

Thlaspi caerulescens, un indicateur de la pollution d'un sol ?

Réflexion partagée entre étudiants et chercheurs autour d'un problème environnemental

Claude Grison, José Escarré, Marie-Laure Berthommé, Julie Couhet-Guichot, Claire Grison et Fanny Hosy

Résumé	La présence et l'abondance de certaines espèces végétales peuvent-elles donner des informations sur l'état de pollution d'un sol ? Après avoir choisi des sites d'étude, y avoir caractérisé des peuplements végétaux et la pollution du sol pour établir des corrélations, une mise en culture des plantes a permis de mettre en évidence deux écotypes de <i>Thlaspi caerulescens</i> et une préférence de l'un des deux pour les sols pollués.
Mots-clés	Pollutions minières, métaux lourds, bioindicateur, <i>Thlaspi caerulescens</i>, phytostabilisation.
Abstract	<i>Thlaspi caerulescens</i>, an indicator of soil pollution? Can the existence and the density of particular plant species give several informations about the degree of soil pollution? After having chosen different sites for this survey, the identification of collected plant species and the soil characteristics of collection sites were compared and some correlations were established. Data on growth of collected plants indicated the existence of two ecotypes of <i>Thlaspi caerulescens</i> . It has been shown the preference of one of the ecotypes for the metal-contaminated soils.
Keywords	Metallurgical contaminations, heavy metals, biological indicator, <i>Thlaspi caerulescens</i>, phytostabilisation.

Les questions d'environnement sont devenues une préoccupation majeure. Les effets non maîtrisés des multiples activités humaines affectent aujourd'hui la dynamique biologique et les équilibres biogéochimiques. Changement climatique et érosion de la biodiversité témoignent de la nécessité d'élaborer rapidement des stratégies pour protéger la biosphère. La réalisation de tels objectifs nécessite une approche pluridisciplinaire associant des savoir-faire complémentaires. Dans ce contexte, le rapprochement de la chimie et de l'écologie joue un rôle fondamental. La sensibilisation et la formation des chercheurs du futur à ces grandes orientations sont également essentielles si l'on veut véritablement évoluer vers un concept de développement durable.

C'est dans cet esprit que deux chercheurs du Centre d'Écologie Fonctionnelle et Évolutive du CNRS (Montpellier) et quatre étudiantes de classes préparatoires aux grandes écoles du lycée Joffre de Montpellier se sont associés pour développer un travail d'initiative personnelle encadré (TIPE) en rapport avec le thème annuel « l'information », et un grand problème environnemental, la pollution due aux exploitations minières.

La région de Ganges, en bordure des Cévennes, est connue pour son ancienne activité minière. Aux alentours du petit village de Saint-Laurent-le-Minier, on peut trouver plusieurs anciens sites d'exploitation potentiellement pollués en zinc et en plomb. Le peuplement végétal y apparaît visiblement modifié par rapport aux sites environnants de mêmes conditions climatiques et pédologiques⁽¹⁾. Ces observations sont à l'origine de notre interrogation : la

présence ou l'abondance de certaines espèces végétales peuvent-elles donner des informations sur l'état de pollution d'un sol ?

Pour y répondre, il a fallu choisir précisément des sites d'étude, afin d'y caractériser les peuplements végétaux et la pollution du sol pour établir d'éventuelles corrélations. Il a ensuite été étudié, par une mise en culture sur différents milieux plus ou moins pollués, le comportement d'une espèce trouvée en abondance sur les sites miniers : *Thlaspi caerulescens*.

Corrélation entre la présence de métaux lourds dans le sol et celle de *T. caerulescens*

Choix des sites d'étude

Deux mines proches de Saint-Laurent, les Avinières et les Malines, ont donné lieu à l'extraction jusqu'à une époque assez récente (une vingtaine d'années) de baryte, bournonite et sphalérite [1]. Ces deux sites, possiblement pollués par ces métaux et ayant une végétation originale par rapport aux forêts ou taillis alentours, ont été retenus pour cette étude (figure 1). Le premier (site 1) est un ancien bassin de décantation situé en contrebas des Avinières. Au niveau même du bassin, la végétation est totalement absente à sa périphérie. Le second site (site 2) est une pelouse proche des Malines entourant un ancien four utilisé pour trier et griller les minerais [1].

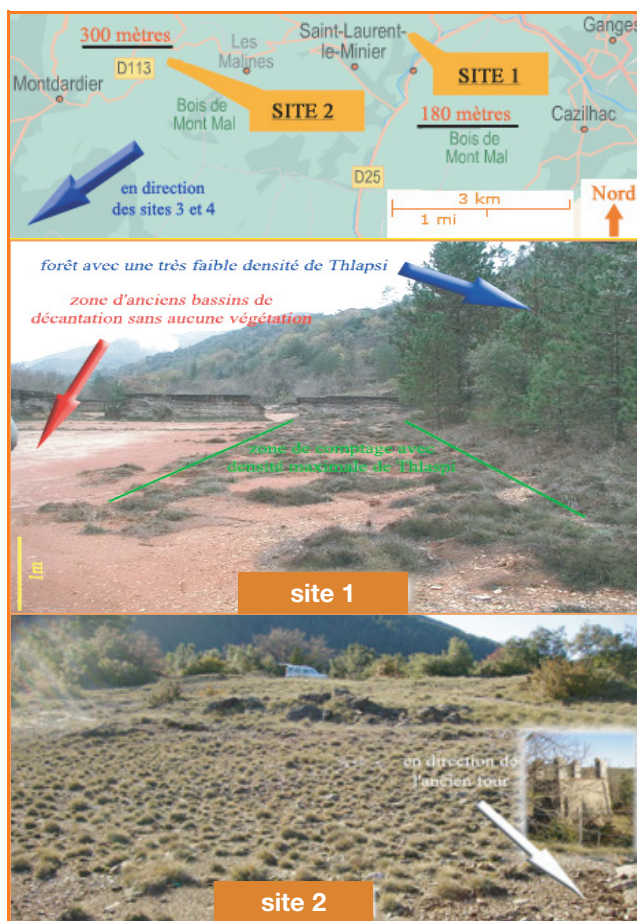


Figure 1 - Présentation des sites 1 et 2.

Choix et comptage de la plante

Étude qualitative

Sur les sites choisis, la végétation environnante (forêt, taillis, où le chêne vert et le pin d'Alep sont abondants) est absente et fait place à une végétation particulière. À l'époque de l'étude (début hiver 2008), un petit nombre d'espèces sont présentes : une plombaginacée, *Armeria arenaria*, une caryophyllacée, *Arenaria agregata* et une brassicacée, *Thlaspi caerulescens* (figure 2).



Figure 2 - Espèces présentes sur les sites étudiés.

Présentation de *Thlaspi caerulescens* dans la flore [2] : plante vivace de 3 à 30 cm fleurissant en grappes de fleurs blanches à rosées d'avril à juin. C'est une plante sans poils, dont les feuilles entières et arrondies sont disposées à la base en rosette.

Ces identifications ont été effectuées en partie avec une flore [2], mais en l'absence de fleurs et de fruits en cette saison, la confirmation de ces espèces a été réalisée par le Dr J. Escarré. Étant donné leur abondance sur les sites et leur quasi-absence dans les milieux ouverts environnants, ces espèces sont ainsi potentiellement indicatrices de pollution. Pour tenter de le montrer, nous choisissons d'étudier *T. caerulescens* (figure 2), petite plante présente en grand nombre, donc se prêtant bien à une étude quantitative, et qui est de plus assez facile à cultiver en laboratoire.

Étude quantitative

Dans le but d'établir, si elle existe, une corrélation entre la pollution du sol et l'abondance de *T. caerulescens*, un comptage des individus a été effectué par la méthode des quadrats, qui consiste à compter les individus dans une surface bien délimitée. Sur chaque site, 16 carrés de 50 cm de côté ont été délimités avec de la ficelle et des piquets. Les carrés ont été disposés aléatoirement pour caractériser au mieux la pelouse. Leur nombre et leurs dimensions sont un compromis établi après quelques essais qui permet de par la densité des *T. caerulescens*, de limiter le nombre d'individus et de carrés à compter, et de donner ainsi les résultats les plus représentatifs possibles du terrain.

Les résultats du comptage montrent une grande abondance de *T. caerulescens* significativement différente entre les deux sites (figure 3).

Mesure de la pollution en métaux lourds

La pollution du sol a été évaluée par dosage du zinc et du plomb contenus dans les minerais extraits ainsi que du cadmium [3-4]. Les échantillons de sol sont prélevés au niveau du bassin de décantation, de la pelouse à *Thlaspi* du site 1 et au niveau de la pelouse à *Thlaspi* du site 2, à 10 cm de profondeur et à divers points de chaque site. À titre de témoin (sol non pollué), des échantillons de sols naturels d'autres sites éloignés de la mine ont été dosés ainsi que le terreau utilisé pour la mise en culture.

Mise en solution des ions

Préalablement aux analyses, un prétraitement des échantillons a été effectué. Les cations métalliques sont extraits du sol et mis en solution par l'acide éthylène diamine

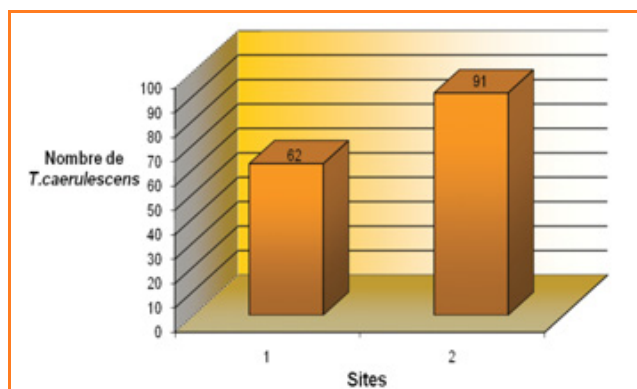


Figure 3 - Nombre moyen de *T. caerulescens* sur des surfaces de 50 x 50 cm.

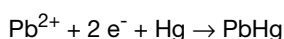
tétraacétique (EDTA). L'extraction chimique à l'aide d'EDTA permet le transfert des cations métalliques polluants vers la solution par formation de complexes solubles. Compte-tenu des propriétés acides de l'EDTA ($pK_{a1} = 2,0$; $pK_{a2} = 2,7$; $pK_{a3} = 6,2$; $pK_{a4} = 10,2$), les complexes formés sont sous forme MEDTA au pH d'extraction, où M est le cation divalent polluant et extrait.

Protocole adapté de mise en solution des ions [5]

La mise en solution des ions est précédée d'un séchage de l'échantillon à l'étuve à 70 °C jusqu'à obtention d'une masse stable, suivi d'un broyage et d'un tamisage de la terre. 20 g de broyat sont ensuite dispersés dans 100 mL d'une solution tamponnée à pH = 4,65, puis l'EDTA est ajouté (43,1 mL, 0,02 M). Après 3 h d'agitation et 10 min de centrifugation à 2 500 tours/min, le surnageant est récupéré et analysé. Chaque cation métallique est alors dosé par une méthode adaptée à sa nature.

Dosage du plomb par polarographie

Les mesures polarographiques ont été réalisées à l'École Nationale Supérieure de Chimie de Montpellier⁽²⁾ suivant un procédé classique selon lequel le plomb est amalgamé par le mercure *via* la réaction suivante :



Trois solutions étalons ont été préparées, à 10^{-4} , 5×10^{-4} et 10^{-3} mol.L⁻¹ dans l'électrolyte, KNO₃, HNO₃. Le milieu acide permet la décomplexation des éléments avec l'EDTA. La solution a été dégazée par barbotage d'azote avant d'effectuer les mesures, pour s'affranchir de la présence de dioxygène.

Il a été nécessaire de diluer cent fois les solutions provenant des terrains contaminés et dix fois les autres pour se rapprocher des concentrations étalons. Les mesures ont été répétées trois fois pour chaque solution. Les moyennes des résultats obtenues sont présentées dans le tableau I.

Dosage du zinc et du cadmium par spectrométrie d'absorption atomique

Les concentrations en zinc et cadmium des différentes solutions ont été mesurées par spectrométrie d'absorption atomique (SAA). Les dosages ont été réalisés à l'Institut Européen des Membranes (IEM)⁽²⁾ à l'aide d'un spectromètre Spectra Varian AA 220FS.

Après étalonnage, chaque solution a été dosée trois fois. Les concentrations en ions obtenues ont été ramenées en pourcentage massique par rapport aux masses de terre traitées. Les moyennes des résultats sont rassemblées dans le tableau I.

Conclusion

Les sites étudiés contiennent zinc, plomb et cadmium en quantités largement supérieures aux limites imposées par les normes européennes : ils sont véritablement pollués. De si grandes valeurs nous semblaient tellement invraisemblables que nous avons vérifié leur conformité avec des données bibliographiques [4-5].

- La pollution générale est différente d'un site à l'autre ; par ordre décroissant : bassin de décantation (site 1), terrain végétalisé (site 1), terrain végétalisé (site 2).
- Cependant, le zinc ne varie pas d'un site à l'autre comme le plomb et le cadmium ; il est plus abondant dans le terrain végétalisé du site 2 que dans celui du site 1.

Si l'on admet que les bassins de décantation sont trop pollués pour permettre la présence d'une quelconque végétation, les *Thlaspi* abondants sur les sites pollués et rares dans les milieux ouverts équivalents non pollués de la région sont bien des indicateurs de pollution.

Deux hypothèses peuvent être faites pour expliquer leur abondance sur les sites pollués :

- *T. caerulescens* tolère la pollution plus que d'autres espèces de terrains végétalisés, qui ne peuvent ainsi les concurrencer.
- *T. caerulescens* préfère les sols pollués aux sols non pollués. Cela pourrait être le cas vis-à-vis du zinc et expliquerait alors leur plus grande abondance sur la pelouse 2 que sur la pelouse 1. En effet, abondance de *T. caerulescens* et pollution par zinc varient dans le même sens : quand la densité est multipliée par 1,5, la concentration l'est par 3.

Tableau I - Résultats des dosages.

Échantillon dosé	Cd (g/kg de terre)	Zn (g/kg de terre)	Pb (g/kg de terre)	Densité moyenne de <i>Thlaspi</i>
Site 1 : sol où poussent les <i>Thlaspi</i>	0,398 x 200	9,5 x 31	37,5 x 375	61,8
Site 1 : sol au niveau des anciens bassins de décantation	1,329 x 650	15,5 x 50	84,1 x 841	0
Site 2 : sol où poussent les <i>Thlaspi</i>	0,03 x 10	34,4 x 115	22,9 x 229	91,4
Terreau utilisé pour les cultures	5×10^{-4} x 0,25	$1,6 \times 10^{-2}$ x 0,05	$5,5 \times 10^{-2}$ x 0,55	x n : comparaison à la norme européenne [3]
Normes européennes limites	2×10^{-3}	0,3	0,1	

Le choix entre l'une ou l'autre hypothèse ainsi que la confirmation des conclusions précédentes ont nécessité la mise en culture et la quantification de *T. caerulea* sur des milieux contrôlés plus ou moins pollués.

Étude de la croissance de *T. caerulea* en fonction de la pollution

Procédé de mise en culture

Pour la mise en culture, quatre substrats différents ont été préparés :

- un terreau horticole (dont les teneurs en cations métalliques mesurées sont nettement inférieures aux normes européennes de pollution) ;
- deux mélanges du même terreau avec respectivement 10 % et 50 % en masse de sol provenant des bassins de décantation des Avinières (site 1) ;
- un dernier substrat avec 100 % de terre des bassins.

Le choix de la terre du bassin de décantation comme polluant permet de reproduire la pollution du site, mais pas de distinguer les effets éventuels de chacune des espèces métalliques.

Les différentes proportions des mélanges permettent de tester d'éventuels effets de dose sur le comportement des plantes. Les mélanges ont été obligatoirement réalisés par le personnel technique et expérimenté du CEFE, car le tamisage des terres peut produire des poussières toxiques.

Pour chacun des quatre substrats, onze pots de culture ont été préparés : deux pour la culture de spécimens d'*Arabidopsis thaliana* servant de témoins, et neuf réservés à la culture de *T. caerulea*. À raison de deux *Thlaspi* par pots, c'est 18 individus par substrats, et 72 en tout qui ont été préparés, ce qui semble être un bon compromis entre le nombre de données pour pouvoir caractériser le comportement des plantes et un nombre de pots matériellement facile à surveiller.

Les graines de *T. caerulea* récoltées sur la mine des Avinières ont été fournies par le CEFE, car la plante fleurit entre avril et juin. Toutes les plantes ont d'abord été mises à germer sur de l'argile calcinée pour commencer les cultures à un même stade de développement et ne pas prendre en compte la germination qui demanderait des mesures trop précises de suivi cinétique pour des tailles très petites⁽⁴⁾. Pour le témoin, qui a lui aussi germé avant d'être replanté dans les substrats, huit *Arabidopsis* ont été mis par pot du fait de sa petitesse et de sa fragilité lors d'un replantage.

Afin d'étudier le comportement des plantes vis-à-vis de la pollution, une densité d'individus a été évaluée sur le terrain, et quelques paramètres cinétiques de leur croissance ont été mesurés : le nombre et la surface des feuilles de chaque plante, et le nombre de pertes.

La mesure de la surface des feuilles a été établie grâce à des photos de chaque pot prises toutes les semaines avec un carton de 1 cm² constituant l'échelle (figure 4). Le traitement des photos a été effectué avec le logiciel libre Image J avec lequel un tracé manuel du contour des feuilles a été réalisé pour comparer l'aire



Figure 4 - Photographie d'un pot.

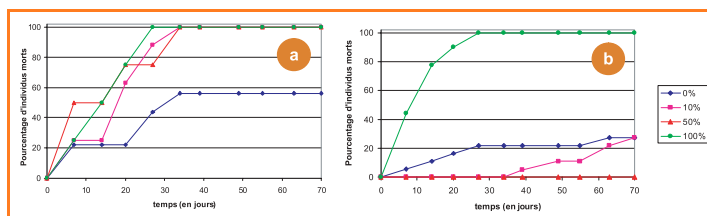


Figure 5 - Pertes des *Arabidopsis thaliana* (a) et des *Thlaspi* (b) en fonction du temps et du substrat (100, 50, 10 et 0 % du sol des Avinières en mélange avec du terreau non contaminé).

à la référence. En effet, les logiciels permettant de déduire automatiquement la surface foliaire confondaient la couleur des feuilles et de la terre et ne permettaient pas un bon traitement des données.

Les plantes ont été cultivées à partir du 20 décembre dans une véranda afin qu'elles reçoivent un maximum de lumière de façon homogène. La température a été surveillée (elle n'est jamais descendue en dessous de 10 °C) et identique pour toutes les plantes. Au bout d'un mois de culture, les plantes montrant des signes d'étiollement, un tube fluorescent a été installé pour intensifier l'éclairage de 7 h du matin à 19 h. L'arrosage a été effectué tous les trois jours, chaque plante recevant 10 mL les trois premières semaines et 30 mL après. Les mesures ont été réalisées tous les sept jours en moyenne. Des photos ont été réalisées pendant 70 jours, c'est-à-dire jusqu'au flétrissement des premières feuilles.

Résultats et conclusion

Pertes cumulées

Les pertes d'*Arabidopsis thaliana* déjà importantes sur substrat neutre (peut-être à cause des manipulations ou des conditions de culture non optimales) sont bien supérieures sur tous les substrats pollués : c'est donc un bon témoin négatif ne supportant pas la pollution (figure 5a).

À l'exception de la terre des bassins de décantation qu'ils ne supportent pas, les plants de *T. caerulea* survivent mieux sur les milieux faiblement ou moyennement pollués que sur le substrat neutre (figure 5b). Cette espèce non seulement s'y développe, mais semble « préférer » un sol pollué.

Nombre et surface des feuilles

Le nombre de feuilles, donc le processus d'initiation foliaire, semble être accru et stimulé par la présence de cations métalliques à faible dose (figure 6a). Au contraire, étant donné les écarts types, aucun effet n'est montré sur la surface (figure 6b).

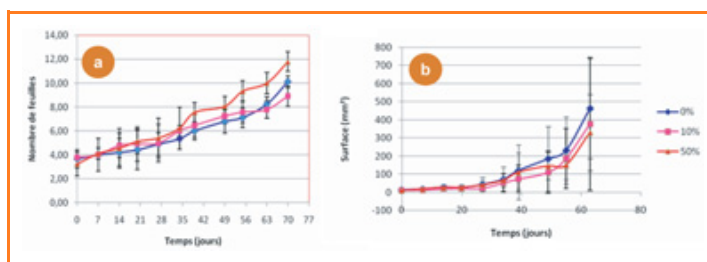


Figure 6 - Nombre (a) et surface (b) de feuilles de *T. caerulea* en fonction du temps et du substrat.

Conclusion

Un effet positif de la teneur en métaux du sol sur la survie de *T. caerulescens* et négatif sur celle du témoin *Arabidopsis thaliana* a été clairement mis en évidence. En revanche, les effets sont plus complexes et mitigés sur la croissance de *T. caerulescens*.

Cela confirme bien que la densité des individus de *T. caerulescens* peut être un indicateur de pollution et apporte la précision d'une « préférence » de *T. caerulescens* pour les milieux pollués alors que les autres plantes ne les supportent pas.

Il restait à vérifier que *T. caerulescens* ne pouvait pas être trouvée en abondance sur des sites non pollués.

Les sites non contaminés

La présence de *T. caerulescens* est connue des botanistes du CEFÉ sur deux terrains situés à une dizaine de kilomètres des mines, donc *a priori* non pollués (figure 7). Des études similaires ont donc été effectuées à la Baume-Auriol (cirque de Navacelles, site 3) et au sommet de la Serrane (site 4) pour quantifier la présence de *T. caerulescens*.

Présentation des sites et pollution des sols

Sur ces deux terrains, la méthode de comptage utilisée précédemment s'est révélée inefficace, car la population de *T. caerulescens* était répartie de façon hétérogène et surtout en très faible quantité. La présence de *T. caerulescens* a été observée de façon plus qualitative (figure 8). Les individus sont plus petits, cachés sous des buissons et dans une



Figure 7 - Situation des sites 3 et 4.



Figure 8 - *Thlaspi* sur le site 3.

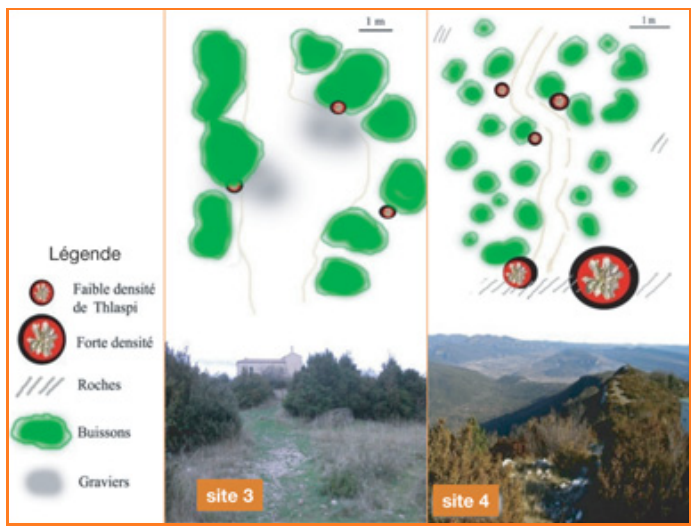


Figure 9 - Végétation des terrains 3 et 4.

proportion bien moindre (figure 9). Leur faible densité peut être expliquée par une influence des autres végétaux qui représentent une forte compétition (en proliférant sur les terrains non pollués alors qu'ils étaient absents sur les terrains pollués).

Des prélèvements de sol ont été réalisés sur ces deux sites pour vérifier qu'ils n'étaient pas pollués ou du moins en quantité moindre. Les dosages ont été effectués avec les mêmes méthodes que précédemment. Les résultats sont consignés dans le tableau II. Ils montrent que ces sites sont non pollués, ce qui peut potentiellement être mis en relation avec la faible densité de *T. caerulescens*.

Tableau II - Résultats des dosages.

Site	Cd (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Pb (mg/kg)
Navacelles	1	18	38
Séranne	5	23	7
Normes européennes limites [3]	2	300	100

Étude de la croissance et de la survie

Pour expliquer leur présence dans des milieux que l'on peut considérer comme non pollués, des cultures de graines provenant de Navacelles ont été réalisées. Nous avons opté pour neuf pots pour chacun des quatre substrats déjà mis en place avec toujours deux individus par pot et donc 72 en tout. Les mesures de la croissance sont faites de la même manière que pour les plantes se développant sur les sols contaminés.

Ces individus de *T. caerulescens* ne vivent que sur des milieux non pollués. En effet, le nombre de pertes est nul pour un substrat neutre, de 20 % pour un sol faiblement et moyennement pollué, et de 100 % pour un sol fortement pollué (figure 10a). La mesure du nombre de feuilles (figure 10b) semble montrer un effet négatif de la pollution sur la croissance, après environ deux mois. Au vu des écarts types, aucune conclusion ne peut être tirée de la surface foliaire (figure 10c).

Les *T. caerulescens* des sites non pollués ont un comportement expérimental différent de celui des types

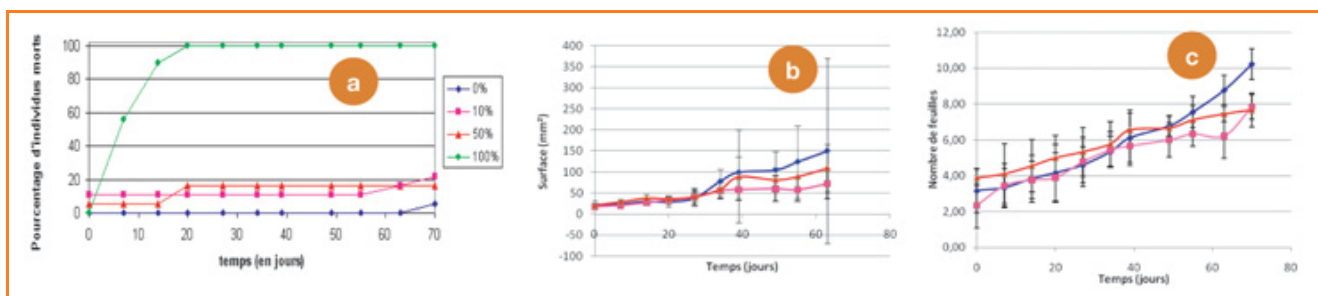


Figure 10 - Pertes (a), nombre de feuilles (b) et surface des feuilles (c) de *T. caerulescens* en fonction du temps et du substrat.

pollués et peuvent donc être considérés comme un écotype⁽⁵⁾ au sein de l'espèce. Ceci est vérifié par la bibliographie [4-5], qui nous apprend de plus que cet écotype particulier des sites non pollués ne se rencontre que rarement et à des altitudes supérieures à 600 m, où la concurrence des autres végétaux est moins importante et permet leur développement. Ces deux écotypes diffèrent aussi par leur capacité à concentrer le zinc : l'écotype de sites pollués limite la teneur en zinc des tissus aériens à moins de 10 g/kg, tandis que celui de sols non pollués peut en accumuler jusqu'à trois fois plus [4].

Conclusion

Les expériences de culture ont bien montré l'existence de deux écotypes différents de *Thlaspi caerulescens*, même si la croissance foliaire donne des résultats peu nets (ce qui peut être dû à des conditions de culture insuffisamment contrôlées, ou à un traitement statistique incorrect des données).

Les études de terrain et les mesures de pollution des sols confrontées aux études précédentes, suggèrent que l'abondance de *T. caerulescens* peut bien être un indicateur de pollution, à condition que celle-ci soit présente en grand nombre d'individus et associée à d'autres espèces végétales constituant une composition floristique caractéristique. Cependant, ces études ne montrent pas si l'abondance de *T. caerulescens* est liée à un métal particulier. Des mises en culture plus spécifiques pourraient peut-être le révéler.

Par ailleurs, l'intérêt scientifique porté à cette espèce ne vient pas uniquement de sa valeur d'indicateur de pollution, mais aussi d'intéressants problèmes de biologie évolutive posés par la répartition et l'existence de ses écotypes. De plus, l'écotype des sols pollués donne lieu à des expériences de phytostabilisation prometteuses.

Remerciements

Les auteurs remercient le professeur D. Breton (lycée Joffre Montpellier, classe CPGE, section BCPST) pour ses conseils lors de la réalisation de ce travail.

Notes et références

- (1) *Pédologie* : étude des sols et de leur évolution en fonction de leurs caractéristiques chimiques, physiques et biologiques.
- (2) M. Cretin, ENSCM, Institut Charles Gehhardt (UMR 5635), Electrochimie et matériaux membranaires.
- (3) V. Bonniol, technicienne à l'Institut Européen des Membranes (UMR5635 CNRS-ENSCM-UM2).
- (4) M. Dauzat et C. Granier, Laboratoire d'écophysiologie des plantes sous stress environnementaux, Institut de Biologie Intégrative, INRA, Sup Agro, Équipe SPIC (stress environnementaux et processus intégrés).

(5) *Écotype* : ensemble de populations d'une espèce qui présentent des caractéristiques génétiques particulières adaptées à leur environnement.

- [1] Vincent M., *Les mines des Cévennes*, Éd. Terre Cévenole, 2006.
- [2] Bonnier G., *La grande flore en couleur*, illustration tome 1 planche 56, 1999, p. 89-90.
- [3] *Évaluation des risques issus des sites pollués*, Règlements et pratiques de 16 pays européens, données 2004, BRGM, 2005.
- [4] Escarré J., Lefèbre C., Gruber W., Leblanc M., Lepart J., Rivière Y., Delay B., Zinc and cadmium hyperaccumulation by *Thlaspi caerulescens* J. et C. Presl from metalliferous and non-metalliferous sites in the Mediterranean area: implications for phyto-remediation, *New Phytologist*, 2000, p. 429.
- [5] Frérot H., Aspects génétiques et écologiques de l'hyperaccumulation et de la tolérance aux métaux lourds chez *Thlaspi caerulescens* (Brassicaceae). Perspectives en phytoremédiation, Thèse de l'Université de Montpellier 2 spécialité Biologie des populations et écologie, 2004.



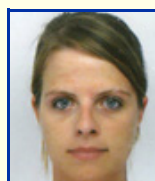
C. Grison



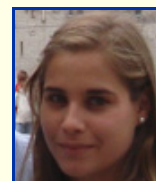
J. Escarré



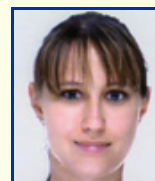
M.-L. Berthommé



J. Couhet-Guichot



C. Grison



F. Hosity

Claude Grison (auteur correspondant) est professeure à l'Université de Montpellier 2 et chercheuse au Centre d'Écologie Fonctionnelle et Évolutive*. Elle travaille actuellement à l'interface de la chimie et de l'écologie en développant des procédés originaux de biotechnologies blanches et en étudiant le métabolisme de bactéries métallocoles d'intérêt écologique. **José Escarré** est chargé CNRS dans ce même centre. Il étudie l'adaptation des espèces végétales à des environnements extrêmes dans le but de les utiliser pour la restauration d'écosystèmes pollués.

Marie-Laure Berthommé, **Julie Couhet-Guichot**, **Claire Grison** et **Fanny Hosity** sont étudiantes en 2^e année de classes préparatoires aux grandes écoles en section Biologie-chimie-physique-sciences de la Terre au lycée Joffre de Montpellier**.

* Centre d'Écologie Fonctionnelle et Évolutive, UMR 5175, campus CNRS, 1919 route de Mende, F-34293 Montpellier Cedex 5.

Courriels : claud.grison@cefe.cnrs.fr, jose.escarre@cefe.cnrs.fr

** Lycée Joffre, 150 allée de la Citadelle, F-34000 Montpellier.

Courriels : mberthomme@gmail.com, julie_couhetguichot@hotmail.fr, claire.grison@gmail.com, fanh@hotmail.fr