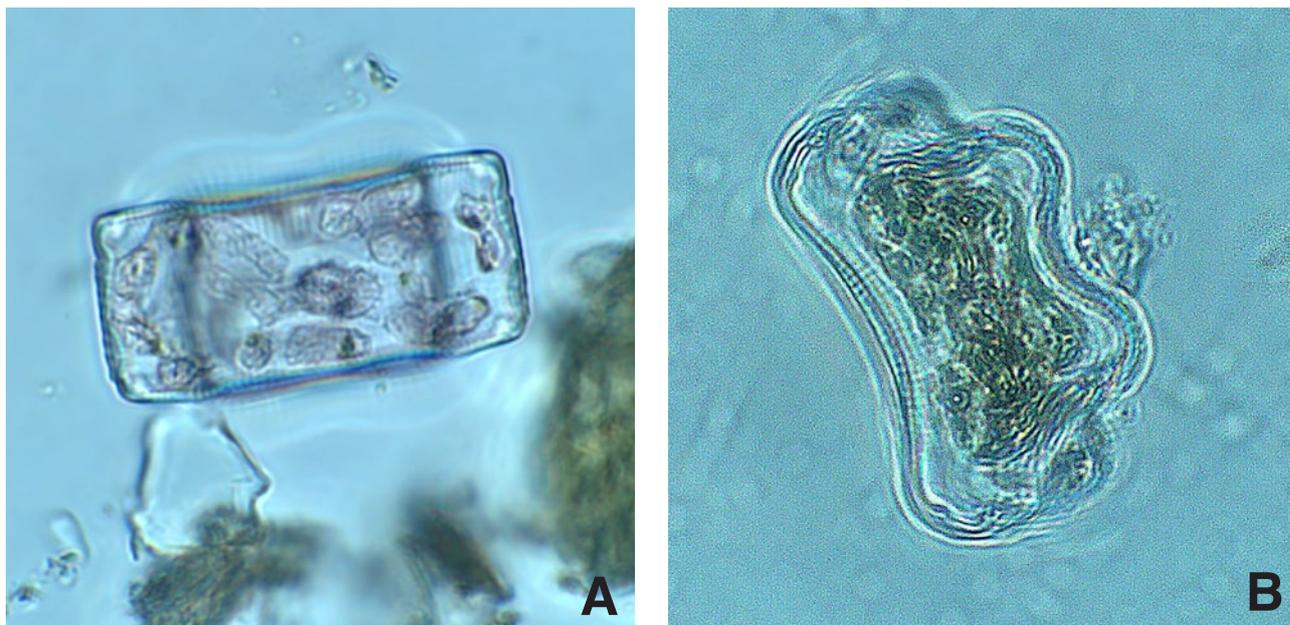


Fig. 5 - *Eunotia renata* vivantes, **A** : en vue connective. **B** : oblique-valvaire, sans coloration ; on observe clairement les grains de chloroplastes disséminés dans la diatomée (échelle 5 μ m).

Dans notre analyse, nous avons ajouté l'unique récolte du même site de 2023, qui renfermait cette diatomée, aux neuf nouvelles récoltes de 2024 (**Tab. 1**). Toutefois la récolte n° 8 qui ne comportait aucune diatomée a été supprimée de l'analyse.

Dans ces neuf récoltes de mousses, il a été découvert 40 espèces de diatomées, pour 9120 spécimens (moy. 1013/récolte).

10 espèces seulement représentent 95.4% de l'abondance des diatomées (moy. 15.2, écart type. 3.9 / récolte) en comparaison avec les études précédentes sur les diatomées bryophiles (moy. 62 à 73) et les fleuves (moy. 37) (Bertrand *et al.* 2004). Les deux diatomées les plus abondantes, présentes dans les 9 récoltes, sont *Humidophila contenta* et *Pinnularia borealis* qui, avec *Eunotia renata*, représentent 75.6 % du total des diatomées. Quant à *Eunotia renata*, espèce décrite ci-dessus, elle ne représente que 6.9 % de l'abondance (moy. 69, max 191, min 3).

La caractéristique de ces neuf récoltes est une courbe de richesse logarithmique confirmant la vivacité des colonisations sur les mousses pour quelques espèces seulement. Le nombre d'espèces répertoriées est relativement constant, 15.5 en moyenne par récoltes. Il varie de 23 pour la station 4, à 11 pour les stations 2 et 6.

Les 10 espèces les plus abondantes sont, par ordre d'abondance (**Tab. 2**) :

- *Humidophila contenta* représente 53 % de l'abondance totale avec 4827 frustules (moy. 536). Elle est la plus fréquente et la plus constante dans tous les points de récolte.

- *Pinnularia borealis* ne représente plus que 16 % de l'abondance, malgré les 1444 frustules avec une distribution plus variable dans les 9 récoltes (moy. 160 frustules, maximum 286, et minimum de 44).

- *Eunotia renata* n'apparaît qu'avec 625 frustules représentant seulement 6.9 % de l'abondance (moy. 69, max 191, min 3). Toutefois, elle se retrouve présente dans toutes les récoltes avec une abondance inégale.

- *Eunotia paludosa* n'est présente qu'en 6 endroits, en abondance anarchique, avec 374 frustules (4.1%), particulièrement dans la station 1 avec 179 frustules.

- *Angusticopula dikei* avec 358 frustules (3.9 %) n'est surtout présente que dans la station 4 avec 305 frustules. C'est une espèce aérophile rarement rencontrée, souvent présente avec les deux autres espèces.

- *Orthoseira dendroteres* également aérophile, peuple souvent les mousses murales humides ou les bords des ruisseaux, ce qui est le cas ici. Elle est présente en masse dans la station 3 avec 253 frustules sur les 343 comptées.

- *Orthoseira roseana*, aérophile, affectionne les mêmes milieux. Elle est également présente en masse à la station 3 avec 192 frustules pour un total de 310. L'espèce semble mieux répartie puisqu'elle n'est absente que dans la station 9.

- *Hantzschia amphioxys* arrive en dernière position avec 118 frustules (1.29 %) pour une moyenne de 13 et un minimum de 2.

- *Orthoseira roseana* f. *spiralis* est présente également en quantité notable.

- *Luticola mutica*, également aérophile, est surtout remarquée dans la station 7 avec 154 frustules sur un total de 215.

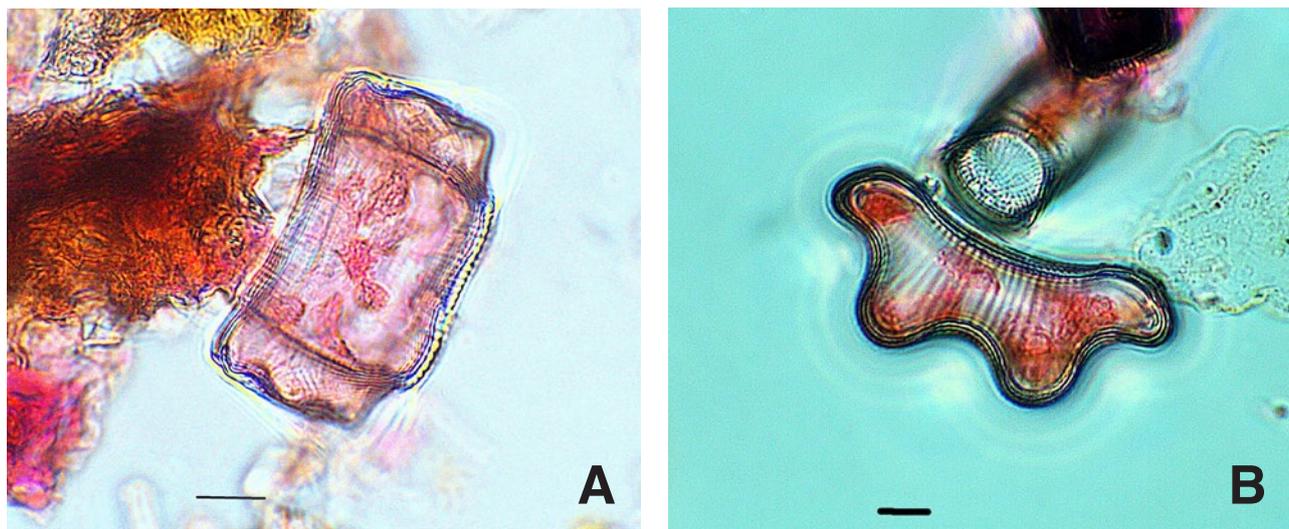


Fig. 6 - *Eunotia renata*, fixée chimiquement, coloré à l'éosine et incluses dans le Naphrax. On retrouve distinctement les grains de chloroplastes conservés dans la vue connective (A) et dans le vue valvaire (B) (échelle 5 µm).

34 autres espèces ont une abondance inférieure à 1%. Ce sont des espèces relativement communes probablement transférée par le vent sur les lichens.

Évaluation des diatomées « vivantes »

Concernant les diatomées dites « vivantes », c'est à dire avec des chloroplastes entiers ou parcellaires en voie de léthalité, les résultats sont sans appel. Il s'agit des seules espèces dites aérophiles, toutefois présentes en nombre extrêmement réduit.

La **Fig. 5** représente *Eunotia renata* vivante montrant les chloroplastes granulaires disséminés dans la diatomée. Sur la **Fig. 6**, *E. renata* est colorée par la méthode sus-indiquée, montrant son efficacité.

Par ailleurs nous rappelons que les **10** espèces décrites plus haut représentent 95 % des abondances de cette série de récoltes. Le **Tab. 2** montre sans ambiguïté, la très faible abondance des diatomées « vivantes » quel que soit l'espèce. Toutefois une analyse précise et comparative espèce, par espèce, entre les formes « mortes » et les « vivantes », permet de mieux quantifier la réalité du phénomène. Par exemple, *Humidophila contenta*, de loin la plus abondante, pour une fréquence de diatomées vivantes de 10 %, n'obtient qu'un coefficient de corrélation faible ($p > 0.01$ cor. 0.767) ; *Pinnularia borealis*, pourtant 3 fois moins abondante, montre une fréquence de 16.5 % de formes vivantes, avec une corrélation forte ($p < 0.001$ cor. 0.860) ; *Orthoseira roseana*, avec une fréquence exceptionnelle de 45 % de formes vivantes, présente un coefficient de corrélation faible ($p > 0.01$ cor. 0.593) ; *Orthoseira dendroteres* avec une fréquence de 36 % de formes vivantes et un coefficient de corrélation faible ($p > 0.1$ cor. 0.319). *Eunotia renata* espèce nouvelle pour la France décrite plus haut, présente 21.5 % de formes

vivantes et un coefficient de corrélation faible ($p > 0.1$ cor. 0.124). Dans ce faible panel trois autres espèces sont incluses, *Hantzschia amphioxys*, *Luticola mutica* et *Angusticopula dickiei*, de très faible abondance et absentes de plusieurs points de récolte ne sont donc pas prises en compte. Les **Fig. 7A-E** représentent quelques diatomées du **Tab. 2** confirmant les possibilités de cette méthode.

Conclusion

Eunotia renata est une espèce nouvelle pour la France. Elle est apparue pour la première fois dans des Bryophytes, muscidés terrestres, sur un chemin ombragé le long de la rivière l'Agout, affluent du Tarn. Signalée par H. Lange-Bertalot dès 2011 comme inconnue dans la zone holarctique, elle vient s'ajouter aux espèces récemment répertoriées. Cependant, la présence de quelques cellules vivantes parmi un grand nombre de cellules mortes attirera particulièrement notre attention, puisse qu'il s'agit d'un lieu humide seulement, déterminant ainsi la possibilité que cette espèce soit aérophile. Ceci confirmée par la présence d'autres espèces aérophiles, comme *Pinnularia borealis*, *Luticola mutica* et *Humidophila contenta*, *Orthoseira roseana* en grand nombre. L'impossibilité de différencier les formes vivantes des mortes à l'aide des modes de préparations classiques, a conduit à développer une méthode de préparation par coloration différenciée, permettant de mettre en évidence les chloroplastes, seuls éléments permanents de la cellule. De plus, cette nouvelle méthode permet, en incluant les objets dans le Naphrax, d'obtenir des préparations définitives utilisables avec de fort grossissement, sur le long terme, pour déterminations, collections et référence. Dans cette recherche des diatomées pérennes considérées comme vivantes ou

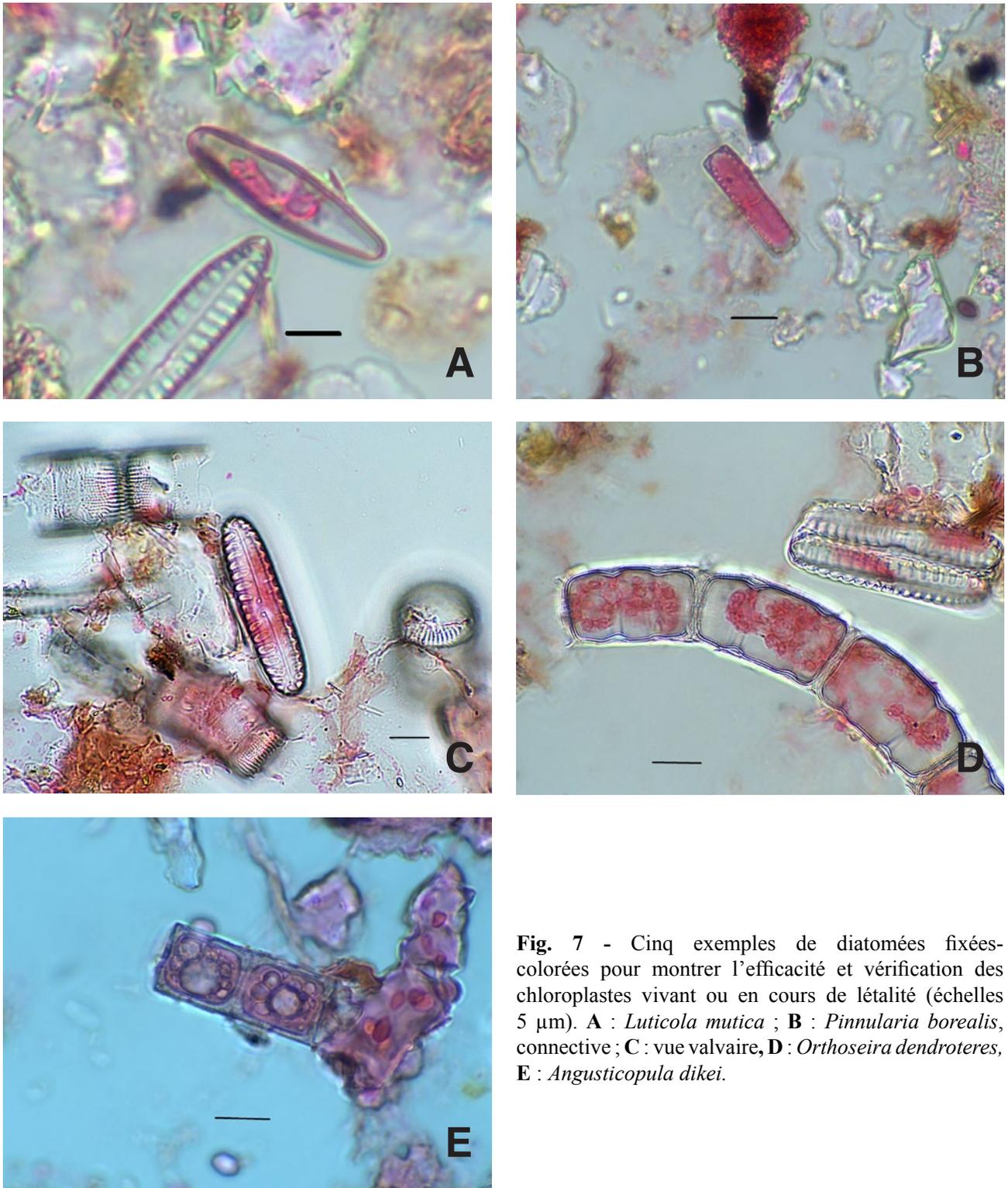


Fig. 7 - Cinq exemples de diatomées fixées-colorées pour montrer l'efficacité et vérification des chloroplastes vivant ou en cours de létalité (échelles 5 μ m). **A** : *Luticola mutica* ; **B** : *Pinnularia borealis*, connective ; **C** : vue valvaire, **D** : *Orthoseira dendroteres*, **E** : *Angusticopula dikei*.

en état de létalité, nous avons bien conscience que la faiblesse de notre échantillon soit un biais que nous ne puissions éviter. Ce « sondage » nous laisse insatisfait car nous ne connaissons pas l'origine de ces gisements. Il nous semble donc essentiel que la recherche de la « source » doive se poursuivre nous permettant de décrire avec plus de précision le cycle de vie de cette diatomée ainsi que l'écologie régionale comme l'avait

fait Bertrand & Coste (1994) pour la diatomée *Cymbella triangulum*. Ainsi la recherche devrait se poursuivre en testant l'apport des courants aériens et il est également plausible d'imaginer que nous trouverons *Eunotia renata* dans le cours de l'Agout. La recherche dans les Bryophytes tels que les mousses terrestres diverses devrait en premier nous permettre également d'orienter nos prospections.

Remerciements : Nous remercions particulièrement le Dr H. Lange-Bertalot pour la confirmation de la nouvelle espèce en France et le Dr O. Monier pour la révision taxonomique des espèces récoltées.

Références

- Bertrand J. & Coste M. (1994) - *Cymbella triangulum* (Ehrenberg) Cleve (Bacillariophyceae). Un taxon nouveau pour la flore européenne, caractéristiques morphologiques et écologique ; *Cryptogamie, Algologie*. 15 (2) : 147-158.
- Bertrand, J. (1995) - Contribution à l'étude taxonomique des diatomées. Reconnaissance du vivant. *Vie et Milieu*, 45 (3/4), 283-293.
- Bertrand, J., Renon J.-P., Monnier O., Ector & L. (2004) - Relation « diatomées épiphytes-bryophytes » dans les tourbières du mont Lozère (France). *Vie et Milieu*, V2, 54 (2-3) : 59-70.
- Bertrand J., Coste C., Le Cohu R., Renon, J.-P., & Ector L. (2016) - Étude préliminaire sur la présence de diatomées sur les lichens. *Botany Letters* 163(2) : 93-113.
- Canard A. & Poinot D. (2004) - La répartition spatiale des individus et des peuplements par la méthode des quadrats. *Rapport, Université de Rennes*. 28 p.
- Cox E.J. (1981) - The use of chloroplasts and other features of living in the taxonomy of naviculoid diatoms. In Ross (Ed) Proc. 6th Diatom Symp. Budapest, sept. 80-0. Koeltz pub. Koenigstein: 115-133.
- Doledec S. & Chessel D. (1994) - Co-inertia analysis: an alternative method for studying species-environment relationships. *Freshwater Biology*, 31: 277-294. doi:10.1111/j.1365-2427.1994.tb01741.x
- Krammer K. (2002) - Diatoms of Europe, *Cymbella*, Edited by Horst Lange-Bertalot. 3. 584 p.
- Lange-Bertalot H. (2001) - Diatoms of European Inland Waters and comparable Habitats. *Naviculas ensu stricto*, 10 genera separated from *Navicula sensu lato*, *Frustulia*. Edited by Horst Lange-Bertalot, 2. 526 p.
- Lange-Bertalot H, Malgorzata B. & Witkowski A. (2011) – *Eunotia* and some related genera, Diatoms of Europe, Edited by Horst Lange-Bertalot. 7. 747 p.
- Lauterborn R. (1896) - Untersuchungen über Bau, Kernteilung und Bewegung der diatomeen Engelmann, Leipzig, 165 p.
- Mereschkowsky C. (1902-1903) - Les types de l'endochrome chez les diatomées. *Scripta Botanica* 21: 1-194
- Muller O. (1889-1909) - Die Ortsbewegung der Bacillariaceen betreffend I-VII. *Ber Deutsch bot. Ges.* 11 : 571-576 (1893) ; 12 : 136-143 (1894) ; 54-64 (1896) ; 14 : 112-128 (1896) ; 15 : 70-86 (1897) ; 26 : 676-685 (1908) ; 27 : 27-43 (1909).
- Peeters V. & Ector L. (2017a) - Atlas des diatomées des cours d'eau du territoire bourguignon, Centriques, Araphidées ; *Direction régionale de l'Environnement et de l'Aménagement et du logement Bourgogne-Franche-Comté*, 1. 309 p.
- Peeters V. & Ector L. (2017b) - Atlas des diatomées des cours d'eau du territoire bourguignon, Naviculacées ; *Direction régionale de l'Environnement et de l'Aménagement et du logement Bourgogne-Franche-Comté*, 3. 323 p.
- Peeters V. & Ector L. (2018) - Atlas des diatomées des cours d'eau du territoire bourguignon, Monoraphidées, Brachyraphidées, *Direction régionale de l'Environnement et de l'Aménagement et du logement Bourgogne-Franche-Comté*, 2. 271 p.
- Prygiel J. & Coste M. (2000) - Guide méthodologique pour la mise en œuvre de l'Indice Biologique Diatomées NF T 90-354. *Cemagref, Agence de l'Eau* : 134 p. + 89 pl. + cd-rom TAX'IBD français/anglais.
- Séguy E. (1951) - Le microscope : Emploi et applications. *Paul Lechevalier* Vol. I et II, 12 pl. couleurs, 90 planches, photo. 1200 figures.
- Shannon C.E. & Weaver W. (1949) - The mathematical theory of communication. *Urbana and Chicago. The Mathematical Gazette*, 34 (310): 312-313.
- Thioulouse J., Chessel D., Doledec S. & Olivier J.-M. (1997) - ADE-4 a multivariate analyse and graphical display software. *Stat compus*, 7 (1) : 75-83.
- Van Dam H., Mertens A. & Sinkeldam J. (1994) - A coded checklist and ecological indicator values of freshwater diatoms from the Netherlands. *Netherlands Journal of Aquatic Ecology* 28 (1): 117-133. doi:10.1007/BF023342

Annexe. Tab. 1 – Tableau général de la récolte de 2023 (première colonne, n° de récolte 230221,14) et de 9 récoltes de 2024. La récolte 2023 ayant été traitée par la méthode classique (suppression de la matière vivante). Les récoltes de 2024 ont été traitées en vue d'obtenir la possibilité de comptabiliser les diatomées encore vivantes. Les valeurs sont en pourcentage de l'abondance des espèces.

Abondance	1019	994	1004	1013	1004	1021	1010	1014	1018
Nb. espèces	19	15	11	12	21	15	11	14	16
Genres-espèces Diatomées - n° de récolte	230221,14	240604,01	240604,02	240604,03	240604,04	240604,05	240604,06	240604,07	240604,09
<i>Achnanthes coarctata</i> (Brébisson ex W.Smith) Grunow 1880								8,38	
<i>Adlafia bryophila</i> (J.B.Petersen) Lange-Bertalot 1998								0,2	
<i>Adlafia minuscula</i> (Grunow) Lange-Bertalot 1999									0,6
<i>Angusticopula dickiei</i> (Thwaites) Houk, Klee & H.Tanaka 2017	0,88	1,21			1,59	0,39	30,2	0,89	1,2
<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) Simonsen 1979		0,2	0,2						
<i>Cocconeis placentula</i> Ehrenberg 1838	0,1								
<i>Craticula subminuscula</i> (Manguin) C.E.Wetzel & Ector 2015									0,59
<i>Encyonema minutum</i> (Hilse) D.G.Mann 1990									0,1
<i>Encyonema silesiacum</i> Bleisch in Rabenhorst		0,1							
<i>Eunotia denticulata</i> (Brébisson ex Kützing) Rabenhorst 1864						0,1			
<i>Eunotia diodon</i> Ehrenberg 1837		2,41			0,1		0,89		
<i>Eunotia glacialis</i> Meister 1912	2,94	1,71			1,01	0,4			
<i>Eunotia intermedia</i> (Krasske ex Hustedt) Nörpel & Lange-Bertalot 1993			4,19	1,68	0,4	0,1	0,59	0,2	
<i>Eunotia minor</i> (Kützing) Grunow 1881				1,97	0,7				
<i>Eunotia paludosa</i> Grünow 1862	9,42	18,01			6,57	2,45		0,2	0,59
<i>Eunotia renata</i> Lange-Bertalot 2011	14,23		13,05	6,52	0,7	1,37	5,45	0,3	18,76
<i>Eunotia rhomboidea</i> Hustedt 1950									0,59
<i>Eunotia silvahercynia</i> Nörpel, Van Sull & Lange-Bertalot 1991	1,01								
<i>Fallacia insociabilis</i> (Krasske) D.G.Mann 1990	0,2								
<i>Fragilaria capucina</i> Desmazières 1830		1,01			0,2				
<i>Fragilaria famelica</i> (Kützing) Lange-Bertalot 1980			0,2						

<i>Gomphonema angustum</i> Agardh 1831	0,1								
<i>Gomphonemopsis exigua</i> (Kützing) Medlin 1986	0,39								
<i>Hantzschia amphioxys</i> (Ehrenberg) Grünow 1880	2,36	0,6	1,1	1,78	0,2	2,74	0,3	1,68	0,88
<i>Humidophila contenta</i> (Grunow) Lowe, Kociolek, Johansen, Van de Vijver, Lange-Bertalot & Kopalová 2014	60,35	36,72	51,8	36,82	67,13	59,94	46,53	48,72	69,25
<i>Humidophila gallica</i> (W.Smith) Lowe, Kociolek, Q.You, Q.Wang & Stepanek 2017	0,2					0,2		0,59	0,59
<i>Luticola goeppertiana</i> (Bleisch) D.G.Mann ex Rarick, S.Wu, S.S.Lee & Edlund 2017		0,2		1,68					1,08
<i>Luticola mutica</i> (Kützing) D.G.Mann 1990	2,14	0,7	0,4		0,4	1,57	0,5	15,19	1,6
<i>Navicula capitatoradiata</i> H.Ger- main ex Gasse 1986					0,4				
<i>Navicula cuspidata</i> (Kützing) Kützing 1844	0,1								
<i>Nitzschia dissipata</i> (Kützing) Ra- benhorst 1860				0,2	0,7				
<i>Nitzschia linearis</i> (Agardh) W. Smith 1856					0,2				
<i>Nitzschia palea</i> (Kützing) W. Smith 1856	0,2		0,2		0,8				
<i>Orthoseira dendroteres</i> (Ehrenberg) Crawford		2,82		24,98	1,79	0,98	1,39	1,08	0,88
<i>Orthoseira roeseana</i> (Rabenhorst) O'Meara	0,29	3,92	0,6	18,95	1,29	1,08	0,89	3,65	
<i>Orthoseira roseana spiralis</i> Raben- horst) O'Meara	0,2		0,2	0,89	0,1		0,1		0,2
<i>Pinnularia borealis</i> Ehrenberg 1843	5,01	28,19	28,24	4,34	15,24	28,01	13,17	17,95	2,6
<i>Pinnularia subcapitata</i> W. Gregory 1856	0,48	0,4				0,39		0,99	
<i>Placoneis hambergii</i> (Hustedt) K.Bruder 2007				0,2	0,1	0,2			
<i>Planothidium lanceolatum</i> (Brébis- son ex Kützing) Lange-Bertalot 1999									0,2
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i> (C.Agardh) Lange-Bertalot 1980					0,2				

Genres -Espèces Lichens	<i>Cladonia pyxidata</i>	<i>Cladonia pyxidata</i>	Vivantes %														
Abond.	943	934		996		963		957		1007		1000		911		975	
	Log.	Log.		Log.													
Nb. Esp.	7	9		7		7		10		10		9		10		8	
CODE	230 221,14	240 604,01		240 604,02		240 604,03		240 604,04		240 604,05		240 604,06		240 604,07		240 604,09	
DCON	615	365	2,19	519	6,55	373	2,68	674	32,79	612	2,15	470	11,49	494	2,83	705	20
PBOR	51	285	14,39	283	6,71	44	22,73	153	32,03	286	14,34	133	16,54	182	11,38	27	15,38
EREN	145	13	30,77	131	9,32	66	12,2	7	28,57	14	28,57	55	25,45	3		191	
HAMP	24	6		11		18	2,22	2		28	7,14	3		17	17,65	9	17,65
ORSE	3	39	46,15	6		192	36,98	13	61,54	11	54,55	9		37	32,43		32,43
LMUT	9	7		4				4		16	25	5		154		16	16,88
ODEN		28				253	21,41	18	44,44	10		14		11	63,64	9	63,64
EPAL	96	179	24,58					66	33,33	25				2		6	
MDIK		12						16	56,25	4		305	38,36	9		12	
EINT				42		17		4		1		6		2			

CODE	
DCON	<i>Diademsis contenta</i>
PBOR	<i>Pinnularia borealis</i>
EREN	<i>Eunotia renata</i>
HAMP	<i>Hantzschia amphioxys</i>
ORSE	<i>Orthoseira roeseana</i>
LMUT	<i>Luticola mutica</i>
ODEN	<i>Orthoseira dendroteres</i>
EPAL	<i>Eunotia paludosa</i>
MDIK	<i>Melosira dickei</i>
EINT	<i>Eunotia intermedia</i>

Tab. 2 - Tableau des seules espèces de diatomées considérées comme aérophiles contenues dans les récoltes de 2024. Les valeurs indiquées sont le nombre d'unités dénombrées dans chaque récolte : en noir, nombre total de cellules comptées ; en rouge les diatomées vivantes ou en cours de létalité. La colonne 230 221,14 contient la récolte les diatomées traitées par la méthode classique soit la suppression complète de la matière vivante. Les abondances sont exprimées en valeur absolue afin d'éviter les biais dus au calcul de pourcentage.