

Compostage de Basse énergie Bioinspiré

Sébastien Moreau

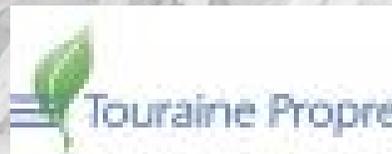
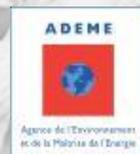


IRBI

Institut de Recherche
sur la Biologie de l'Insecte

UMR 7261

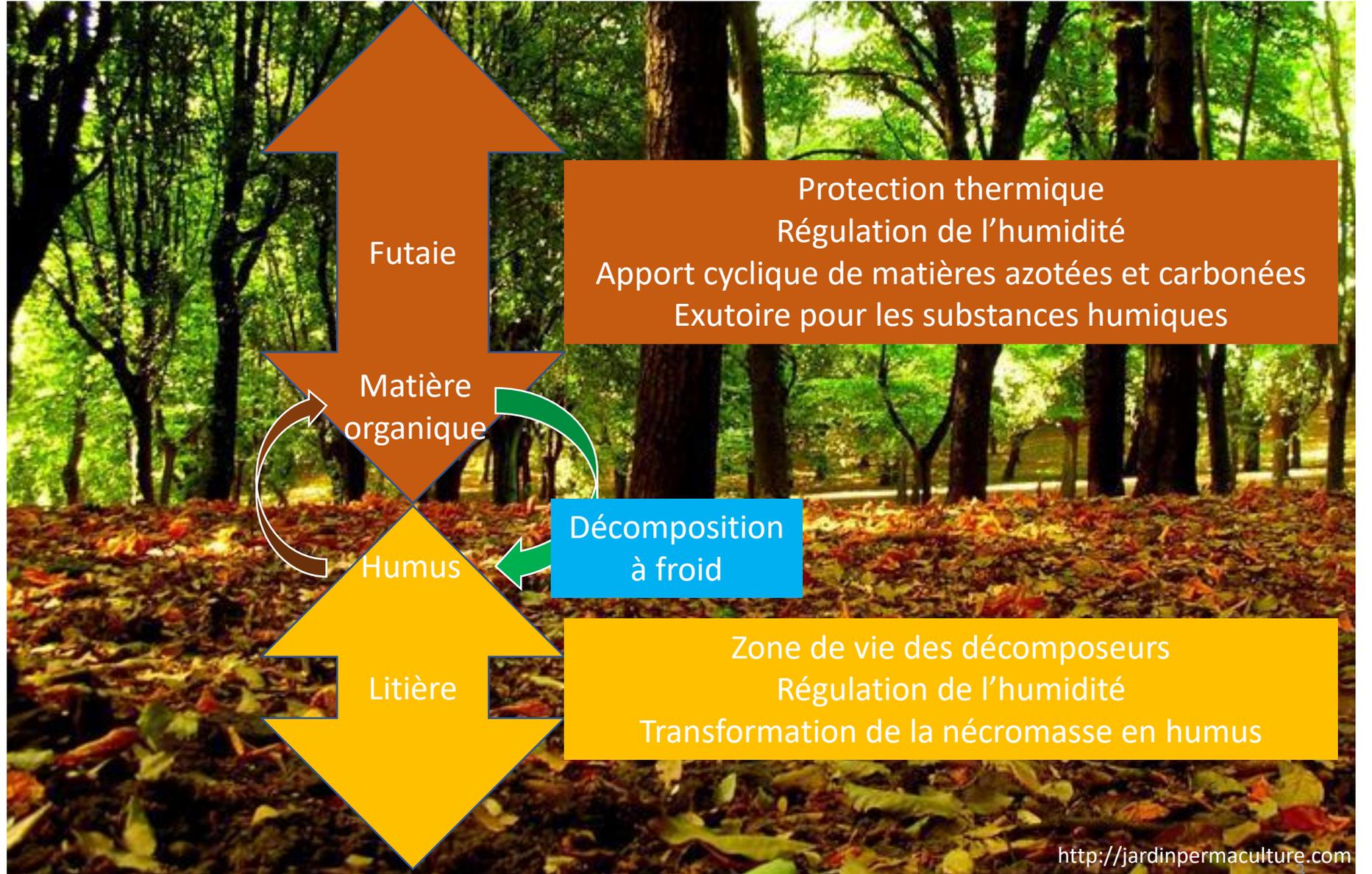
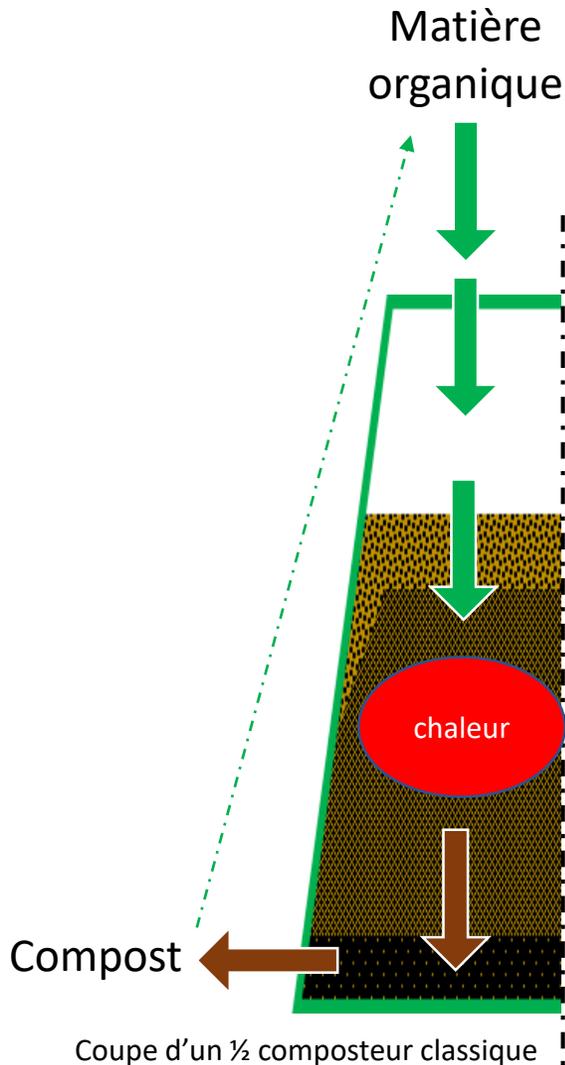
CNRS Université de Tours



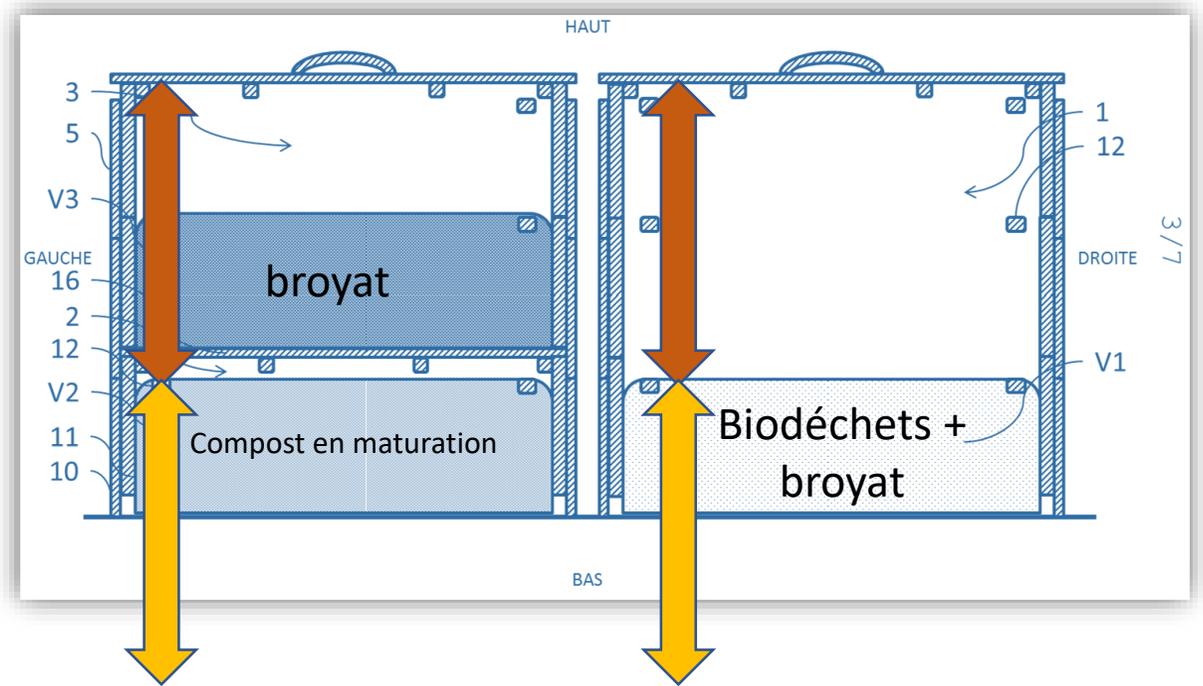
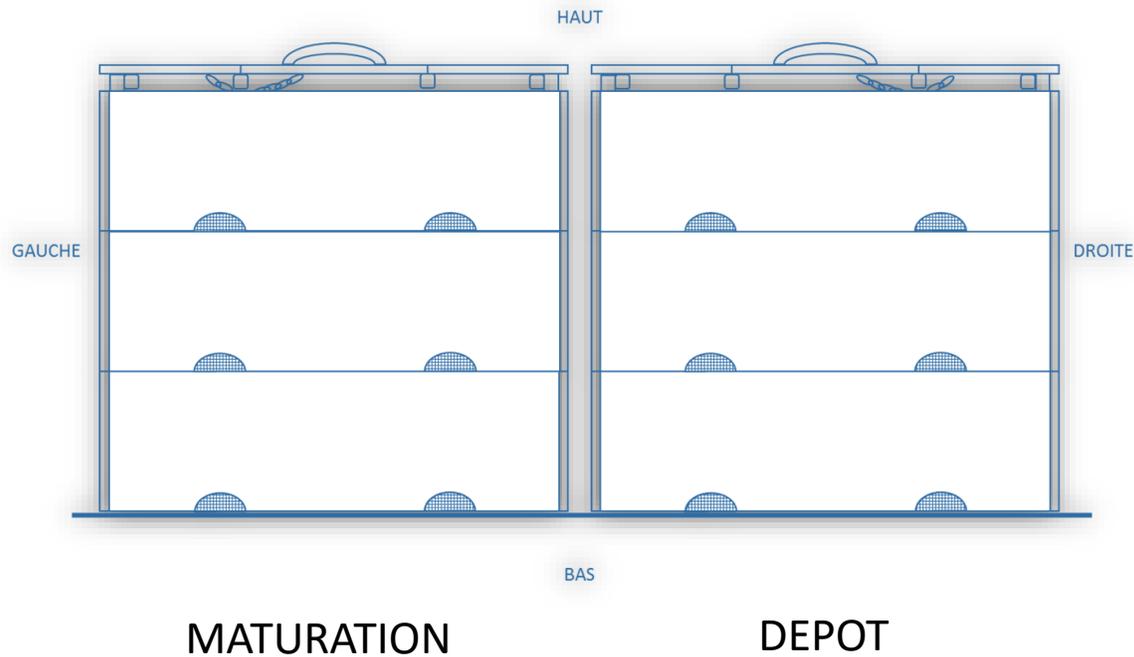


Le Compostou en 180 secondes

La hêtraie, un composteur très efficace car froid et cyclique!



Compostou, un composteur modulaire



Compostou, un composteur partagé



IUT Tours



Place Velpeau



La Riche



Blois



Chateau-Renaud



St-Cyr-sur-Loire

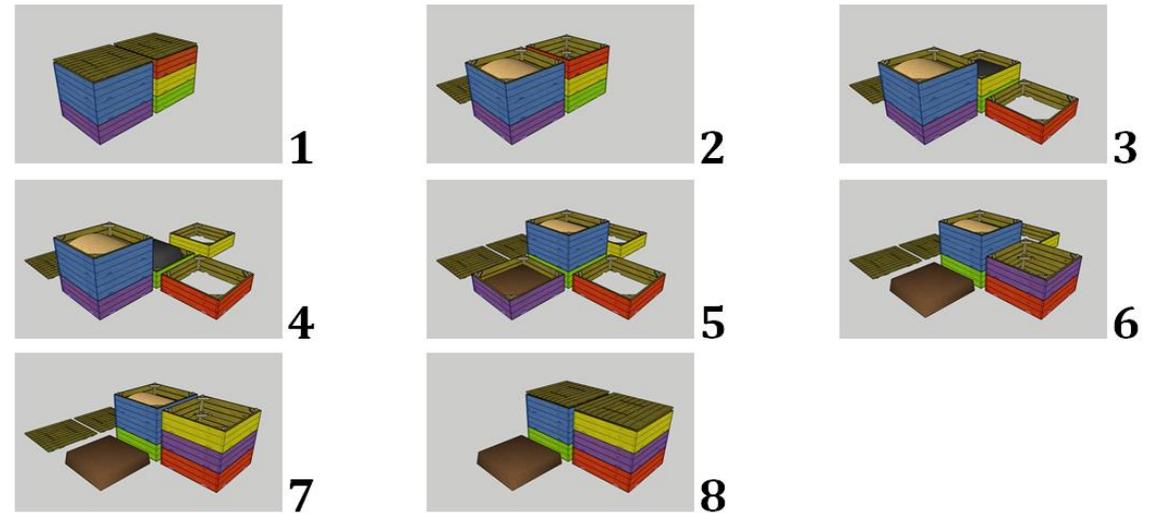
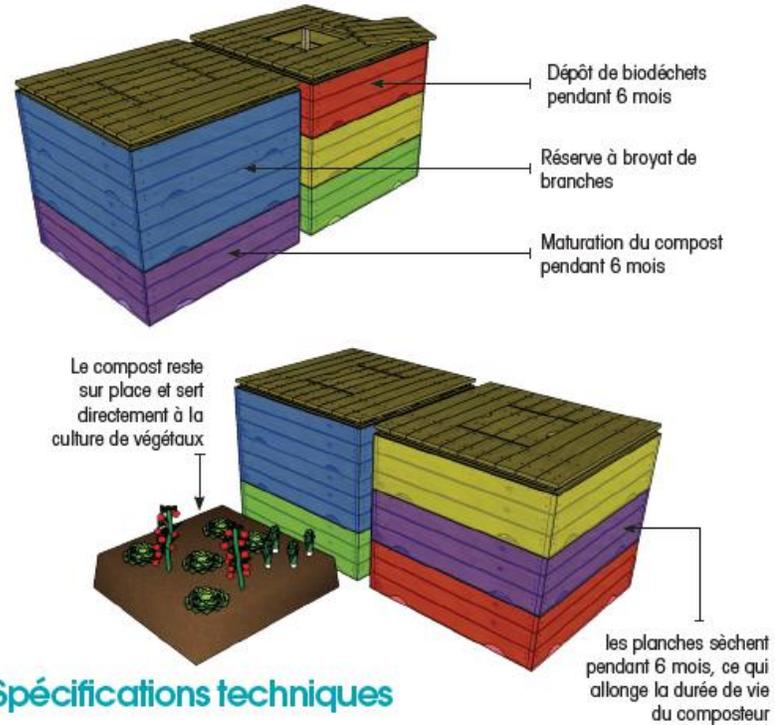


Tours

Compostou, un composteur mobile

La rotation biannuelle des modules

Tous les 6 mois environ, le composteur est changé de place



Spécifications techniques

- Emprise au sol : 4 m²
- Volume du composteur : 2 m³ dont une réserve de 450 L pour le stockage de broyat de branches
- Capacité de traitement : 1 t de biodéchets/an
- Fabriqué artisanalement en Touraine en bois de pin de 2 cm d'épaisseur traité thermiquement à cœur
- Tarif de la mise à disposition annuelle* : à partir de 185 euros/an

* y compris livraison, installation, maintenance, initiation et accompagnement des utilisateurs

Compostou, un commun à buts socio-environnementaux



Chantier participatif pour le montage



Initiation des utilisateurs



Inauguration



Rotation et maintenance



Tamisage du compost mûr



Conseils pour les plantations

Compostou, un mini-écosystème



Larves et femelle d'*Oryctes nasicornis*



Porcellionides pruinosus



Coprinopsis picacea



Tomates



Potimarron



Courges



Le Compostou en chiffres

Chiffres-clés

4 co-inventeurs (Maxime Cornillon, Paul Huguen, Sébastien Moreau, David Violleau)

10 composteurs expérimentaux innovants déployés en Indre-et-Loire

Suivi du fonctionnement pendant **3** ans (2017-2019) par l'IRBI et Zéro Déchet Touraine

1 brevet, **1** marque déposés auprès de l'INPI

100 mètres de planches/Compostou

200 litres de compost produit/an/Compostou

1 m³ biodéchets traités/an/Compostou

Compost sain répondant à la norme française **NF U 44-051**

15 utilisateurs adultes/Compostou

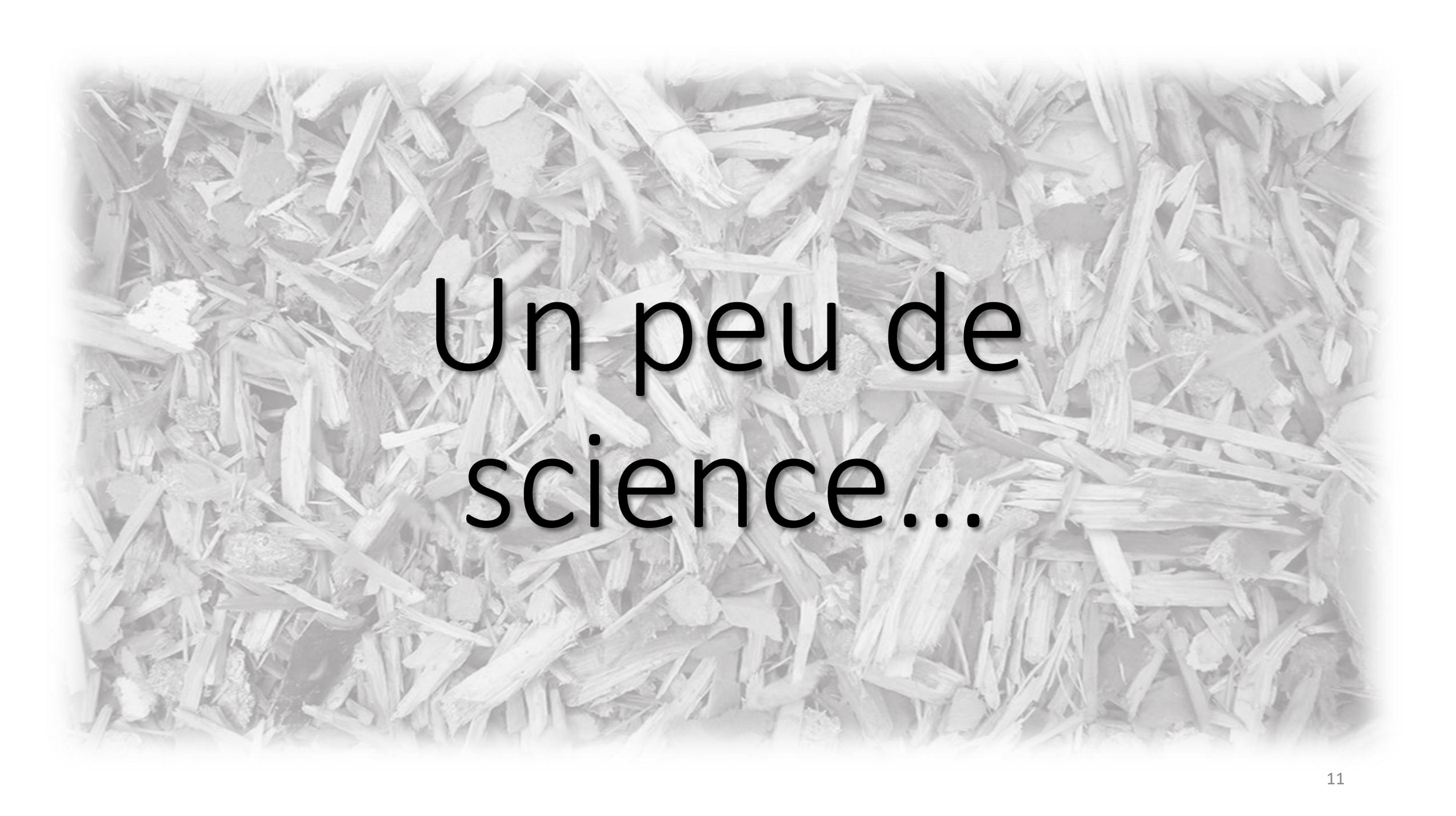
Note de satisfaction de **18/20**

100 personnes formées au compostage (RS, GC), **1** emploi non délocalisable créé

600 heures de bénévolat

1 web-documentaire, **18** articles et plusieurs émissions de télévision et de radio

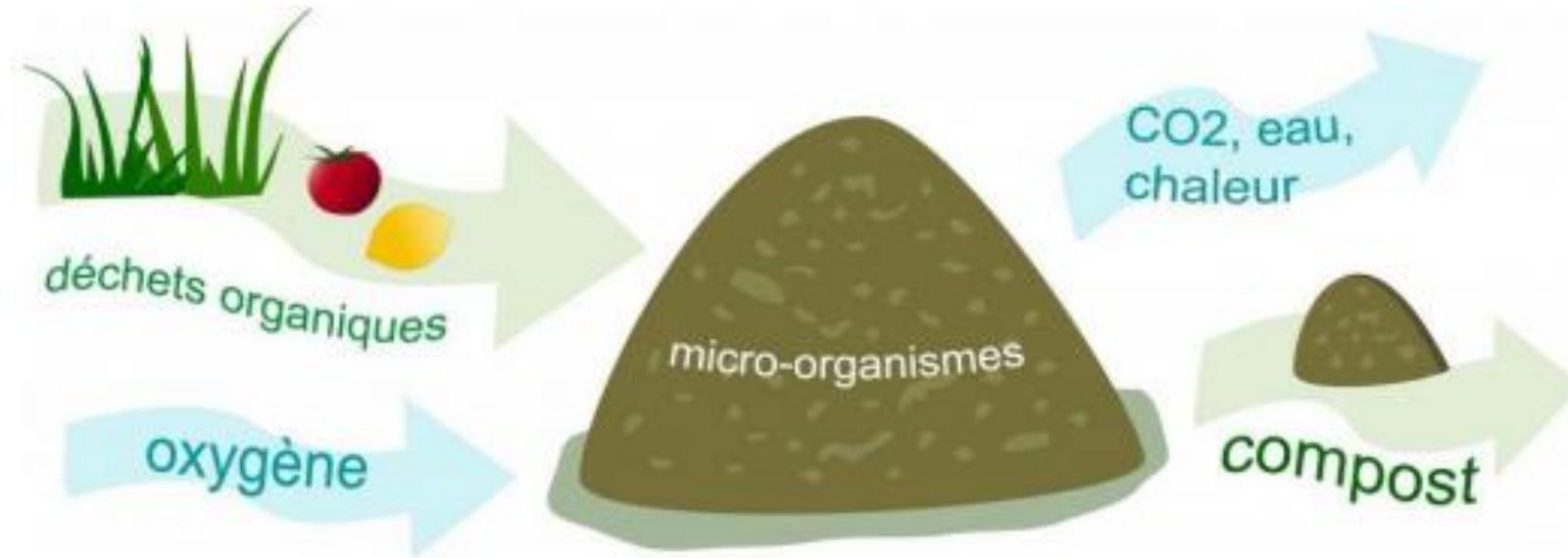
30 Compostous supplémentaires implantés



Un peu de
science...

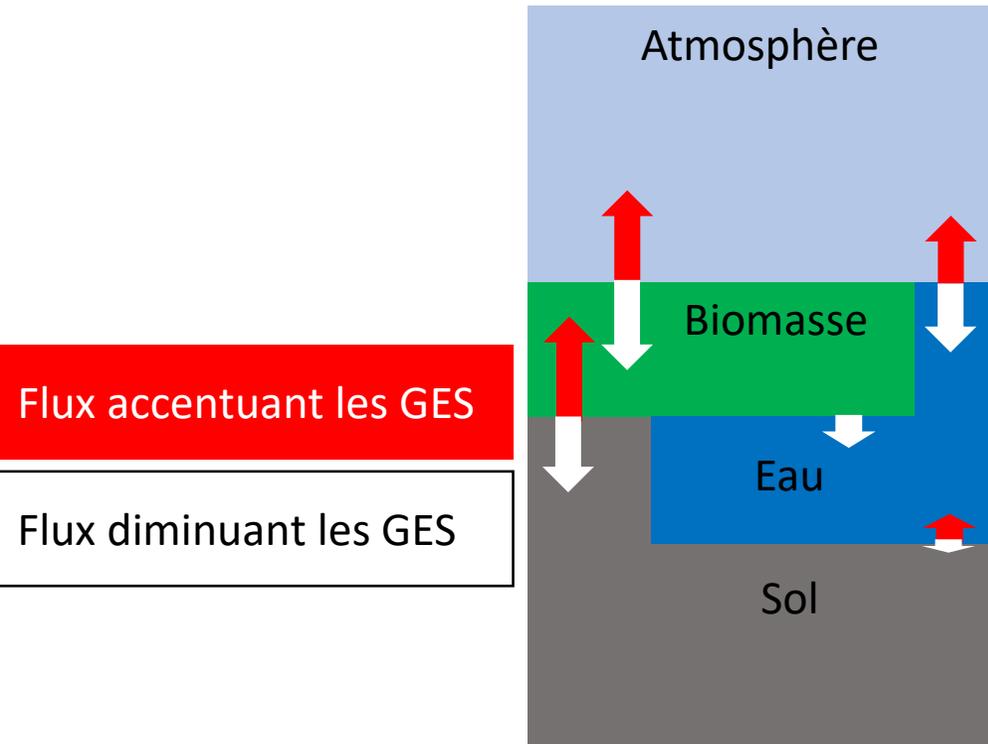
Qu'est-ce que le compostage ?

Procédé de **transformation aérobie*** de **matières fermentescibles** dans des conditions contrôlées (ADEME, 2015).



* en présence d'oxygène, contrairement à la méthanisation qui est une réaction anaérobie ou aux procédés de décomposition anaérobie (bokashi, méthode indienne Bangalore, compostage passif de tas de fumier,...)

Schématisation des flux de carbone



Source : GIEC, 4^e rapport d'évaluation, 2007

Effets positifs

- Reconstitution du stock de carbone organique du sol
- Réduction de l'irrigation en cas de sécheresse
- Rétention de l'eau dans le sol en cas de pluie
- Amélioration de l'absorption des nutriments par les plantes et réduction du lessivage
- Réduction des besoins en engrais et en pesticides
- Alternative à la méthanisation, production NO_2 réduite
- Réduction des GES associés à la collecte et au traitement des déchets

Effets négatifs

- > 90% du carbone du compost est émis sous forme de GES en phase de décomposition ou de maturation:
 - CH_4 , CO_2 , NO_2

Seul **2 à 9% du carbone** épandu sous forme de compost persistera encore dans le sol **1 siècle après**

Impacts environnementaux du traitement des biodéchets

Pour 1 tonne de biodéchets ménagers traités

Tiré de Colón *et al.* (2012), Energy & Environmental Science. 5, 5731-5741.

Facility		Compostage électrorotatif	Compostage confiné	Méthanisation	Compostage en andains	Compostage domestique
Inputs	MJ electricity	770.40	235.80	166.32	33.41	33.77
	MJ electricity self-generation	0	0	167.04	0	0
	l diesel	2.66	9.00	3.64	5.33	0
	Total MJ (electricity + diesel)	871.90	579.24	472.26	236.80	33.77
	m ³ water in the waste gas treatment process	0.42	n/a	0.12	n/a	n/a
	m ³ water used in the composting process	0.14	0.00	0.00	0.00	0.051
	Total m ³ water	0.56	0.02	0.12	0.00	0.051
Outputs	m ³ leachate	n/e	0.00	0.03	0.00	0
	m ³ biogas condensates	n/a	n/a	0.05	n/a	n/a
	kg NH ₃	0.11	2.00	0.23	8.63	0.84
	kg VOC	0.36	6.22	0.86	5.70	0.56
	kg N ₂ O	0.075	0.076	0.035	0.251	0.676
	kg CH ₄	0.34	1.68	2.39	4.37	0.16
	Mg compost	0.10	0.52	0.03	0.20	0.25
	Mg refuse	0.13	0.00	0.41	0.26	0
	m ³ biogas	n/a	n/a	98.90	n/a	n/a
	Electricity MJ	n/a	n/a	550.08	n/a	n/a

^a n/a: not applicable; n/e: not evaluated.



ecoponics.com



Al Rumaihi et al., 2002



Countrypixel

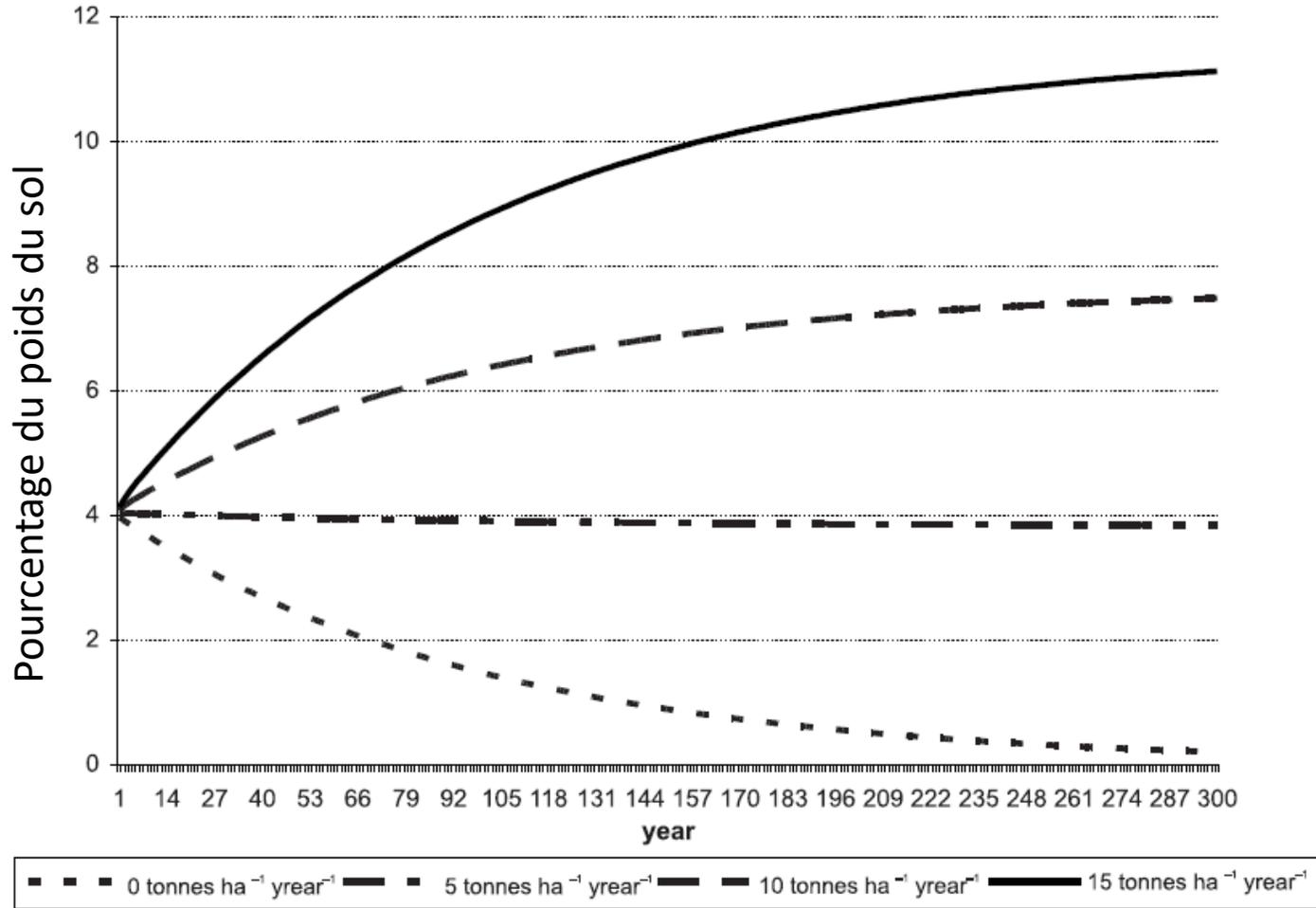


tubertenvironnement.fr



Evreux.fr

Compostage, humification et carbone organique du sol



Effet **théorique** de l'application de différentes densités de compost sur les niveaux de matière organique du sol

Table 1: Findings of long-term field trials in Rothamstead.

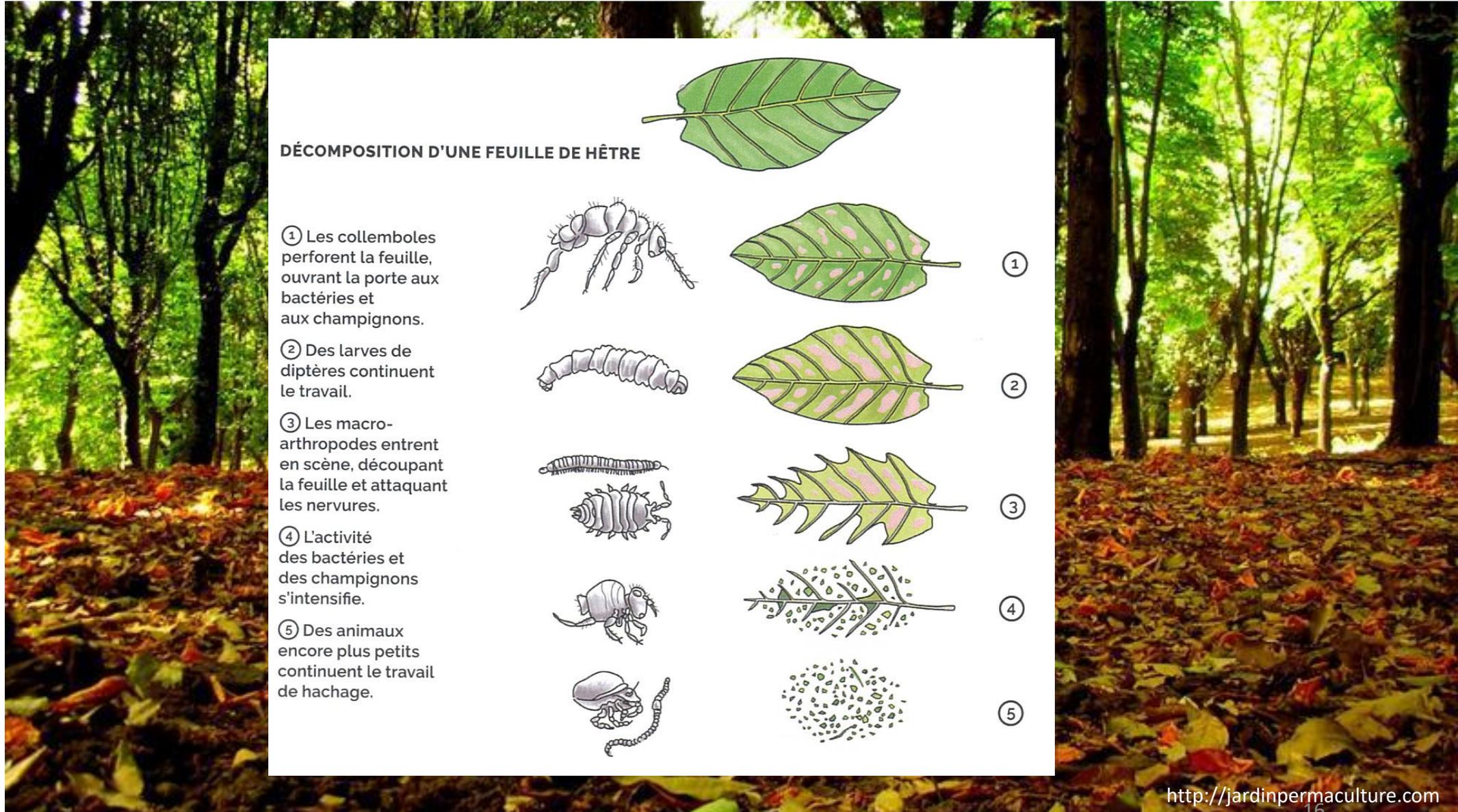
Type of vegetation or cropping	% C
Pasturelands	1.52
Under a forest	2.38
After cropping wheat continuously for 50 years, 1893	
No manure added since 1839	0.89
Only chemical fertilization since 1843	1.10
14 tonnes manure yearly since 1843	2.23

Données **expérimentales**: teneur en carbone total selon les usages des sols



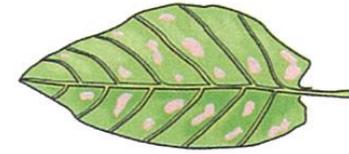
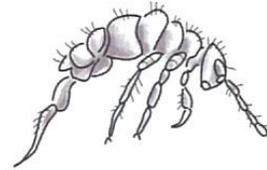
Source : Favoino et Hogg, Waste Management & Research, 2008: 26, 61-69

L'humification: transformation aérobie de matières fermentescibles en conditions naturelles



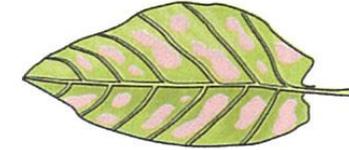
DÉCOMPOSITION D'UNE FEUILLE DE HÊTRE

① Les collemboles perforent la feuille, ouvrant la porte aux bactéries et aux champignons.



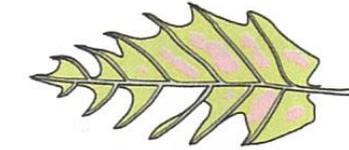
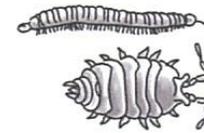
①

② Des larves de diptères continuent le travail.



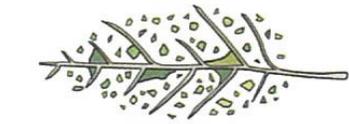
②

③ Les macroarthropodes entrent en scène, découpant la feuille et attaquant les nervures.



③

④ L'activité des bactéries et des champignons s'intensifie.



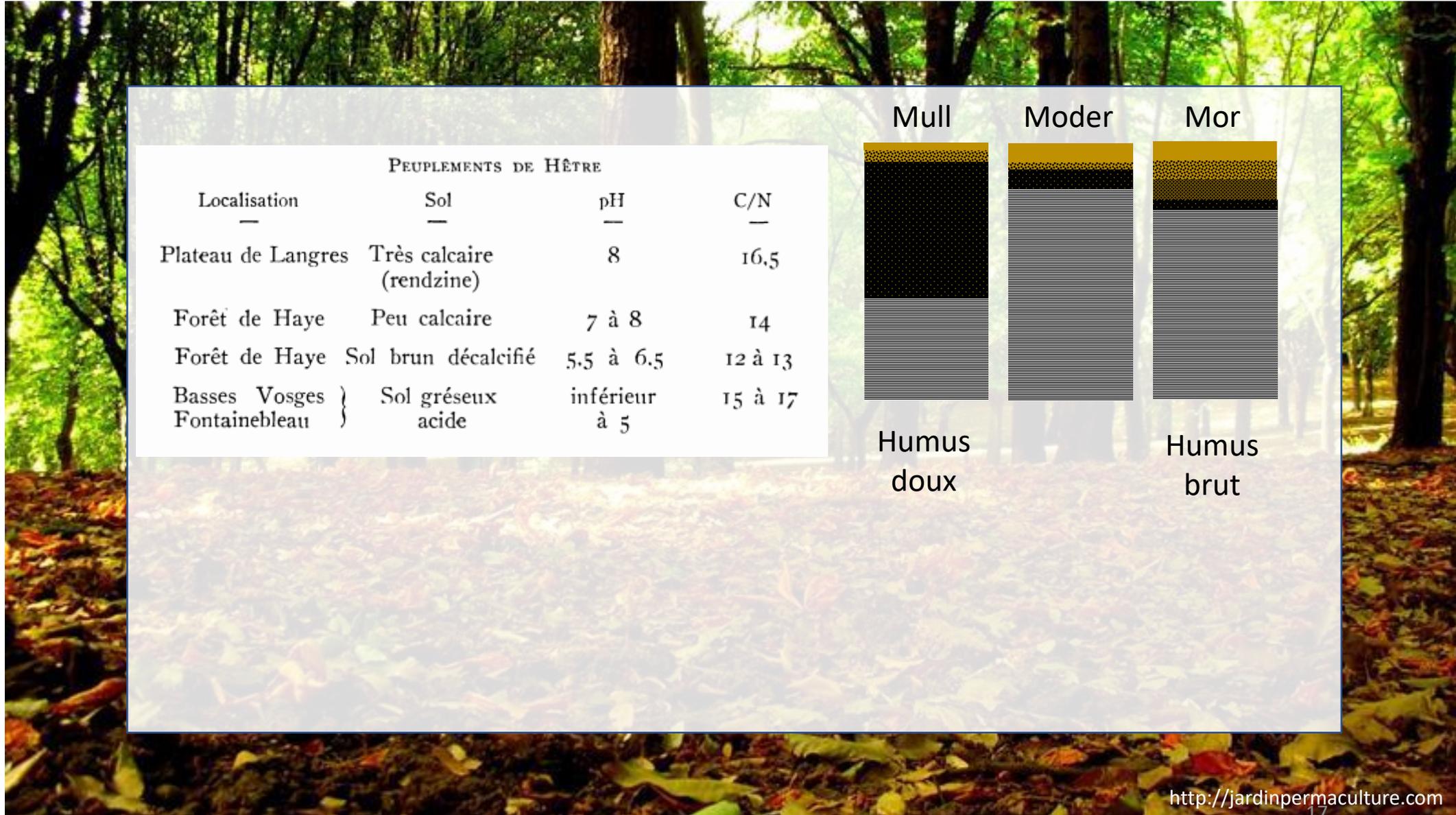
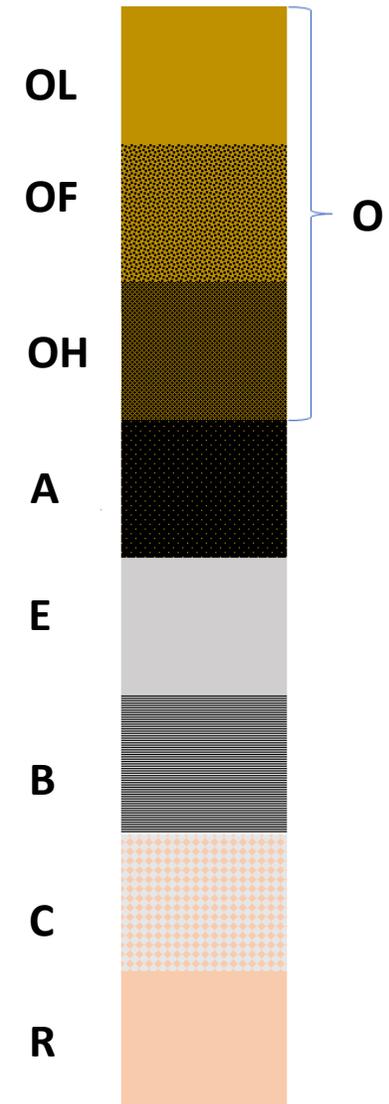
④

⑤ Des animaux encore plus petits continuent le travail de hachage.

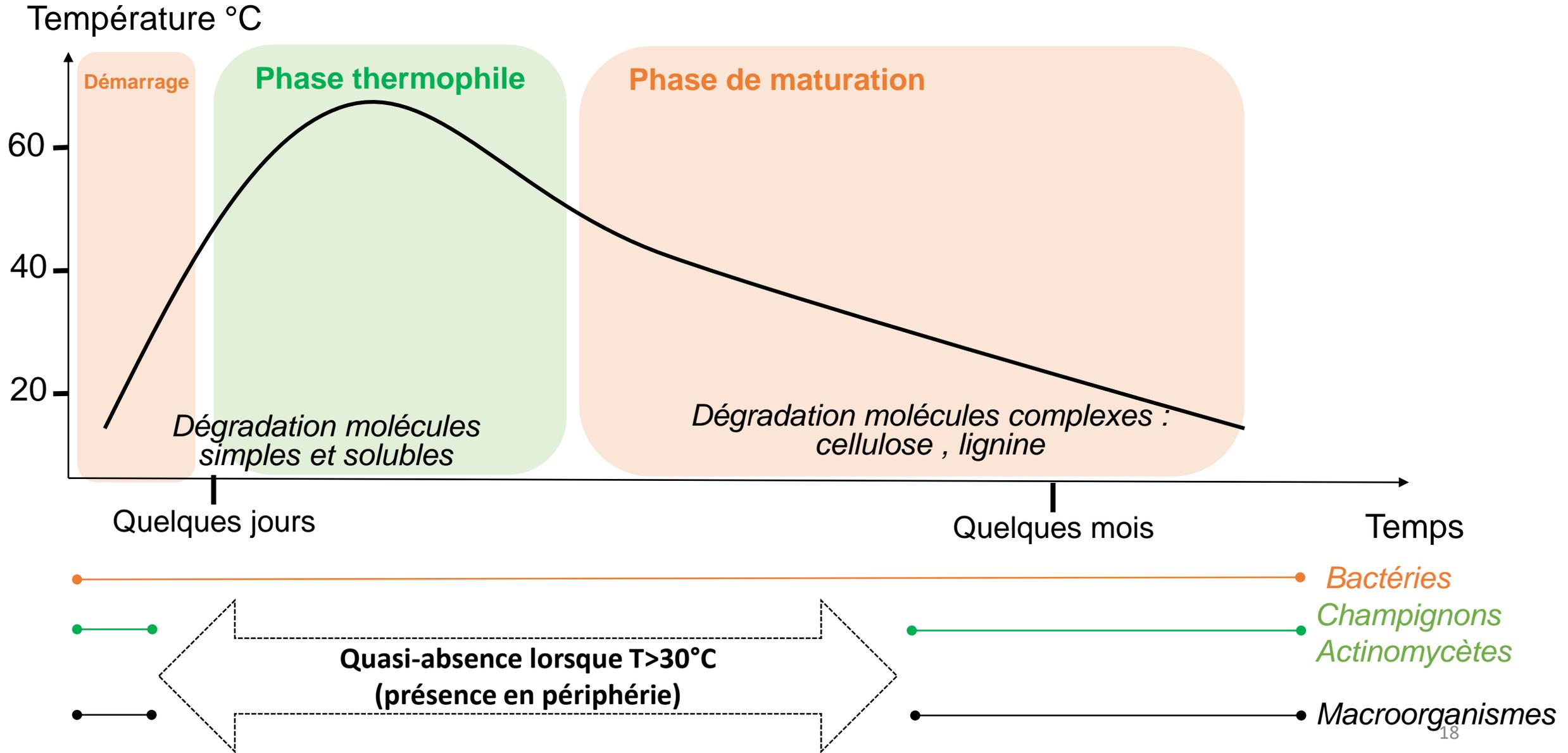


⑤

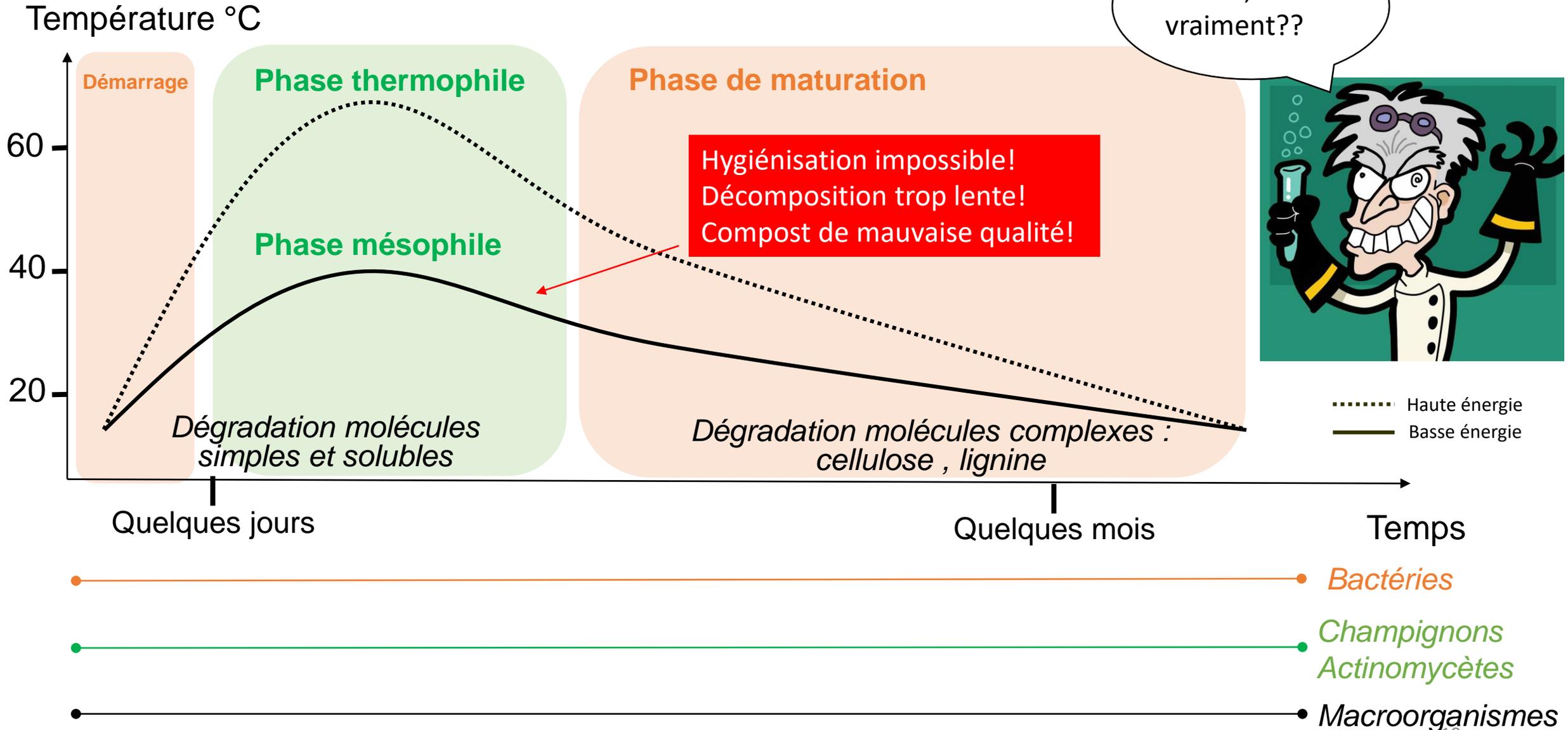
L'humification: transformation aérobie de matières fermentescibles en conditions naturelles

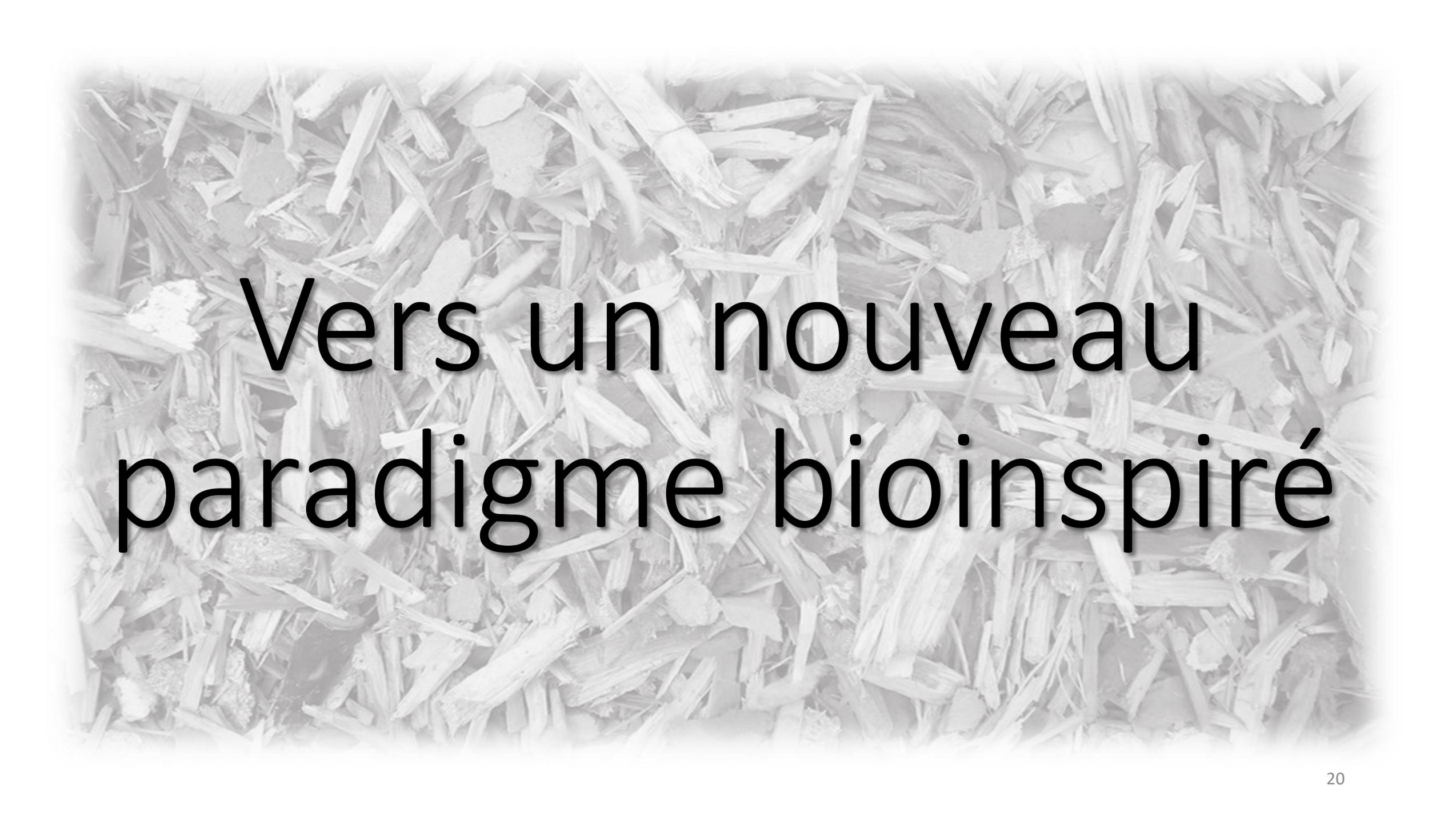


Compostage de haute énergie et biodiversité



Compostage de basse énergie





Vers un nouveau paradigme bioinspiré

Inspiration: fonctionnement écologique d'une litière de hêtraie



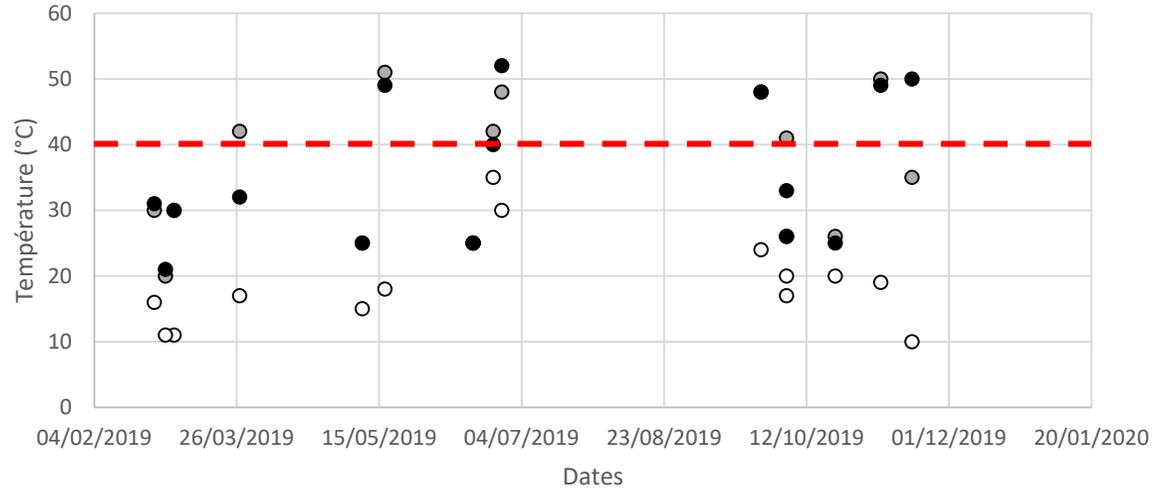
Comment:

- Garantir une aération passive et efficace?
 - Eviter le tassement ?
 - Limiter la montée en température?
- Compenser la décomposition plus lente de la matière organique?
- Rendre la matière organique inaccessible aux animaux indésirables?
- Tendrer vers un ratio C/N de 10 en fin de maturation?

- Maximiser la bioturbation par les invertébrés
- Structurer avec de la matière sèche en excès
- Limiter la hauteur de la litière de biodéchets (couche mince <80 cm)
- Ne pas confiner la matière organique
- Ajourer le composteur
- Favoriser le développement de communautés abondantes et diversifiées
- Créer une stratification hétérogène (couches OL, OF, OH, A)
- Brasser superficiellement (<20 cm)
- Maintenir un taux d'humidité <50%
- Déplacer le composteur régulièrement en laissant le compost sur place
- Tamiser le compost et réutiliser le broyat
- Encourager les écarts de température

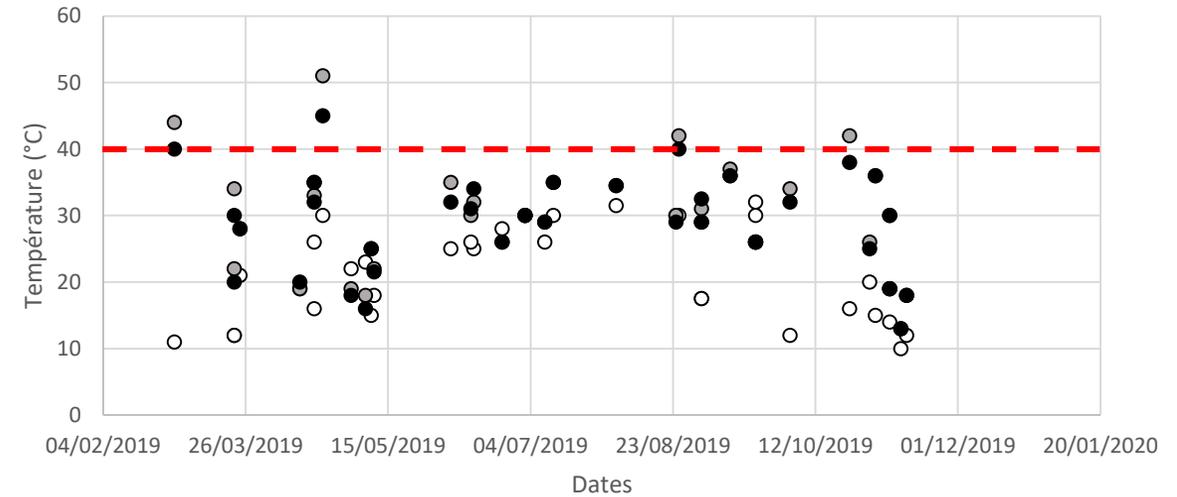
Résultats: températures

Distribution des températures relevées dans des composteurs de haute énergie en 2019



- Température extérieure (°C)
- Température à 20 cm de la surface (°C)
- ◐ Température à 10 cm de la surface (°C)

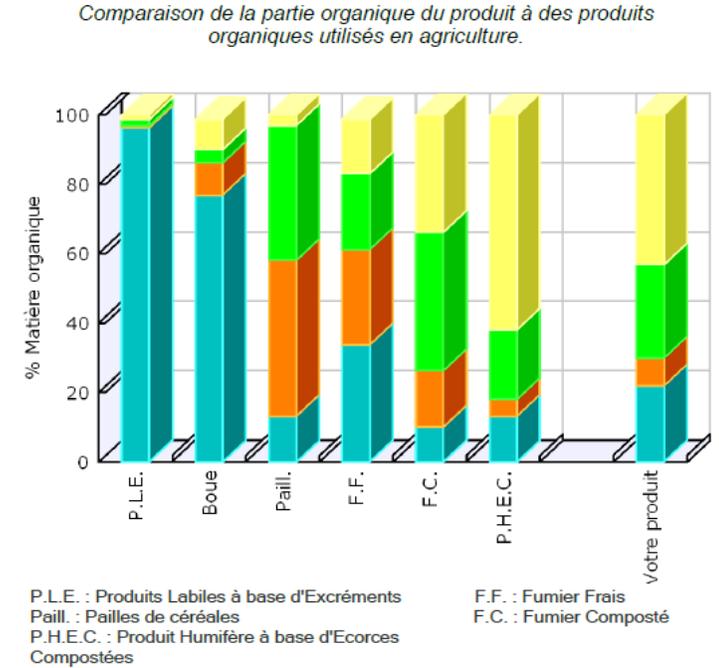
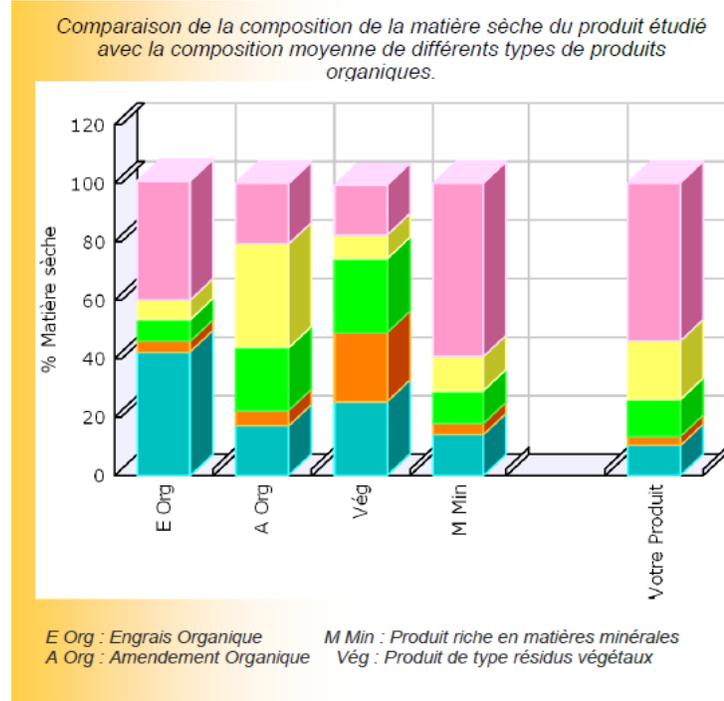
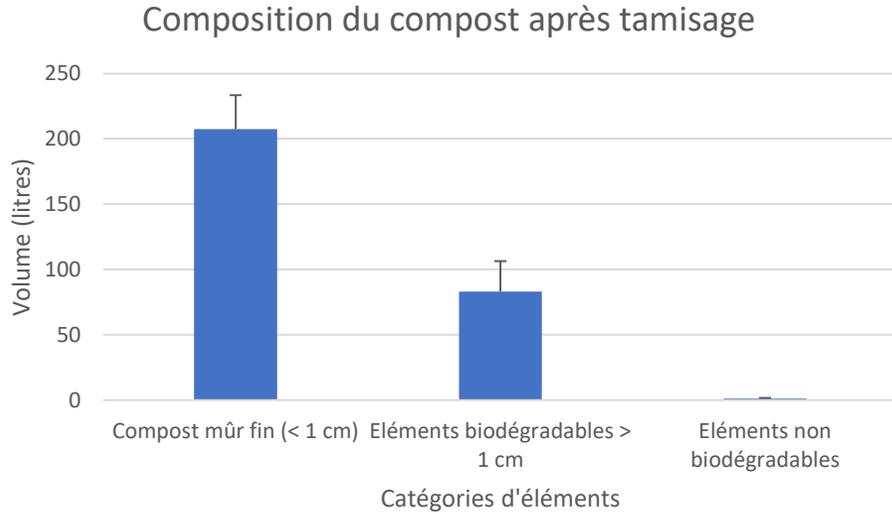
Distribution des températures relevées dans des Compostous en 2019



- Température extérieure (°C)
- Température à 20 cm de la surface (°C)
- ◐ Température à 10 cm de la surface (°C)

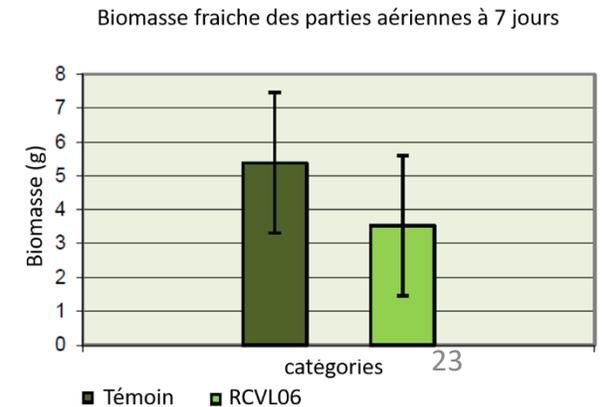
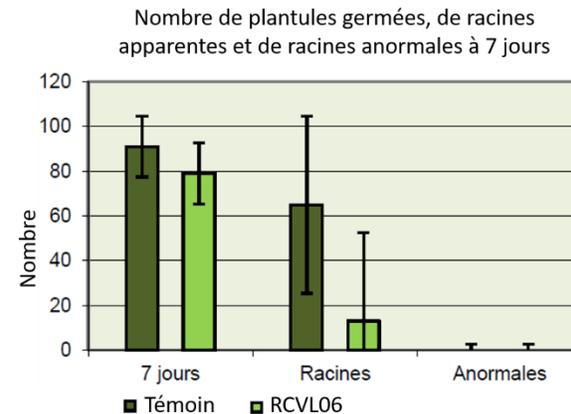
La méthode Compostou permet de composter
à moins de 40°C la plupart du temps

Résultats: Qualité du compost



La méthode Compostou permet d'obtenir un amendement organique de qualité agronomique satisfaisante

Test du Cresson



Résultats: conformité à la norme NF U 44-051

Exploitation Echantillon

ASSOCIATION ZÉRO DÉCHET		Type échantillon : Composts	
Référence Commande :		Réf. échantillon :	
SA001.1.1 / RCVL06 / IRBI/ST PIERRE .		SA001.1.1 / RCVL06 / IRBI/ST PIERRE .	
Dossier : LAB19-12851	Numéro Labo. : D-06927-19		

Date de prélèvement : 15/06/2019	Date de réception : 17/06/2019	Date début analyses : 17/06/2019	Ce rapport annule et remplace le rapport partiel édité le 02/09/19
Date fin analyses : 02/09/2019	Date d'édition : 02/09/2019		

Inertes	Résultats	Unités	Conformité	Valeur Limite
* Films et PSE > 5 mm	NF U44-051	0.0	C %	0.3
* Plastiques durs > 5 mm	NF U44-051	0.0	C %	0.8
* Verres et Métaux > 2mm	NF U44-051	0.0	C %	2

Caractérisation Agronomique	Résultats	Unités	Conformité	Valeur minimale	Limite maximale
* Matière Sèche	NF U44-051	49.2	C %	30	100
* Azote Total (N) (/brut)	NF U44-051	9.36	C o/oo		30
* Phosphore (P2O5) (/brut)	NF U44-051	3.15	C o/oo		30
* Potassium (K2O) (/brut)	NF U44-051	6.82	C o/oo		30
* Matière Organique par Perte au Feu (/brut)(1)	NF U44-051	226	C o/oo	200	1000
Rapport C/N	NF U44-051	14	C -	8	200
* N + P2O5 + K2O (/brut)	NF U44-051	19.3	C o/oo		70
* Azote organique (en % de l'azote total) (/brut)	NF U44-051	93	C %	66	100

Oligos et Eléments traces	Résultats	Unités	Conformité	Valeur Limite
* Arsenic (As)	NF U44-051	3.75	C mg/Kg	18
* Cadmium (Cd)	NF U44-051	0.21	C mg/Kg	3
* Chrome (Cr)	NF U44-051	18.3	C mg/Kg	120
* Cuivre (Cu)	NF U44-051	18.6	C mg/Kg	300
* Mercure (Hg)	NF U44-051	< 0.2	C mg/Kg	2
* Nickel (Ni)	NF U44-051	13.5	C mg/Kg	60
* Plomb (Pb)	NF U44-051	13.4	C mg/Kg	180
* Sélénium (Se)	NF U44-051	< 1.5	C mg/Kg	12

Exploitation Echantillon

ASSOCIATION ZÉRO DÉCHET		Type échantillon : Composts	
Référence Commande :		Réf. échantillon :	
SA001.1.1 / RCVL06 / IRBI/ST PIERRE .		SA001.1.1 / RCVL06 / IRBI/ST PIERRE .	
Dossier : LAB19-12851	Numéro Labo. : D-06927-19		

Date de prélèvement : 15/06/2019	Date de réception : 17/06/2019	Date début analyses : 17/06/2019	Ce rapport annule et remplace le rapport partiel édité le 02/09/19
Date fin analyses : 02/09/2019	Date d'édition : 02/09/2019		

* Zinc (Zn)	NF U44-051	95.0	C mg/Kg	600
-------------	------------	------	---------	-----

Composés traces Organiques	Résultats	Unités	Conformité	Valeur Limite
* Benzo(a) pyrène (HAP)	NF U44-051	0.09	C mg/Kg	1.5
* Benzo(b) fluoranthène (HAP)	NF U44-051	<0.05	C mg/Kg	2.5
* Fluoranthène (HAP)	NF U44-051	0.12	C mg/Kg	4

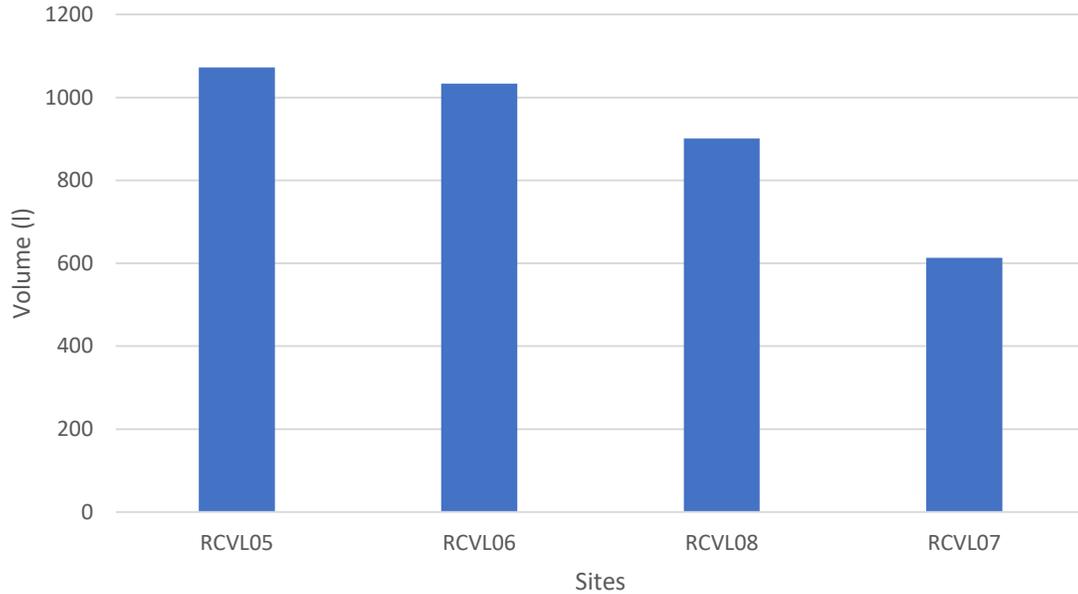
Micro-Organismes Pathogènes	Résultats	Unités	Conformité	Valeur Limite
* Escherichia coli (Dénombr.)	NF U44-051	< 1000	UFC / g	Non interprétable (valeur limite :100).
Entérocoques (Dénombr.)	NF U44-051	570	C dans 1g	10000
Oeufs d'Helminthes viables (Dénombr.)	NF U44-051	Absence	C / 1.5 g MB	CONFORME
* Salmonella spp (Recherche)	NF U44-051	Absence	C dans 25g	CONFORME

Texte ayant servi de base à la déclaration de conformité : NF U44-051 relatif aux composts - modalité GENERAL.
 (1) Valable seulement pour les dénominations 1 à 5 et 9, 10 de la norme NFU 44051. Pour les dénominations 6 (mono-produit végétal), 7 (matières végétales en mélange) et 8 (mélange de matières végétales et de matières animales), la matière organique doit être supérieure ou égale à 25% de la matière brute.
 La conformité, donnée sans prise en compte des incertitudes sur les résultats, ne porte que sur les analyses demandées. L'accréditation ne couvre que les déclarations de conformité concernant un essai ou un ensemble d'essais eux-mêmes couverts par l'accréditation.
 En cas d'avis et d'interprétations, ceux-ci sont hors champ d'accréditation.

* : Analyses SADEF réalisées sous accréditation.

Résultats: volumes traités

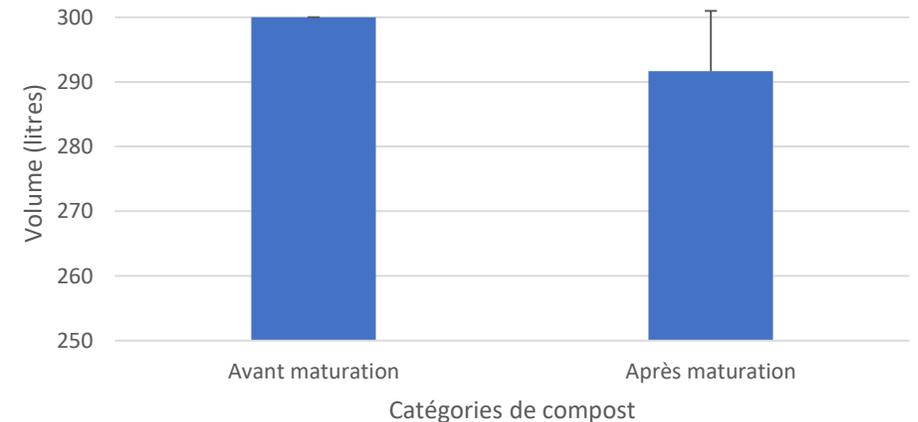
Volumes moyens de biodéchets valorisés/an



En moyenne 50 kg de biodéchets/utilisateur/an détournés du gisement OMR

Très peu de perte de volume du compost après maturation (-2.8% seulement en moyenne)

Volumes de compost avant et après maturation



A partir d'une utilisation à 73% de leur capacité annuelle maximale (730 kg de biodéchets valorisés par an et par Compostou), la location de ces appareils est économiquement plus compétitive que la collecte et le traitement de ces biodéchets en OMR

Positionnement économique du Compostou

- Coût de mise à disposition du Compostou + fourniture de broyat pour composter 1 tonne de biodéchets/an:
200 euros
- Coût aidé 1 tonne d'OMR (coût complet – (produits industriels + soutiens des éco-organismes + aides publiques))¹:
240 euros
- Coût de création et d'accompagnement d'un site de compostage collectif par le CPIE (environ 1 tonne biodéchets/an)²:
908,25 euros

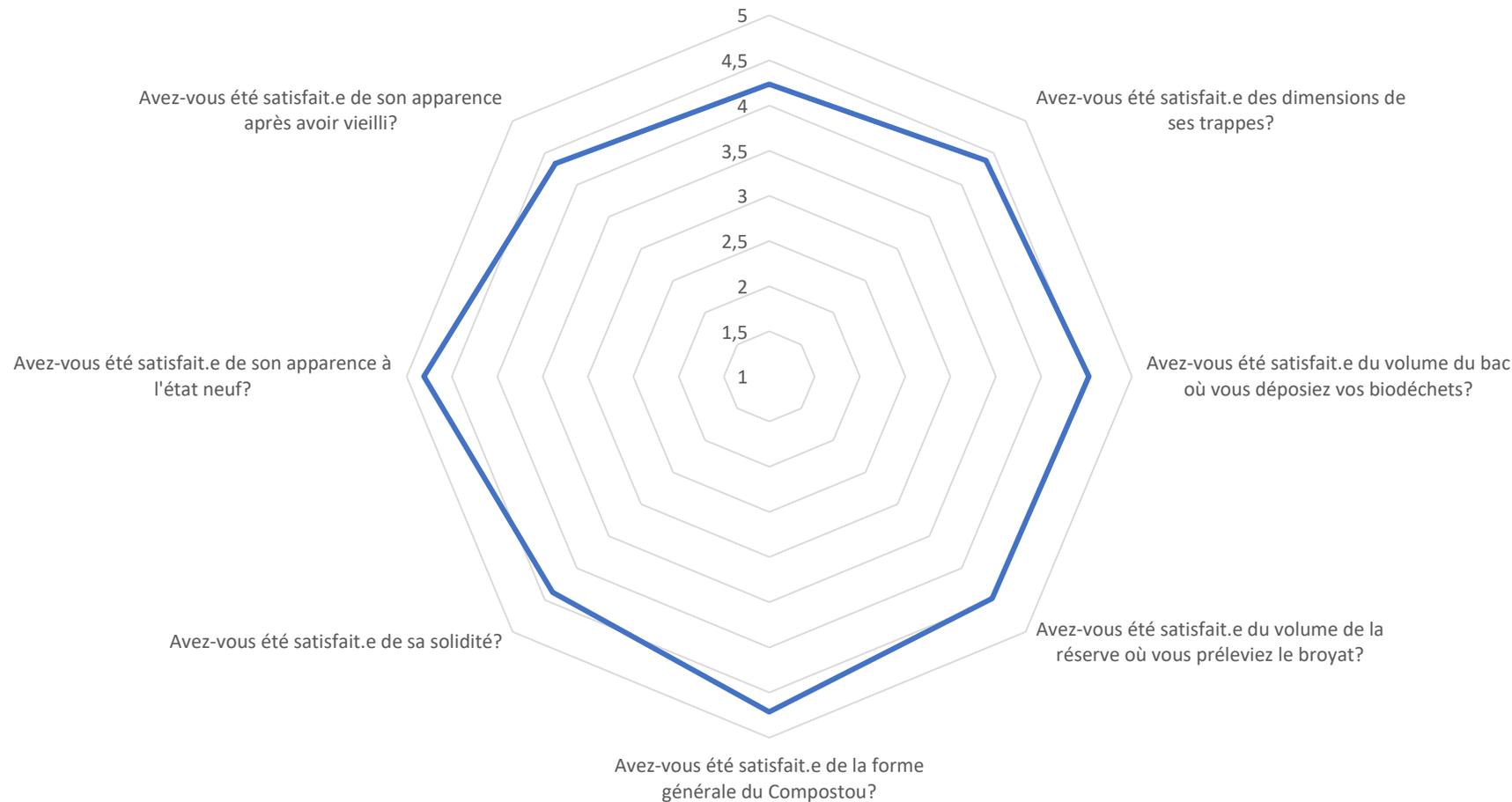
Sources:

1. Rapport Annuel 2018 SMICTOM du Chinonais
2. Compte-rendu du Comité Syndical du SMICTOM du Chinonais du 12/12/2016

Enquête de satisfaction

Ergonomie, design et esthétique

Avez-vous été satisfait.e de la hauteur de l'appareil?



Note moyenne de satisfaction générale: 4,5/5



21 répondants seulement

Pour 86% des répondants, le Compostou est identifié comme un élément facilitateur pour entamer une démarche Zéro Déchet



CONCLUSION

Compostou, une solution qui plaît!



Signature d'une convention avec le
Ministre de l'Education Nationale,
le 21/11/2019, portant sur
l'installation de 40 Compostous
dans les écoles d'Indre-et-Loire

Le compostage, un état dégradé du processus d'humification

Externalités négatives

Richesse spécifique

OL
OF
OH
A
E
B
C
R

Humification
(basse énergie)

Mull

Moder

Humus doux
C/N = 8-10

Humus
C/N = 15-25

Compostage de basse énergie

Bac

Après
maturation

Phase active

Humification
(basse énergie)

Mor

Compost mûr
10 < C/N > 30

Humus brut
15 < C/N < 20

Compostage de haute énergie

Bac

Après
maturation

Phase active

Après
maturation

Andain

Phase active

Compost mûr
10 < C/N > 15

Compost mûr
15 < C/N > 30

La phase de pré-industrialisation du Compostou a été un succès, mais notre fabricant a dû cesser ses activités de menuiserie faute de commandes publiques...

Projet **URBA-GPROX** (2020-2022)

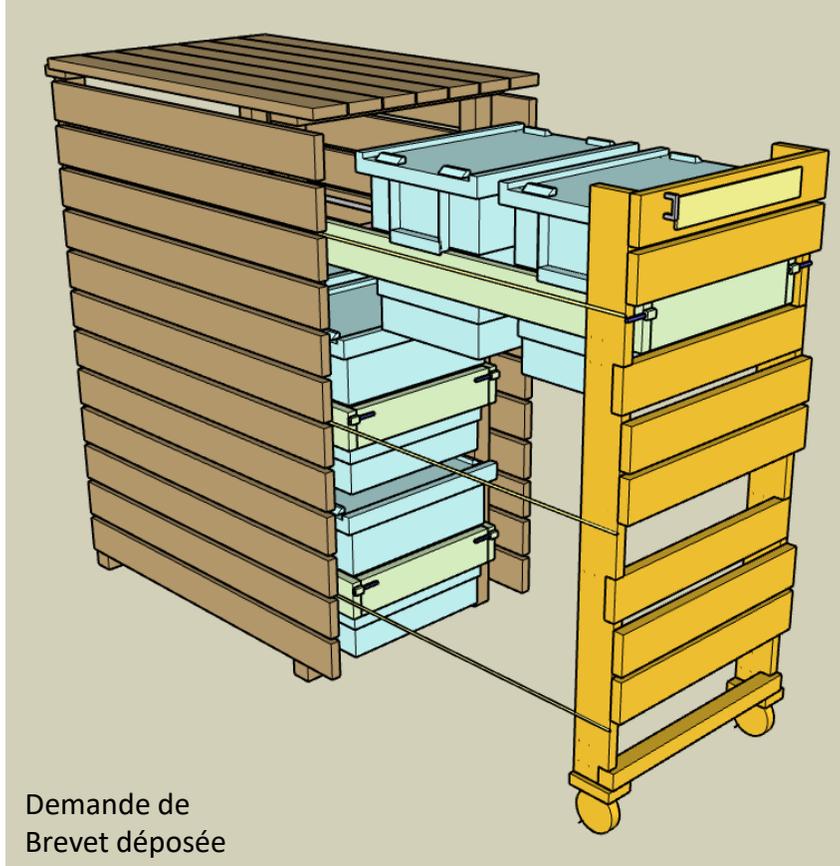
- Production de 300 Compostous 3.0 fabriqués industriellement ET artisanalement
- Inventer un PAV de Biodéchets innovant
- Structurer une filière locale de fourniture de broyat



Cœur de
Sapin
Douglas de
Sologne

3 générations de Compostou vous contemplent...

La **Tourpluche**: un nouvel objet-concept pour **collecter des biodéchets et jardiner** en milieu urbain



Collecte en bacs semi-hermétiques
avant transfert en vélo électrique
sur mini-plateforme de compostage



6 Tourpluches supportant des jardinières
et un bassin collecteur d'eaux pluviales



Merci pour votre
attention!