

.Analyse des vulnérabilités du procédé de compostage et des causes des accidents

Quelques rappels sur le procédé de compostage

Le compostage est un procédé de transformation par fermentation aérobie, c'est-à-dire en présence d'oxygène, de matières fermentescibles dans des conditions contrôlées. Au cours de ce processus, des micro-organismes décomposent la matière organique et produisent du CO₂, de l'ammoniac, de l'eau, de la chaleur, ainsi qu'une matière fertilisante stabilisée riche en composés humiques, le compost, susceptible d'être utilisé en tant qu'amendement organique. Note: La fermentation peut également se dérouler en conditions anaérobies, c'est-à-dire en l'absence d'oxygène. Cependant, ce processus (qui se déroule à relativement basse température et en faisant intervenir des micro-organismes différents de ceux impliqués dans le mécanisme aérobie) génère des composés à forte odeur(méthane, sulfure d'hydrogène...) et dont certains présentent une phytotoxicité. A l'inverse, le compostage en conditions aérobies permet de générer une matière sans risque de phytotoxicité, dont les agents pathogènes ont été détruits sous l'effet de la température élevée, et sans dégagement de mauvaises odeurs. La maîtrise du procédé de compostage consiste donc à mettre en place, et à maintenir au cours du temps, des conditions propices au déroulement du processus de manière aérobie. Dans la suite du document, on traitera uniquement du compostage aérobie. Le compostage peut être réalisé sur des matières organiques variées: déchets verts, boues, ordures ménagères brutes, bio déchets...et suit systématiquement les étapes suivantes, représentées sur le schéma ci –dessous



Source : ADEME

-la réception: contrôle de la qualité des déchets entrants.

-le broyage: le fait de déchiqueter les parties ligneuses des déchets permet d'offrir une surface plus importante aux micro-organismes responsables du compostage

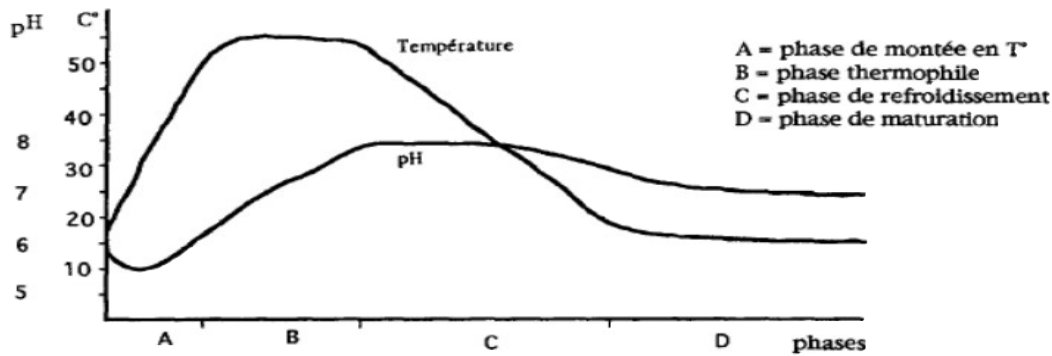
-la fermentation: cette phase, qui dure quelques semaines, permet la montée progressive en température (phase mésophile) et la dégradation de la cellulose par des bactéries. Après l'atteinte de la température de pointe (phase thermophile), la température redescend progressivement (phase de refroidissement) et les champignons colonisent la matière.

-la maturation: cette phase, qui dure quelques mois, permet aux champignons de stabiliser les matières organiques.

-le criblage: le tamisage en fin de maturation permet de récupérer les refus qui seront réintroduits dans le processus de compostage. Il permet également d'éliminer les éléments indésirables (métaux, plastiques) qui n'auraient pas été repérés lors du tri à réception.

-le stockage du compost mûr: réalisé de préférence sous hangar ou bâche. Le compost mûr est un matériau brun foncé à noir, homogène, et dont la texture est proche de celle d'un sol.

La courbe ci-dessous représente schématiquement l'évolution des paramètres de température et de pH au cours du processus de compostage.—Au niveau de la température, on distingue la phase de montée en température (phase mésophile), la phase de pic de température (phase thermophile), puis une phase de refroidissement avant l'étape de maturation. —Côté pH, après passage par une phase acide, du fait de l'activité microbienne, le pH redevient neutre et se stabilise à maturité avec un pH avoisinant les 7,5-8,5



Source : B. Joliet

Voici un résumé des principaux facteurs influençant le déroulement du compostage aérobic (leur maîtrise permet d'éviter un passage en mode anaérobic)

-l'aération: Le compostage aérobic nécessite d'importantes quantités d'oxygène, tout particulièrement lors du stade initial. Quand l'approvisionnement en oxygène n'est pas suffisant, la croissance des micro-organismes aérobics se trouve limitée, ce qui ralentit la décomposition. L'aération, par retournement ou déplacement (les matières ayant tendance à se compacter sous l'effet de leurs propre poids), permet non seulement cet apport d'oxygène, mais elle permet également d'évacuer l'excès de chaleur et d'éliminer la vapeur d'eau et les autres gaz piégés dans les tas. L'évacuation de la chaleur est particulièrement importante dans les climats chauds, compte tenu des risques plus élevés de surchauffe et d'incendie.

-l'humidité: L'humidité est nécessaire pour assurer l'activité métabolique des micro-organismes, mais doit être finement régulée. Si le tas est trop sec, le processus de compostage est très lent, tandis qu'au-dessus de 65%, des **conditions anaérobics** apparaissent.

-les éléments nutritifs: Les micro-organismes ont besoin de carbone, azote, phosphore et potassium comme éléments nutritifs principaux. Le rapport C/N est un facteur particulièrement important.

-la température: Le processus de compostage met en œuvre deux gammes de température: mésophile et thermophile. Alors que la température idéale pour la phase initiale de compostage est de 20 à 45°C, par la suite, une température située entre 50 et 70°C est idéale. Les températures élevées caractérisent les processus de compostage aérobic et sont les indicateurs d'une activité microbienne importante. Les pathogènes sont en général détruits à 55°C et plus, alors que le point critique d'élimination des graines d'adventices est de 62°C. Le retournement et l'aération peuvent être utilisés pour réguler la température.

-la taille du tas et la porosité du compost: Quand le tas est trop grand, des zones anaérobics peuvent se former, ce qui ralentit le processus dans ces zones. Par contre, les tas de trop petite taille perdent rapidement leur chaleur et n'atteignent pas une température suffisamment élevée pour permettre l'évaporation de l'eau et l'élimination des pathogènes et des graines d'adventices. Les propriétés physiques (porosité, granulométrie) des matières doivent également être prises en compte pour définir la taille optimale des tas (les matières plus poreuses permettent de créer des tas plus grands, alors que cela est à éviter avec les matières de poids important qui risquent de se compacter). Enfin, le climat est un facteur à prendre en compte: afin de minimiser les pertes de chaleur, les tas de grande dimension sont appropriés pour les climats froids tandis que dans les climats plus chauds, le risque de surchauffe est important.

Typologie des incendies rencontrés dans les activités de compostage

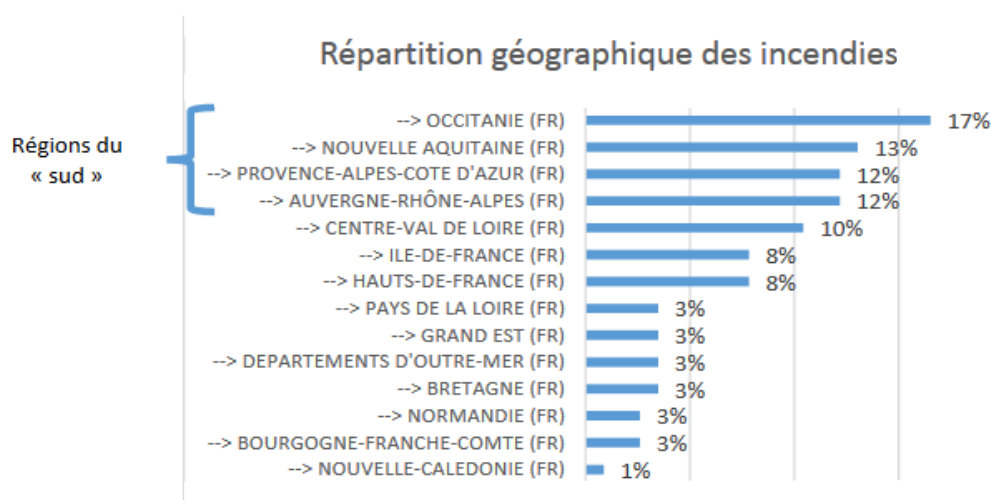
Deux types d'incendies peuvent survenir dans les activités de compostage.

D'une part des incendies en profondeur, faisant suite à une réaction d'auto-échauffement, et d'autre part des incendies de surface avec des causes de natures plus diverses (causes extérieures).

Les incendies en profondeur

Le compostage est une activité propice aux incendies en profondeur pour les raisons suivantes:

-**Les matières traitées** présentent un potentiel d'auto-échauffement. Comme évoqué au début, l'échauffement des matières est un phénomène qui fait partie intégrante du processus de compostage, et qui est souhaité. Réglementairement, les installations soumises à autorisation au titre de la rubrique 2780 (arrêté ministériel du 22 avril 2008) doivent garantir l'atteinte d'une température de 55°C au moins pendant une durée minimale totale de 72 heures. Cependant, ce phénomène d'auto-échauffement spontané peut dériver. Quand la production de chaleur est plus rapide que sa dissipation, la température peut augmenter jusqu'à atteindre potentiellement une température de combustion (entre 150 et 200°C), et ce sans aucun apport extérieur d'énergie. On peut alors assister à la formation **d'un feu couvant**, pouvant ensuite donner lieu à apparition de flammes. On parle d'auto-combustion. Le risque de dérive de l'auto-échauffement vers une auto-combustion dépend de la composition chimique des substrats (éventuelles impuretés jouant le rôle de catalyseur), de l'humidité, de la dimension du stockage, de la température du tas et de la température ambiante, de l'efficacité de la diffusion de l'air dans le tas (liée à la granulométrie des déchets), de la teneur en oxygène dans le tas, de la durée de stockage... Ainsi, si ce risque existe tout au long du procédé de compostage, il est particulièrement élevé lors de certaines phases. Le risque reste relativement faible lors de la maturation car l'humidité des matières est assez importante, mais il est beaucoup plus grand lors du stockage de compost mûr, ce dernier étant beaucoup plus sec. En d'autres termes, la vulnérabilité à l'auto-combustion augmente au cours du procédé de compostage, en même temps que l'humidité baisse : la gamme d'humidité [20-45%] est favorable à l'auto-échauffement, sachant que l'optimum d'humidité pour le déroulement du procédé de compostage se situe dans la fourchette [40-55%]. La vulnérabilité à une dérive de l'auto-échauffement est logiquement renforcée pendant les périodes de canicule/sécheresse qui rendent le compost particulièrement sec. Les régions du sud de la France sont ainsi particulièrement représentées dans l'échantillon d'accidents. On comprend aussi pourquoi la hauteur des tas doit être adaptée en fonction du climat de la zone géographique où se situe l'activité de compostage.



On notera qu'un niveau d'humidité non homogène au sein des déchets est un facteur de risque. Ainsi, un apport d'eau mal réparti (pluie...) sur un andain (tas) sec favorise l'échauffement

-**De grands volumes de déchets**, stockés sous forme de tas de taille importante, entrent en jeu (andains de 500 à 1500 t couramment dans les lieux de compostage règlementés)

-**L'activité du site est souvent discontinuë** (pas de présence de personnel en permanence). Dans les faits, de très nombreux accidents surviennent pendant les heures non ouvrables et la détection de l'incendie est faite par un riverain ou un tiers.

-**Le stockage** a lieu sur de longues durées: plusieurs semaines à plusieurs mois

-**Les feux couvants**, sans flammes, sont difficiles à détecter

-**Les feux de compost sont difficiles à éteindre** car l'eau pénètre difficilement dans le massif de compost.

Au-delà des risques de dérive de l'auto-échauffement inhérents à l'activité de compostage (nature des déchets manipulés, volumes importants traités, durée incompressible du processus), des modalités d'exploitation inadaptées, correspondant bien souvent à un non-respect de prescriptions réglementaires, renforcent significativement la probabilité d'occurrence de ce phénomène (mais également souvent la gravité des conséquences des accidents, les moyens de secours se révélant insuffisants).

Ainsi, les accidents révèlent dans un grand nombre de cas des pratiques inadéquates qui constituent autant de facteurs aggravants :

-Dépassement des volumes/hauteurs de stockage autorisés, parfois en raison de contraintes techniques (accumulation de compost à trier en période de criblage), parfois dans le cadre d'un exercice irrégulier de l'activité. Or, plus les andains sont gros, plus l'inertie est importante et l'évacuation de la chaleur difficile. Comme déjà évoqué, cela favorise également **l'apparition de zones anaérobies**.

-Prise en compte inadaptée ou méconnaissance du potentiel de danger des matières : méconnaissance du pouvoir auto-échauffant d'un nouveau type de déchet, apport de nouveaux broyats sur des matières déjà en cours de compostage depuis un certain temps et formation d'un «effet strate», mélange insuffisant d'un déchet contenant de la paille très sèche, distribution hétérogène des déchets verts dans l'andain..

-Absence/insuffisance de contrôle de la température, d'arrosage.

-Insuffisance de retournement/aération des andains et **formation de zones anaérobies**.

Les incendies de surface

Les feux de surface peuvent concerner les phases statiques (fermentation, maturation, stockage de compost mûr), suite à la mise en contact accidentelle des déchets stockés avec une source d'inflammation (étincelle, foudre, cigarette...). Le risque existe également pendant les phases mécaniques (broyage, criblage, convoyage...), en lien avec la présence de poussières combustibles qui peuvent s'échauffer, par exemple en cas de défaillance électrique des équipements.

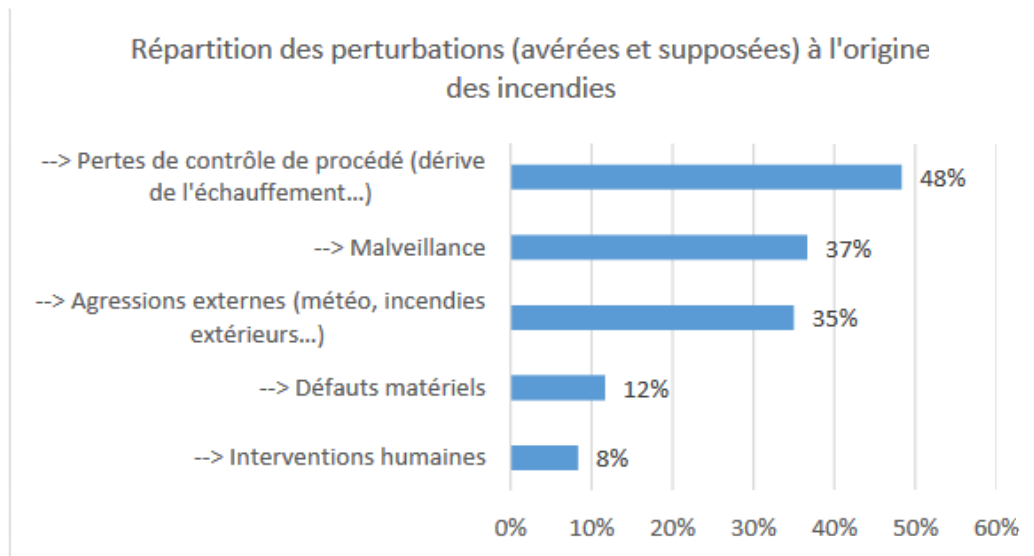
Le tableau ci-dessous résume le risque principal (incendie en profondeur suite à une dérive de l'auto-échauffement ou incendie de surface) en fonction du stade du procédé de compostage.

Etape du procédé	Réception	Broyage	Fermentation	Maturation	Criblage	Stockage
Nature du risque						
Dérive de l'auto-échauffement, donnant lieu à un incendie en profondeur	+	-	++	++	-	+++
Inflammation de matières végétales stockées, donnant lieu à un feu de surface (cigarette, étincelle, malveillance...)	++	-	++	++	-	++
Inflammation de poussières de végétaux, donnant lieu à un feu de surface (problème électrique...)	-	+++	-	-	+++	-

Hierarchie des causes impliquées dans les incendies

L'histogramme ci-dessous présente la répartition des causes premières à l'origine des incendies. Les pourcentages sont exprimés par rapport au total des accidents pour lesquels l'information est connue: sur 115 accidents, il y en a 60 (soit 52% des cas) pour lesquels on dispose d'une certaine connaissance (avérée ou supposée) sur les causes de l'événement.

La somme des différentes entrées de l'histogramme est supérieure à 100% car plusieurs causes peuvent être impliquées simultanément dans la survenue d'un accident (par exemple une perte de contrôle de procédé: l'auto-échauffement non maîtrisé, suite à une intervention humaine inappropriée: le défaut de contrôle de température ou d'arrosage).



-Les «pertes de contrôle de procédé», impliquées dans près de la moitié des cas, correspondent aux phénomènes de dérive de l'auto-échauffement. Il s'agit de la cause première d'incendie la plus fréquente. Les incendies en profondeur sont donc plus courants que les feux de surface dans les activités de compostage.

-Les «défauts matériels» correspondent aux pannes, problèmes électriques...survenant sur les équipements de broyage, criblage, convoyage, chargement... et donnant lieu à un échauffement des poussières de végétaux. Ils interviennent dans plus de 10% des cas.

-Les «agressions externes», impliquées dans plus d'un tiers des cas, correspondent majoritairement (95% des cas)aux agressions d'origine naturelle (forte chaleur, vent violent, foudre, propagation d'un feu de végétation...). Les autres cas correspondent à des agressions externes d'origine anthropique (par exemple effet domino en provenance d'une installation industrielle voisine

-La «malveillance» correspond aux départs d'incendie d'origine criminelle. Avérée ou supposée, elle intervient dans près de 40% des accidents, ce qui est particulièrement marquant. 45940, 49628, 44943,
 -Les «interventions humaines» correspondent aux erreurs humaines, telles que des travaux par point

chaud mal maîtrisés (soudure, meulage), un départ de feu lié à la cigarette, le non-respect de procédure d'arrosage...Elles interviennent dans un peu moins de 10% des cas.

Bibliographie

- ADEME -Fiche technique « Le compostage » -novembre 2015
- <http://www.compostage.info/>
- <http://www.fao.org/docrep/008/y5104f/y5104f05.htm#bm05.4>
- Le compostage: principe et modalités (B. Joliet, 1994)

Une partie des informations de ce document sont issues des présentations réalisées lors d'une journée technique consacrée au «risque incendie sur les plateformes de compostage», organisée par le RISPO (Réseau interprofessionnel des sous-produits organiques <https://rispo.org/>)le 8 février 2018