

# Détermination de la maturité des composts par spectroscopie proche infrarouge : une méthode de routine rapide et robuste

Remy Albrecht<sup>a</sup>, Claude Périssol<sup>a</sup>, Richard Joffre<sup>b</sup>, Jean Le Petit<sup>a</sup> et Gérard Terrom<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Aix-Marseille Université, Institut Méditerranéen d'Ecologie et de Paléocécologie (UMR CNRS IRD), Ecologie Microbienne & Biotechnologies, case 452, Faculté des Sciences et Techniques de Saint-Jérôme, 13397 Marseille Cedex 20

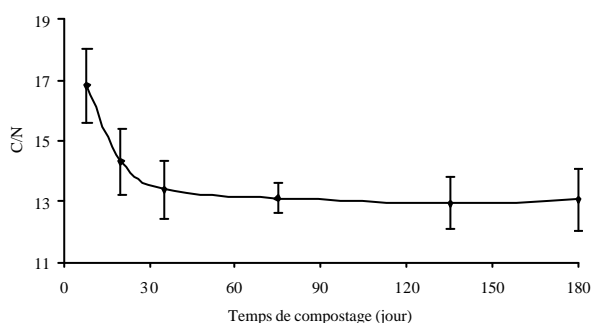
<sup>b</sup>Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive, CNRS, UMR 5175, 1919 Route de Mende, F-34293 Montpellier cedex 05

## Le compostage

Le compostage est un procédé prometteur de valorisation de déchets par le fait qu'il permet d'obtenir, à partir de déchets organiques, un produit stable, hygiénisé et pouvant être utilisé comme amendement agricole. Il est le résultat de l'action de nombreux mécanismes chimiques et biologiques conduisant à des modifications de la composition et des structures chimiques au sein du compost permettant l'obtention d'une matière organique stable, dite mature. Les processus biochimiques successifs et parfois simultanés transforment un mélange initial de biodéchets constitués de matière organique instable et très active en un produit final qui doit satisfaire à des exigences en terme de qualité nécessitant actuellement un nombre important de caractérisations physico-chimiques et biologiques. L'objectif de notre étude a donc été d'étudier les processus du compostage afin de mettre au point une méthode simple et efficace de suivi de l'évolution chimique et biologique des composts.

## Caractérisation des composts

Notre travail s'est concentré sur un co-compostage en andains de boues de station d'épuration urbaines et de déchets verts broyés durant une période de six mois. Plusieurs phases ont été mises en évidence durant le compostage (Albrecht *et al.*, 2009). La première (0 à 2 mois), dite phase bio-oxydante, est caractérisée par une intense minéralisation des matières organiques provoquée par des activités biologiques soutenues (respiration, activités cellulases, protéases...). La seconde phase (2 à 6 mois) est la résultante de deux événements concomitants : une diminution des activités biologiques en parallèle d'une amplification des processus d'humification de la matière organique. La mesure du rapport C/N, paramètre particulièrement utilisé pour évaluer la maturité des composts, est présentée dans la figure 1.



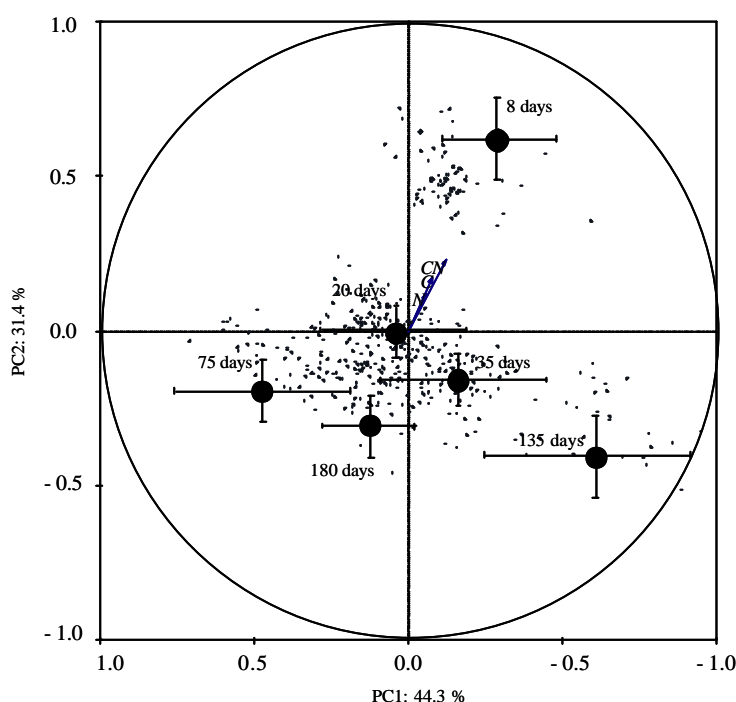
**Figure 1** : Evolution du rapport C/N de 60 composts.

## Spectroscopie Proche InfraRouge (SPIR)

La Spectroscopie Proche InfraRouge (SPIR) est une technique donnant des résultats reproductibles, capable de produire un « fingerprint » chimique précis des matières organiques (Ben-Dor *et al.*, 1997). La SPIR mesure des intensités d'absorption de radiations électromagnétiques par les matières organiques dans les régions proche infrarouge (800 - 2500 nm). Cette technique est largement appliquée à l'étude des processus de décomposition dans les sols et les litières (Joffre *et al.*, 1992 ; Gillon *et al.*, 1993 ; Couteaux *et al.*, 2005).

## Analyse en Composante Principale

Afin de synthétiser les quantités très importantes d'informations délivrées par la technique SPIR, une Analyse en Composante Principale (ACP) a été appliquée aux données. Cette technique statistique permet d'effectuer la synthèse de l'information contenue dans un grand nombre de variables grâce à l'obtention de « composantes principales » : nouvelles variables, indépendantes, combinaisons linéaires des variables initiales possédant une variance maximale.



**Figure 2** : Carte factorielle produite par l'ACP des profils en SPIR de 426 composts. Les composts de chaque âge sont combinés en barycentres accompagnés de leurs écart-types.

Avec 31,4 % de la variance, l'axe 2 (ou PC2) présente une distribution chronologique des composts. Ainsi, les changements de propriétés spectrales apparaissent être reliés au stade de transformation des matières organiques.

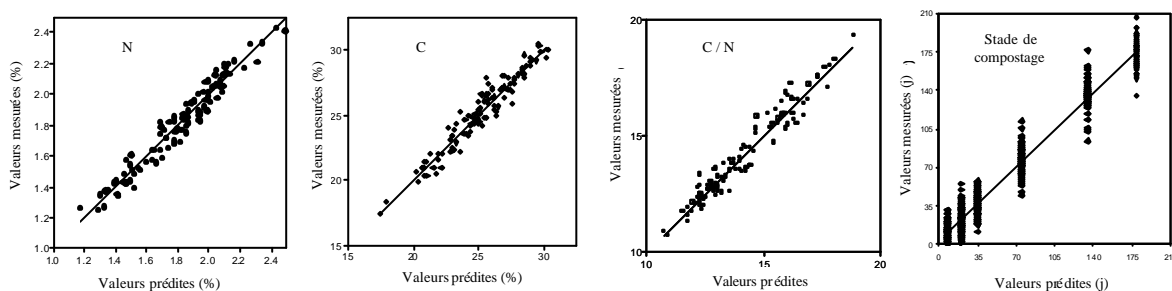
## Modélisation de paramètres chimiques

L'objectif de ces mesures en SPIR est de faciliter l'estimation du degré de maturité d'un compost. Dans ce même but, les paramètres C, N, C/N et le stade de compostage ont été modélisés grâce à un outil de calibration et de prédiction : la méthode des moindres carrés partiels ou Partial Least Square ou encore PLS (Shenk & Westerhaus, 1991). La méthode PLS est l'une des méthodes chimiométriques les plus couramment utilisées, notamment pour les données SPIR (Feudale *et al.*, 2002). Le but est d'établir un modèle prédictif liant les données spectrales assemblées dans une matrice (données SPIR) à la variable à prédire. Trois quarts des échantillons sont utilisés pour établir un modèle de calibration, le dernier quart servant à sa validation. Cette méthode de validation croisée permet de qualifier le modèle à l'aide de paramètres tels que la "standard error of cross-validation" (SECV). Enfin, le modèle final est recalculé à partir de l'ensemble des données afin d'obtenir un modèle prédictif applicable. L'ensemble de résultats pour les calibrations de C, N, C/N et du stade de compostage est présenté dans le tableau 1 et la figure 3.

Calibrations	n	SD	SEC	R2	SECV	SD / SECV
N (%)	60	0,30	0,06	0,96	0,093	3,23
C (%)	60	2,99	0,69	0,95	0,79	3,76
C/N	60	1,97	0,38	0,96	0,58	3,38
Stade de compostage (jour)	426	63,3	12,60	0,96	14,9	4,23

SD = standard deviation, SEC = standard error of calibration, SECV = standard error of cross-validation  
R2 = coefficient de corrélation

**Tableau 1** : Résultats des calibrations de N, C, C/N et du stade de compostage à partir des données SPIR.



**Figure 3** : Graphiques de prédiction en fonction des valeurs réelles, pour C, N, C/N et le stade de compostage à partir des données SPIR

Les rapports SD / SECV supérieurs à 2 attestent de la qualité de la modélisation des paramètres C, N, C/N et stade de compostage. Ainsi, la validation de ces modèles indique que la SPIR, en plus de distinguer les composts suivant leurs propriétés chimiques et de discriminer les différentes étapes de transformation de la matière organique, possède la capacité d'en prédire les valeurs. La sensibilité de la méthode SPIR se manifeste à travers la valeur de SEC.

Pour le stade de compostage, celle-ci, est de 12,6, ce qui signifie que l'âge d'un compost inconnu peut être prédit avec une erreur égale à la valeur de SEC, *i.e.* moins de 13 jours, soit une valeur très correcte pour un processus se développant durant plus de six mois.

## Conclusion

La validation de ces modèles de prédiction pour C, N, C/N et le stade de compostage atteste de l'intérêt de la SPIR pour une gestion des processus de compostage. De plus, la SPIR est une méthode rapide et pratique par le grand nombre d'échantillons pouvant être analysés en un court laps de temps. Parce que la SPIR est non destructive et peu onéreuse, cette technique pourrait devenir un outil précieux pour la gestion du compostage. Le contrôle de la maturation pourrait ainsi être fortement simplifié. Cette méthode est actuellement appliquée à des composts d'origines diverses et devra être mise en parallèle avec les méthodes classiques ISB et ISMO et comparée aux tests SOVITA ou ROTTEGRAD relatifs à la maturité des composts.

## Références

- Albrecht R., Joffre R., Le Petit J., Terrom G. & Périssol C., 2009. Calibration of Chemical and Biological Changes in Cocomposting of Biowastes Using Near-Infrared Spectroscopy. *Environmental Science & Technology* **43**: 804-811.
- Ben-Dor E., Inbar Y. & Chen Y., 1997. The reflectance spectra of organic matter in the visible near-infrared and short wave infrared region (400-2500 nm) during a controlled decomposition process. *Remote Sensing of Environment* **61**, 1-15.
- Couteaux M.-M., Sarmiento L., Herve D. & Acevedo D., 2005. Determination of water-soluble and total extractable polyphenolics in biomass, necromass and decomposing plant material using near-infrared reflectance spectroscopy (NIRS). *Soil Biology and Biochemistry* **37**, 795-799.
- Feudale R. N., Woody N. A., Tan H., Myles A. J., Brow, S. D. & Ferre J., 2002. Transfer of multivariate calibration models: a review. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems* **64**, 181-192.
- Gillon D., Joffre R. & Dardenne P., 1993. Predicting the stage of decay of decomposing leaves by near infrared reflectance spectroscopy. *Canadian Journal of Forest Research* **23**, 2552-2559.
- Joffre R., Gillon D., Dardenne P., Agneessens R. & Biston R., 1992. The Use of near-Infrared Reflectance Spectroscopy in Litter Decomposition Studies. *Annales des Sciences Forestières* **49**, 481-488.
- Shenk J. S. & Westerhaus M. O., 1991. Population Structuring of near-Infrared Spectra and Modified Partial Least-Squares Regression. *Crop Science* **31**, 1548-1555.