

I. ELEMENTS DE DIMENSIONNEMENT ET CONSEILS PRATIQUES

Ce chapitre aborde, dans le détail, la mise en œuvre d'un projet de gestion des déchets verts.

I.1 Gérer les apports de déchets verts

Afin de dimensionner au mieux un projet de compostage, une collectivité ou une entreprise doit connaître les quantités de déchets verts qu'elle aura à traiter sur son territoire dans les 10 premières années.

Pour cela, il lui est utile, dans un premier temps, d'apprécier séparément :

- la production **totale** sur le territoire concerné ;
- les quantités susceptibles d'être traitées à un **moment donné** sur la (ou les) plate(s)-forme(s). On parle de quantités "mobilisables", lesquelles sont soumises à de nombreux facteurs de variation.

Les ratios **moyens** de flux mobilisables peuvent fournir des ordres de grandeur utiles pour se donner une idée approximative du niveau de dimensionnement du projet donc de la surface de plate-forme à prévoir.

À titre d'exemple, on estime que le flux de déchets verts mobilisable en moyenne en France par apport volontaire en déchetteries (particuliers) et sur plate-forme (collectivités et entreprises) est de l'ordre de 60 kg/hab./an soit 0,3 m³/hab./an.

Mais ces ratios sont à **utiliser avec précaution** car ils correspondent à des moyennes nationales et la **production de déchets verts connaît de fortes variations d'une région à l'autre**. Il faut donc bien se garder de dimensionner un projet sur cette seule base !

Dans un second temps, il convient pour préciser le dimensionnement d'examiner les modes de collecte des déchets verts actuels et futurs et leur acheminement vers la plate-forme de compostage en vrac, ou après broyage ou compostage.

Ce n'est qu'après un tel examen, accompagné d'enquêtes auprès des principaux acteurs (services techniques municipaux, entreprises) que l'évaluation du flux de déchets verts à traiter à court et moyen terme pourra être menée à bien précisément.

I.1.1 Évaluer les flux de déchets verts

Pour connaître la production de déchets verts, il suffit théoriquement de multiplier la superficie des espaces verts (en hectares) par leur productivité biologique (m³/ha).

I.1.1.1 Superficies des jardins et espaces verts (privatifs ou collectifs)

A. Les jardins et potagers des particuliers

Le nombre et la superficie moyenne des jardins privés peuvent être approchés à partir des documents d'urbanisme. Comme la plupart des familles disposant d'un potager réalisent elles-mêmes leur compost, les déchets verts proviennent plutôt des jardins d'agrément (gazons, haies arbustives...).

B. Les espaces verts collectifs

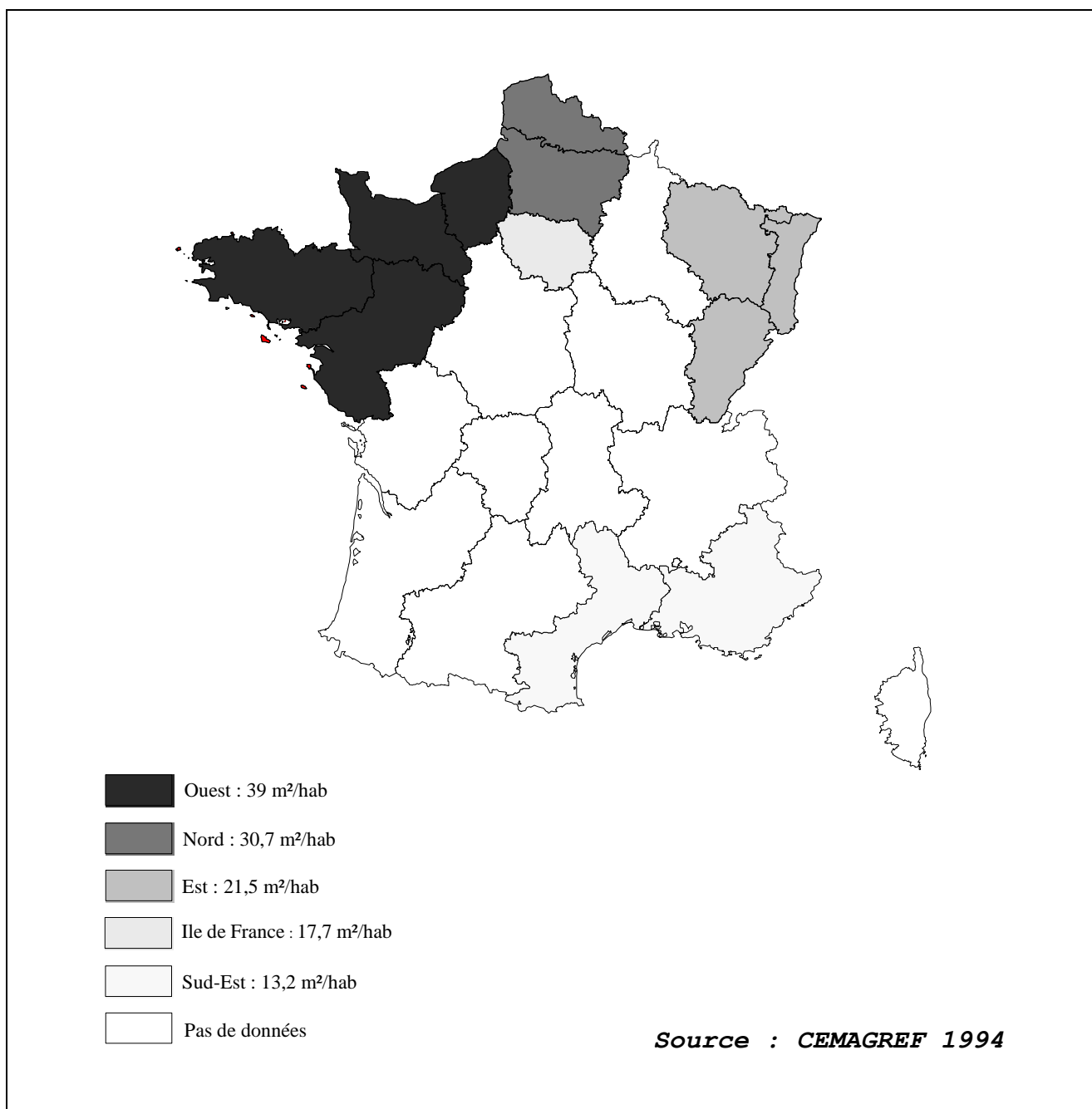
On distingue dans cette catégorie les espaces verts :

- **publics**, dont l'entretien incombe aux services municipaux ;
- **privés** (hôpitaux, maisons de retraite, lycées, collèges, entreprises, administrations...), parfois entretenus par les services techniques des villes.

Tableau 1 : Provenance et typologie des déchets verts

		Feuilles mortes	Tontes de gazon	Tailles	Élagage/ abattage	Fleurs, feuilles	Déchets verts souillés
Jardins privés et familiaux	<i>Potagers</i>						
	<i>Jardin d'agrément</i>						
	<i>Terrasses</i>						
	<i>Pelouses</i>						
	<i>Vergers</i>						
Espaces verts collectifs, privés et publics	<i>Massifs floraux</i>						
	<i>Squares (< 2 ha)</i>						
	<i>Tunnels et serres</i>						
	<i>Pépinières</i>						
	<i>Arbres d'alignement</i>						
	<i>Haies</i>						
	<i>Terrains de sport</i>						
	<i>Pelouses</i>						
	<i>Accotements routiers</i>						
	<i>Plans d'eau</i>						
	<i>Cimetières</i>						
	<i>Allées et cours</i>						
	<i>Prairies</i>						
<i>Parcelles boisées</i>							

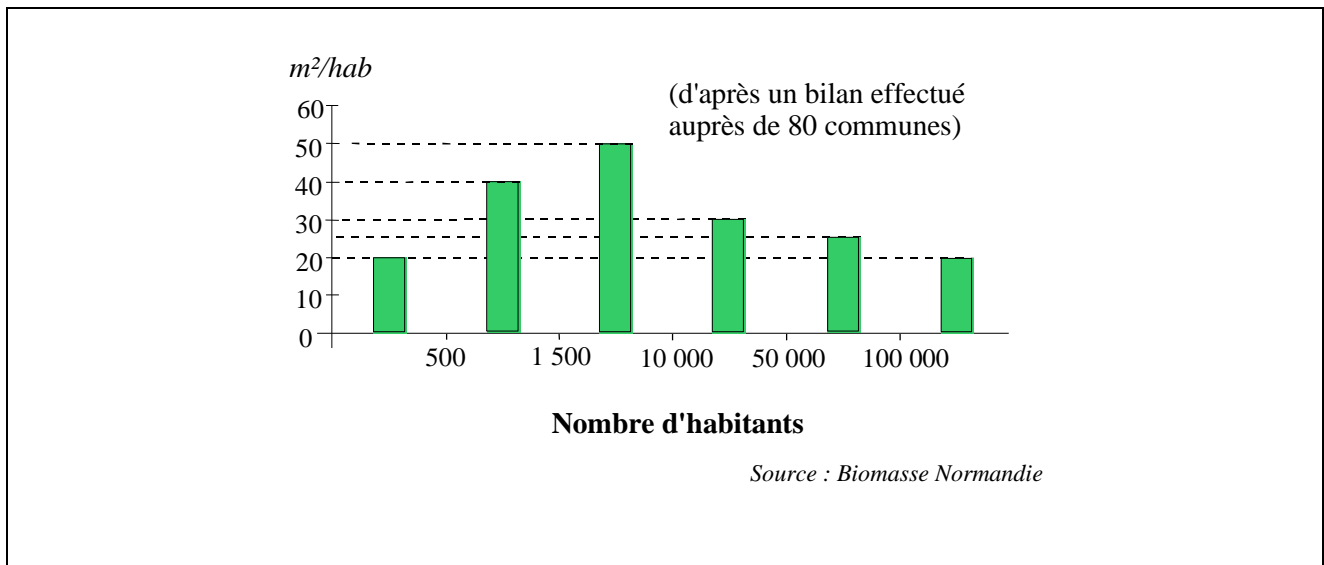
Carte 1 : Superficie des espaces verts publics de cinq grandes parties du territoire français



Cinq grandes régions ont été étudiées par le CEMAGREF (Carte 1). Les espaces verts publics y représentent 13 à 39 m² par habitant. Dans les villes de plus de 20 000 habitants le ratio est d'environ **25 m²/hab**.

Une enquête réalisée par Biomasse Normandie en 1995 sur 80 communes du Calvados donnait une fourchette de 20 à 50 m²/hab, avec davantage d'espaces verts dans les bourgs et petites villes de 1 500 à 10 000 habitants.

Graphique 1 : Surface d'espaces verts publics selon la taille des communes du Calvados



I.1.1.2 Production de déchets verts et facteurs de variation

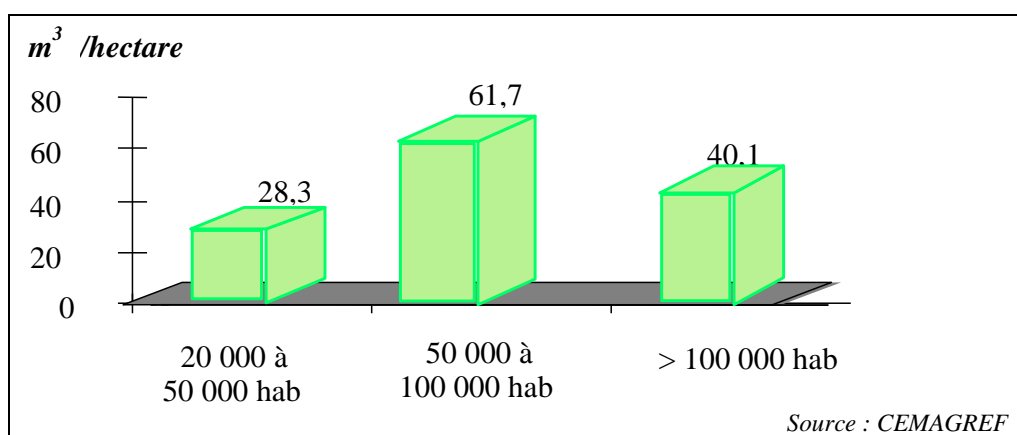
La production de déchets verts est en général exprimée en m³/hab ou m³/ha. **Pour les espaces verts publics**, le CEMAGREF avance le **chiffre moyen de 43 m³/ha/an**, qui doit cependant être utilisé avec beaucoup de réserves, car les facteurs de variations sont nombreux :

- taille des villes,
- région,
- caractéristiques des espaces verts et nature des végétaux,
- fréquence et mode d'entretien.

A. Variations selon la taille de la ville

Les productions les plus importantes se trouvent dans les villes moyennes, qui entretiennent intensivement les espaces verts grâce à un personnel technique souvent nombreux. Les villes et grosses agglomérations disposent en général de matériels importants. Elles collectent rarement les tontes de gazon, ce qui réduit notablement les flux collectés.

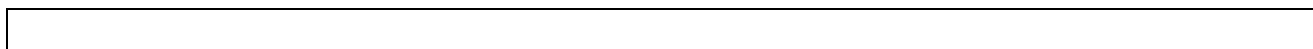
Graphique 2 : Production de déchets verts municipaux selon la taille des villes

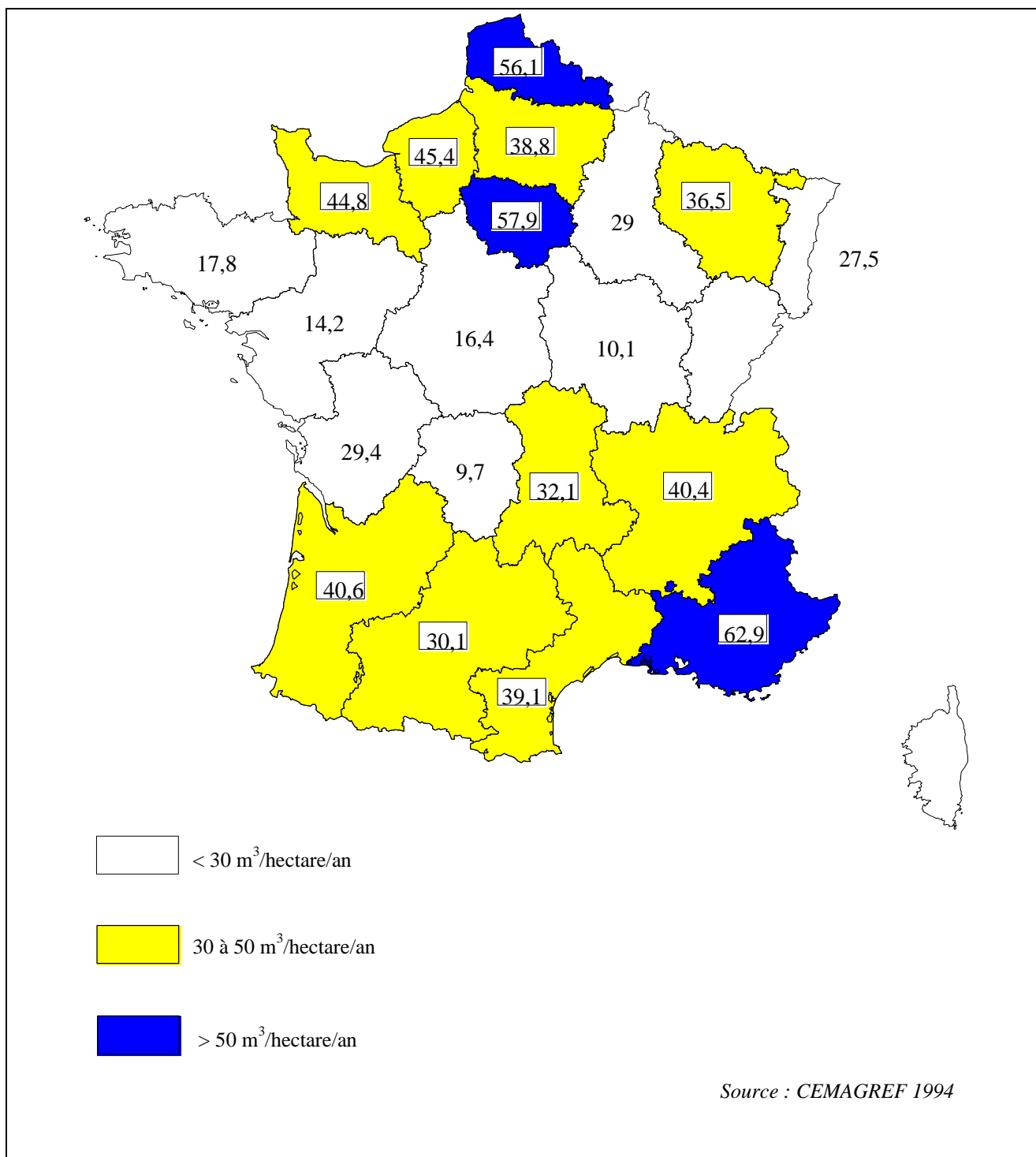


B. Variations par région

D'après le CEMAGREF, la productivité biologique des espaces verts varie de façon très sensible selon le climat et le type de végétation. En ce qui concerne ceux entretenus par les services municipaux, elle évoluerait de 10 à plus de 60 m³/ha dans l'Hexagone. Cet écart s'explique par la différence de nature des espaces et de mode d'entretien.

Carte 2 : Variations de production de déchets d'espaces verts publics par région





C. Variations selon les caractéristiques des espaces verts, la nature des végétaux et le mode d'entretien.

La production par hectare évolue dans un rapport de 1 à 10 selon le type d'espace concerné.

Tableau 2 : Production de déchets des espaces verts publics selon la nature des espaces
(données en m³/ha)

Squares	93,6	Autres espaces verts	46,4
Parcs de ville	84,9	Cimetières	32,6

Etablissements scolaires	59,8	Ensemble sportifs	18,0
Espaces de voirie	51,8	Parcs péri-urbains	9,0

Source : CEMAGREF

Le recours à des produits chimiques (engrais, inhibiteurs de croissance...), la fréquence des tontes et le soin porté aux parterres floraux et à la taille des arbres sont autant de facteurs qui influencent la production de déchets verts. On constate ainsi qu'à la périphérie des villes, la production de déchets verts des parcs est plus faible car l'entretien est souvent extensif et les résidus abandonnés sur place.

Le lecteur trouvera ci-dessous quelques repères qui complètent et affinent les données précédentes :

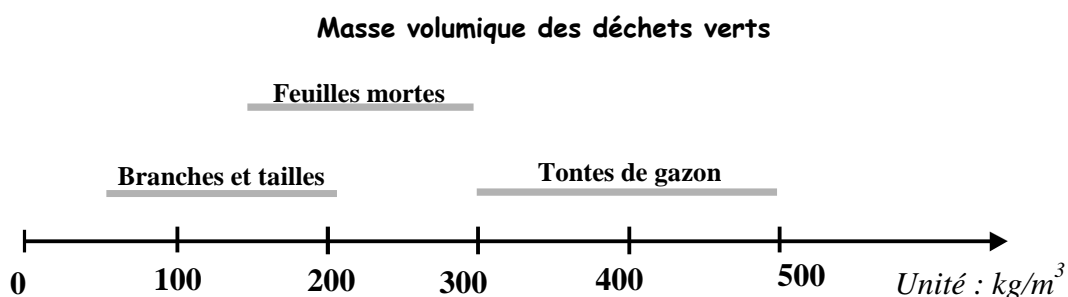
Tontes de gazon :	20 à 25 m ³ /ha (si ramassage)
Feuilles mortes :	160 m ³ /1 000 arbres
Élagage :	230 m ³ /1 000 arbres
Tailles de haies :	50 m ³ /1 000 mètres

En résumé, si les superficies d'espaces verts publics sont bien connues des services municipaux, les surfaces privées sont en général mal identifiées. Plusieurs facteurs de variations (aléas climatiques, emplois d'engrais et d'inhibiteurs de croissance, types d'espaces végétalisés...) peuvent en outre invalider toute évaluation purement théorique non accompagnée d'une enquête locale.

Raisonner en tonnes ou en m³ ?

L'évaluation des flux est le plus souvent en m³ de déchets verts, unité intéressante puisqu'elle exprime l'encombrement volumique, facteur essentiel dans le transport et le traitement ultérieur.

Par analogie avec les autres secteurs du déchet (enfouissement, incinération...) et parce que le pont-bascule offre une facilité de comptage incontestable, collectivités et professionnels privilégient l'expression des flux "à la tonne".



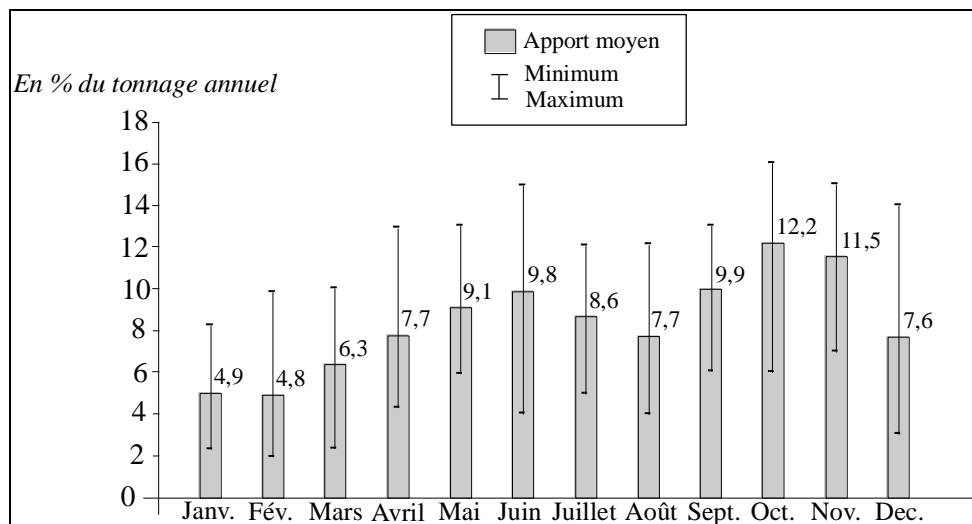
I.1.1.3 Fluctuations saisonnières et nature des déchets verts

Les travaux d'entretien des espaces verts, et notamment des tailles de haies, interviennent tout au long de l'année : la production de déchets verts s'étale donc de janvier à décembre sans interruption.

A titre d'illustration, pour une collectivité de 60 000 à 70 000 habitants, la production atteint 80 tonnes par semaine (soit environ 4 000 tonnes/an). Mais cette moyenne masque de fortes disparités saisonnières :

- **pointes de production au printemps** (tontes de gazon) et à **l'automne** (tontes, feuilles mortes des voiries communes) ;
- **périodes de repos végétatif** (hiver) ou de **sécheresse** (été), au cours desquelles la production est moindre.

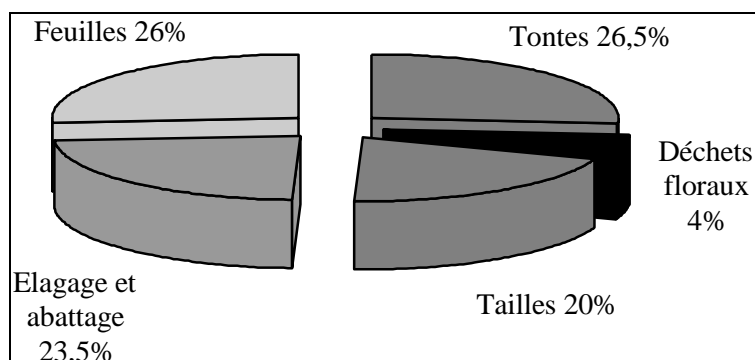
Graphique 3 : Fluctuations saisonnières



Source : Enquête nationale 1997

La répartition en poids entre les différentes catégories de déchets est connue uniquement pour ceux issus des espaces verts publics.

Graphique 4 : Répartition en tonnage des catégories de déchets verts (espaces publics)



Source : CEMAGREF

Quelle que soit l'origine des flux (particuliers ou professionnels), on admet en général que la fraction ligneuse représente entre 40 et 50 % de la masse, et 70 à 80 % du volume avant broyage.

La composition et les fluctuations saisonnières des déchets verts influencent largement l'ensemble de la filière compostage, depuis la collecte jusqu'à la plate-forme, où l'arrivée massive des tontes de gazons au printemps peut perturber notablement le processus biologique. L'exploitant de l'unité doit prévoir ces

variations afin de maîtriser les risques de nuisances et fabriquer un compost homogène et de qualité régulière, .

I.1.2 Collecter les déchets verts

Pour inciter les usagers à ne pas mélanger les déchets verts avec les ordures ménagères, les collectivités disposent de trois solutions :

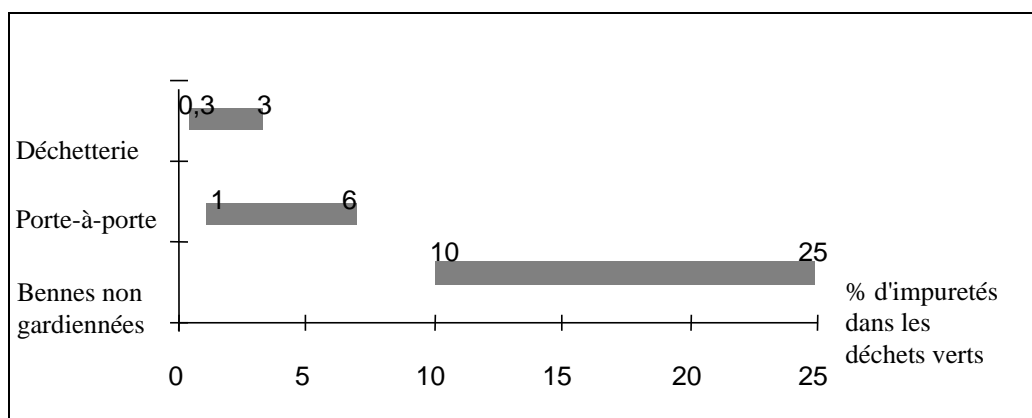
- **l'apport volontaire en déchetterie,**
- **la collecte spécifique au porte-à-porte,**
- **le dépôt dans des bennes non gardiennées.**

Les déchets verts produits par les collectivités et les entreprises du paysage sont recueillis sur les déchetteries ou directement déposés sur les unités de compostage. Toutefois, une part importante n'est pas mobilisable, bon nombre de particuliers et de professionnels éliminant ou compostant ces résidus par leurs propres moyens en vue d'une utilisation personnelle (potagers, jardins d'agrément ou tout autre aménagement public ou privé).

I.1.2.1 Modes de collecte et impuretés

La présence d'impuretés dans les déchets verts altère la qualité du compost. On constate à cet égard que le taux d'indésirables est directement lié au contrôle des apports : les déchets verts réceptionnés en déchetterie sont ainsi moins souillés que ceux collectés au porte-à-porte, eux mêmes moins que ceux collectés en bennes non gardiennées.

Graphique 5 : Qualité des apports selon les modes de collecte



Source : Enquête nationale 1997

D'après l'enquête nationale sur la gestion des déchets verts (1997), les bennes non gardiennées déposées sur la voie publique contiennent jusqu'à 25 % d'impuretés, ce qui handicape le traitement par compostage. Ce mode de collecte des déchets verts est donc fortement déconseillé et ne sera pas présenté ci-après.

I.1.2.2 Performances des modes de collecte

A. Les particuliers

☞ L'apport volontaire en déchetterie

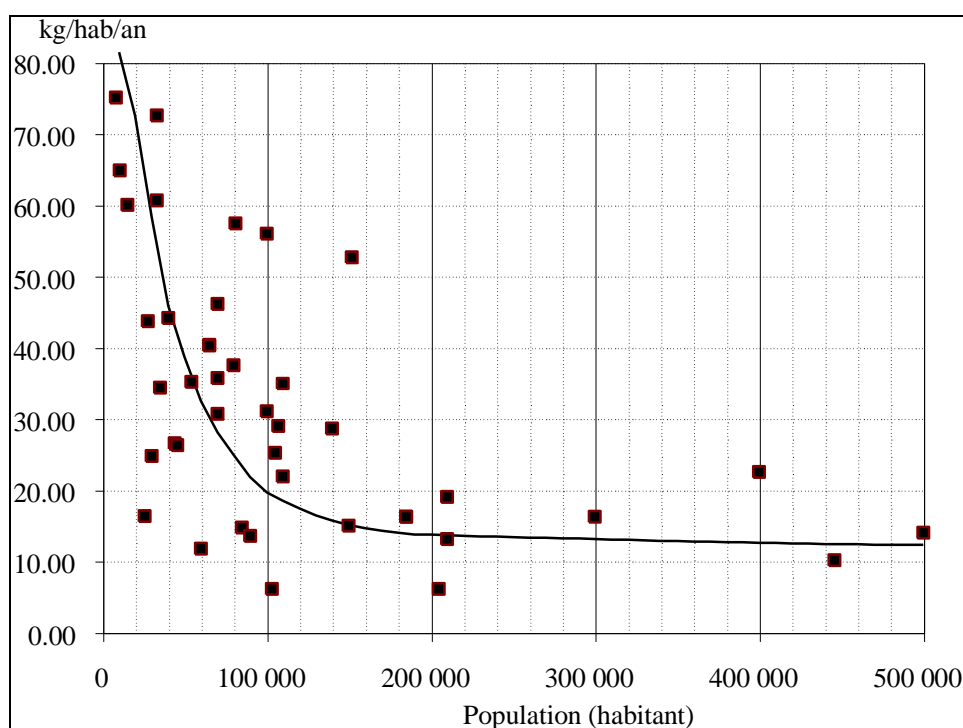
Les végétaux sont déposés dans des bennes, des "casiers" ou des aires de stockage contiguës à la déchetterie. Ce mode de collecte est efficace quand la déchetterie se situe à moins de 10 minutes en voiture de la résidence des usagers. Sur la déchetterie, le gardien peut contrôler la qualité des apports et inviter les usagers à trier les indésirables (cailloux ...).

Il est conseillé de séparer :

- **Les branchages et tailles**, qui peuvent être stockées un mois sur place avant enlèvement et plusieurs mois avant compostage. Le broyage permet une réduction volumique qui réduit notablement les coûts de transport de ces produits très foisonnants.
- **Les tontes de gazon et feuilles**, qui doivent être évacuées au moins chaque semaine pour éviter les mauvaises odeurs sur la déchetterie (et ensuite sur la plate-forme de compostage).

Les apports sont très variables suivant la taille du bassin de vie : 15 à 75 kg/hab/an, avec une moyenne qui s'établit à 30 kg/hab/an.

Graphique 6 : Apports en déchetterie selon la taille du bassin de vie



☞ La collecte au porte-à-porte

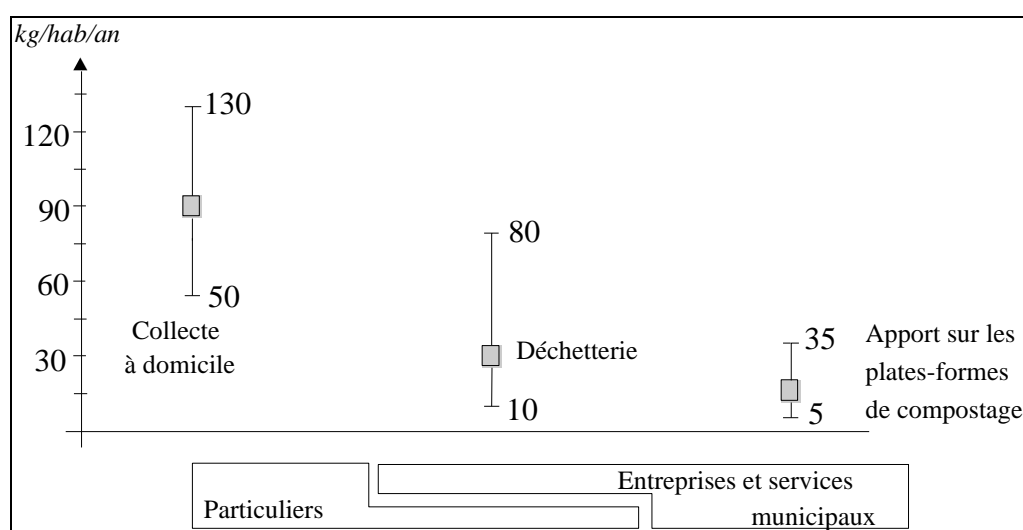
Cette collecte à domicile a lieu en général du printemps à l'automne. Elle répond en priorité aux besoins des quartiers pavillonnaires et résidentiels des grandes villes ou de leur périphérie. Complémentaire à celle des ordures ménagères, elle s'effectue le plus souvent en benne tasseuse, ce qui pose problème

tant pour les branches et les tailles (très volumineuses) que pour les tontes de gazons (qui se trouvent compactés et "prennent en masse").

Des collectivités ne proposent parfois aucun contenant ; les usagers regroupent alors les végétaux en fagots (avec des liens métalliques), dans des sacs plastiques ou des cartons, ce qui demande un travail de tri important sur la plate-forme de compostage. Certaines d'entre elles, en revanche, distribuent aux habitants des sacs biodégradables (papier ou plastique) ou des sacs tissés (déposés dans chaque jardin après vidage).

D'après les résultats de l'enquête nationale, complétée par plusieurs bilans effectués auprès de communes urbaines, **les performances sont élevées à la ceinture des grandes agglomérations : 50 à 130 kg/hab., avec une moyenne de 90 kg/hab/an.**

Graphique 7 : Part mobilisable des déchets verts



B. Les services municipaux et les entreprises

En général, les professionnels et les services municipaux apportent directement les déchets verts sur la plate-forme de compostage. Dans les petites villes, il arrive néanmoins que l'accès aux déchetteries soit ouvert aux professionnels.

Lorsque les espaces verts publics sont entretenus par les services municipaux, la production moyenne de déchets verts est **de l'ordre de 30 kg/hab/an** avec de fortes variations d'une ville à l'autre. En revanche, lorsqu'ils sont entretenus par les entreprises, des enquêtes de Biomasse Normandie et Trivalor concernant 501 entreprises dans 13 départements indiquent que les quantités produites varient de **5 à 40 kg/hab/an** selon les régions et dépassent exceptionnellement 80 kg/hab/an.

I.1.2.3 Estimation des flux mobilisables

Réaliser une estimation des flux de déchets verts mobilisables est un exercice périlleux en raison de l'importance des facteurs de variation d'une localité de l'Hexagone à l'autre.

L'interprétation des résultats demande donc la plus grande prudence.

Tableau 3 : Les déchets verts mobilisables

Provenance		Flux mobilisable (en milliers de tonnes/an)
Particuliers ⁽¹⁾	Déchetteries	1 000
	Collecte au porte-à-porte	3 000
Services municipaux	Espaces verts collectifs publics et privatifs ⁽²⁾	1 400
Entreprises		700 à 1 400
Total des déchets verts en France		6 100 à 6 800

Hypothèses :

(1) Concernent 33 millions de personnes habitant un logement individuel.

(2) Espaces verts structurés pour les communes de plus de 2 000 habitants, soit 45 à 50 millions d'habitants du territoire national.

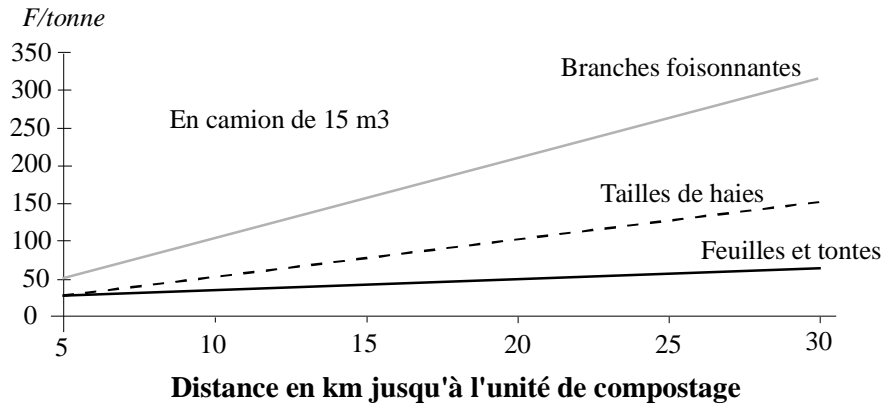
Suivant les moyens mis à la disposition des usagers, le flux mobilisable peut varier du simple au double.

Au niveau national, les flux de déchets verts mobilisables pourraient atteindre près de 7 millions de tonnes par an, en mettant en œuvre partout l'ensemble des moyens de collecte. Cela représente en moyenne plus de 100 kg/habitant/an, dont une partie non négligeable est actuellement éliminée, par certaines collectivités, avec le sac poubelle en décharge ou dans le four d'incinération.

I.1.3 Transporter les déchets verts au meilleur prix

Pour les collectivités (rurales notamment), la distance séparant le lieu d'émission des déchets verts et l'unité de compostage est parfois importante. Compte tenu du très fort foisonnement des branches et dans une moindre mesure des tailles, une réduction volumique à la source peut donc être envisagée pour une optimisation du projet de compostage.

Graphique 8 : Évolution des coûts de transport des déchets verts



Le coût de transport croît fortement pour les végétaux foisonnants. Lorsque le lieu de traitement est éloigné, le broyage préalable des branches et tailles s'impose.

I.1.3.1 Quand faut-il réduire le volume des déchets verts ?

Une commune qui n'envisage pas un traitement local pour ses déchets, doit prévoir leur transport vers une unité de compostage. Ils peuvent être acheminés en vrac ou après réduction volumique.

Pour évaluer l'intérêt économique de cette réduction avant transport, deux paramètres sont essentiels :

- la distance à parcourir ;
- la quantité de déchets à traiter.

En 1993, Biomasse Normandie a défini un seuil de 200 à 300 tonnes/an (3 000 à 5 000 habitants), dans le cadre d'une étude concernant l'ouest du département de l'Orne :

- **en deçà, il est moins coûteux de transporter les résidus végétaux en vrac** vers la plate-forme de compostage ;
- **au delà, il est plus économique d'engager des investissements pour diminuer les volumes, même si la distance de transport est courte (2 à 3 km).**

Calculé à partir d'un cas concret, ce seuil demande à être relativisé au regard des opportunités locales, en matière de transport par exemple, et ne saurait prévaloir sur une approche technico-économique fine. On le retiendra toutefois comme ordre de grandeur.

I.1.3.2 Comment procéder à la réduction volumique ?

Deux technologies sont envisageables : le compactage et le broyage. Présentant à peu près les mêmes performances, elles permettent globalement de doubler la densité des végétaux à transporter (passage de 0,18 / 0,20 t/m³ à 0,35 / 0,40 t/m³).

Technique assez peu développée en France (deux références dans le Jura et dans les Alpes-Maritime), **le compactage** apparaît intéressant dans les grandes villes lorsque l'on dispose de peu d'espace. L'inconvénient majeur réside dans la nécessité d'un broyage ultérieur sur la plate-forme de

compostage, ce qui implique une double opération mécanique. On manque encore de références techniques et économiques pour porter une appréciation sur ce mode de conditionnement des végétaux.

Le **broyage** est plus répandu (SIVOM de la banlieue ouest de Toulouse, SIVOM du Pays Yonnais...). A réduction volumique et coût sensiblement identiques, cette solution apparaît préférable si la place disponible est suffisante pour stocker les végétaux en vrac dans l'attente du broyage.

Tableau 4 : Comparaison des techniques de conditionnement des déchets verts

Technologies	Coût moyen	Atouts	Faiblesses
Compactage	100 F HT/t	<ul style="list-style-type: none"> - Emprise foncière faible car le compacteur est facile à intégrer sur une déchetterie. - Pas de bruit. 	<ul style="list-style-type: none"> - Broyage ultérieur obligatoire des végétaux sur la plate-forme de compostage. - Ecoulements à gérer, notamment aux périodes de forte production de tontes de gazon. - Risques d'odeurs et de fermentation anaérobie : tassement des végétaux.
Broyage	80 à 150 F HT/t	<ul style="list-style-type: none"> - Possibilité d'une gestion séparée des tontes / feuilles et des branches / tailles sur les déchetteries. - Broyage d'une partie seulement des déchets verts (branches / tailles). - Pas de broyage sur l'unité de compostage. 	<ul style="list-style-type: none"> - Superficie à prévoir pour stocker les végétaux en vrac. - Logistique assez poussée pour gérer le broyage et l'évacuation du broyat.

I.1.3.3 L'aire de stockage / broyage

A. Le principe

Le broyage n'est pas nécessaire pour la totalité des déchets verts, constitués de deux catégories de végétaux que l'on peut collecter séparément :

- **Les tontes et feuilles** (60 % en poids des produits), à dominante **cellulosique**, présentent une densité assez élevée (0,30 à 0,40) et demandent à être évacuées régulièrement vers le site de traitement compte tenu de leur haute fermentescibilité. À titre de comparaison, sur les déchetteries, ces déchets doivent, réglementairement, être évacués une fois par semaine.
- **Les branches et tailles** (40 % des produits) sont des végétaux **ligneux**, très peu pondéreux, pouvant être stockés sans risque de pollution ; ils peuvent être entreposés sur une aire de stockage au plus près du lieu de collecte des résidus, puis broyés avant d'être acheminés jusqu'à l'unité de compostage.

L'aire de stockage / broyage est un lieu clos, bitumé et gardienné (éventuellement à proximité de la déchetterie), dont la superficie varie selon la capacité du broyeur. Elle est accessible aux grandes collectivités, aux exploitants et aux particuliers. **Les branches et broussailles sont stockées puis broyées en régie ou par un prestataire spécialisé lorsqu'une quantité suffisante est rassemblée** ; le volume à stocker correspond à des chantiers de broyage de 1 à 2 journées. Le broyat est ensuite transporté vers l'unité de compostage.

Les déchets verts collectés en mélange (porte-à-porte ou bennes déposées sur la voie publique) doivent en revanche être évacués en direct vers la plate-forme de compostage et broyés sur place (voir **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** page **Erreur ! Signet non défini.**).

La nécessité du gardiennage apparaît, comme pour les déchetteries, fort évidente s'il s'agit d'avoir des déchets non souillés et de conserver un site propre.

B. Les aspects réglementaires

Lorsqu'elle est attenante à une **déchetterie**, une plate-forme de stockage / broyage peut être considérée comme une extension de cette dernière et donc être soumise à la même réglementation (rubrique 2710 de la nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement). Toutefois, dans bien des cas, cela fera passer l'installation du régime de déclaration à celui d'autorisation par augmentation de la surface totale (seuil de 2 500 m²).

Lorsqu'elle est isolée, une plate-forme de stockage / broyage peut être soumise au même classement si elle comporte des bennes pour le dépôt des tontes de gazons et autres déchets verts fortement azotés.

Remarquons que dans le cas d'un tel rattachement à la rubrique 2710 des installations classées, les déchets verts ligneux ne peuvent être stockés plus d'un mois sur place.

Si les déchets verts sont périodiquement broyés sur la plate-forme, alors la rubrique 2260 de la nomenclature s'applique (broyage, concassage, criblage... des substances végétales et de tous produits organiques naturels...). L'installation doit être déclarée si la puissance du broyeur se situe entre 40 et 200 kW, autorisée si elle est plus forte.

Dans les autres cas, il faudrait considérer que l'aire de stockage des branches et broussailles est régie par le seul règlement sanitaire départemental.

Or, le Règlement Sanitaire Départemental type (circulaire du 9 août 1978) précise :

Les dépôts de plus de 5 m³ de matières fermentescibles doivent respecter :

- a) *les prescriptions générales ou particulières relatives aux périmètres de protection des sources, puits, captages ou prises d'eau ;*
- b) *une distance supérieure à **35 m** avec les puits, forages, sources, aqueducs à l'air libre, stockages d'eau, rivages ou berges des cours d'eau ;*
- c) *une distance supérieure à **200 m** de tout immeuble habité, des zones de loisirs et de tout établissement recevant du public, à moins qu'il ne s'agisse d'ateliers de compostage spécialement aménagés et régulièrement autorisés ;*
- d) *une distance supérieure à **5 m** des voies de communication ;*
- e) *l'interdiction d'établissement dans une carrière ou toute autre excavation ;*

f) après toute opération de déchargement de nouvelles matières, un recouvrement dans la journée ou au plus tard le lendemain par une couche de terre meuble ou par toute autre matière inerte, d'au moins 10 cm d'épaisseur.

g) un volume maximum (par tas) de 2.000 m³ et une hauteur maximale de 2 m ;

h) une durée de stockage maximale de 1 an.

Les prescriptions c), e) et f) ne s'appliquent pas aux dépôts de compost dont les caractéristiques sont conformes à la norme en vigueur pour les amendements organiques (NF U 44051)

Les dépôts de plus de 50 m³ de matières fermentescibles doivent faire l'objet d'une déclaration préalable en mairie (notamment pour les entreprises d'entretien d'espaces verts).

Il est évident que l'ensemble de ces prescriptions est applicable à l'exception de la prescription f qui est tout à fait incompatible avec la suite de la filière. Cela signifie qu'un rattachement aux rubriques 2710 ou 2260 de la nomenclature des installations classées est préférable. Sinon, il convient de rencontrer le service administratif concerné pour définir les exigences au regard de la législation en vigueur.

C. Le dimensionnement de l'aire de stockage / broyage

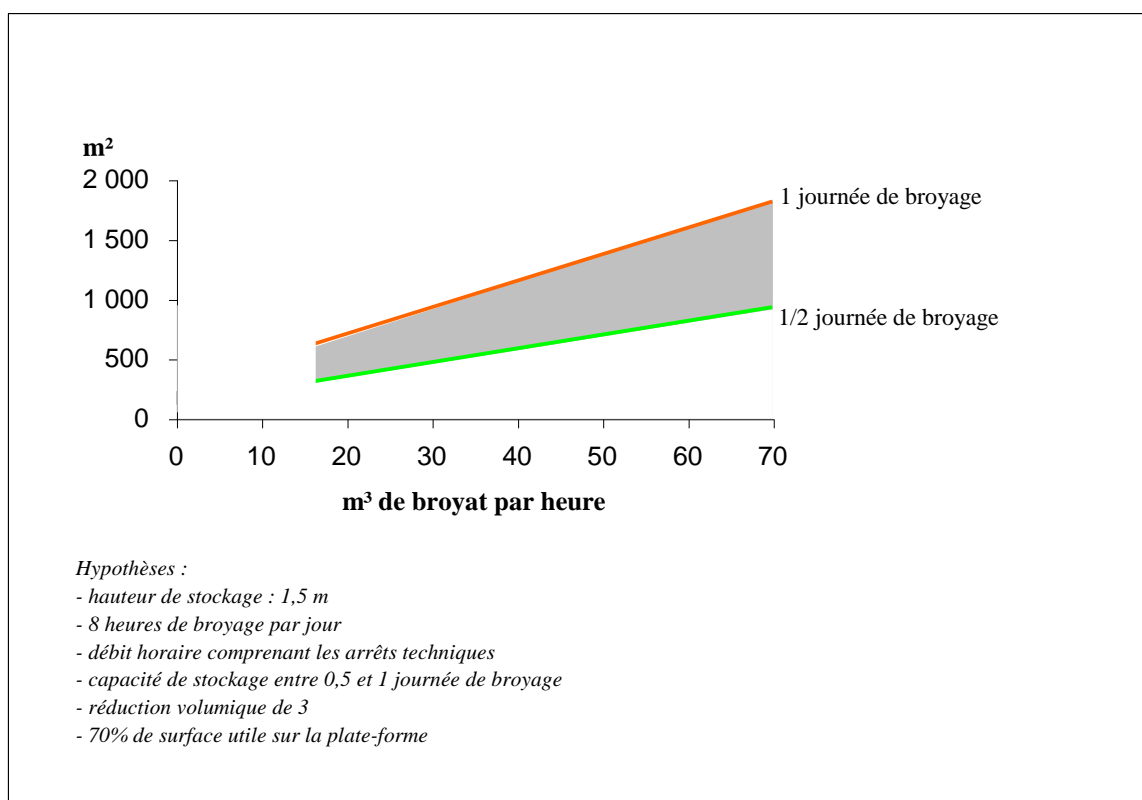
La superficie de l'aire de stockage varie en général de 100 m² à plus de 1 800 m². Elle est dimensionnée en fonction :

- De la fréquence d'intervention du broyeur. Au minimum celui-ci devra intervenir une fois au cours de la durée maximale autorisée de stockage des déchets. Celle-ci est en général d'un mois pour les déchets ligneux sur les déchetteries (arrêté-type de déclaration déchetterie).
- Du volume maximal stocké sur la plate-forme entre deux interventions du broyeur et enlèvement du broyat.
- De la hauteur de stockage. Les déchets très ligneux pourront être stockés assez haut (3 m) sans nuisances particulière. Les déchets en mélange devront être stockés sur une faible hauteur (1 m à 1,5 m) pour éviter un pourrissement anaérobie. Éviter absolument le stockage de déchets très azotés, très peu ligneux (tontes de gazons, pousses vertes) car ils se tassent et pourrissent en produisant de fortes odeurs. De toute façon, leur broyage est tout à fait inutile. Ils doivent être enlevés rapidement après leur dépôt (dans un délai d'une semaine sur les déchetteries).

Dans ce cadre, il est intéressant d'organiser les interventions du broyeur sur **une demi-journée, 1 journée entière** ou un nombre entier de journées, si les volumes stockés dans le délai légal sont suffisants. Cela permet de réduire les coûts de déplacement.

Le Graphique 9 donne un ordre de grandeur de la surface correspondant à des débits horaires variés en fonction de certaines hypothèses pour $\frac{1}{2}$ ou 1 journée.

Graphique 9 : La surface de l'aire de stockage / broyage en fonction des performances du broyeur



La collectivité peut acquérir un broyeur ou passer un marché avec un prestataire spécialisé. Il y en a de plus en plus sur le territoire. Il est possible d'en obtenir la liste sur le site Internet de l'ADEME. A noter que plus le débit horaire du broyeur est élevé, plus la quantité de déchets verts broyée en une journée sera importante. Si le flux d'apport sur la plate-forme est suffisant, il peut être intéressant de dimensionner l'aire de stockage / broyage de manière à pouvoir faire intervenir le broyeur une journée entière (ou deux), mais attention à ne pas stocker les déchets verts plus longtemps que la réglementation ne l'autorise (en général 1 mois).

Enfin, valoriser des espaces abandonnés (plates-formes agricoles, délaissés routiers, friches industrielles...) permet de réduire notablement les investissements.

Attention !

Pour les matériels de très forte capacité (cas des entreprises prestataires de service par exemple), le facteur limitant est l'alimentation du broyeur en déchets verts ; il convient alors de mettre à disposition un second engin de manutention.

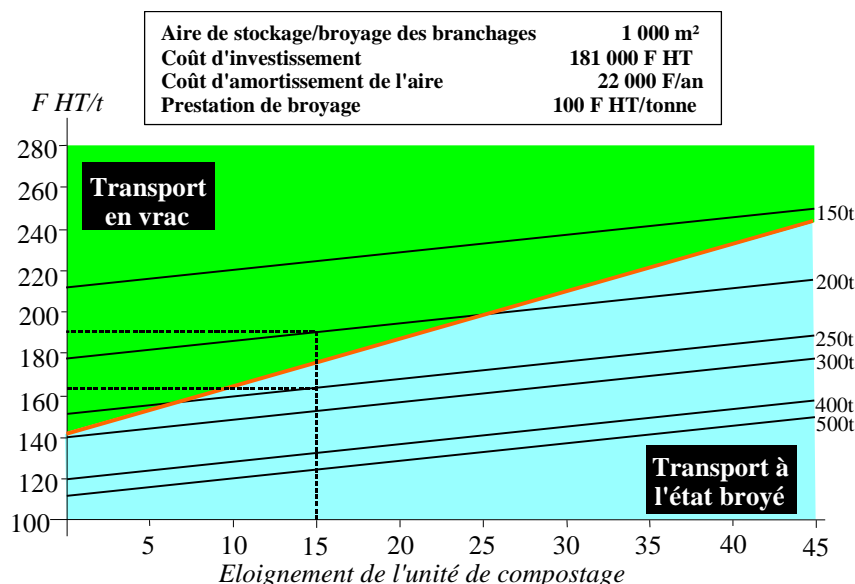
D. L'évolution des coûts d'acheminement des déchets verts

Les coûts présentés ci-après comprennent :

- la prestation de broyage des branches / tailles ;
- le transport du broyat et des tontes / feuilles jusqu'à l'unité de compostage ;
- l'amortissement des investissements.

On a calculé l'évolution des coûts d'approvisionnement d'une plate-forme selon les tonnages à transporter et la distance à parcourir (total des kilomètres aller / retour).

Graphique 10 : Évolution des coûts de transport et de broyage



Méthode de lecture :

- 1) Choisir un tonnage.
- 2) Dresser une verticale, correspondant à la distance qui éloigne la déchetterie de l'unité de compostage.
- 3) Déterminer s'il est préférable de transporter en vrac (zone foncée) ou de broyer les branches et tailles au préalable.

Exemples :

- 1) La plate-forme de compostage se situe à 15 km. L'aire de stockage/broyage des branches et des tailles est économiquement intéressante dès que la quantité de résidus végétaux recueillis excède 200 à 250 tonnes/an (4 000 à 5 000 habitants). En deçà, le transport en vrac doit être privilégié.
- 2) La collectivité génère chaque année un flux de 200 tonnes de déchets verts. L'aire de stockage/broyage des branches s'impose dès que l'unité de traitement est distante de plus de 25 km.

Source : Biomasse Normandie

En conclusion, la mise en place d'une aire de stockage / broyage est intéressante pour une collectivité récupérant 200 à 300 tonnes de déchets verts par an non traitées localement. L'organisation requiert :

- *l'existence d'un broyeur de forte puissance (prestataire de service en général) ;*
- *le gardiennage de l'installation qui sera facilité dans le cas d'une implantation à proximité des déchetteries, stations de transit..*

I.2 Dimensionner une unité de compostage

Dans ce chapitre, on trouvera les bases techniques pour le choix et le dimensionnement des principaux éléments d'une plate-forme de compostage : matériels et infrastructures.

I.2.1 Le choix des matériels

I.2.1.1 Le broyage

Le choix du broyeur est fondamental, car c'est l'opération mécanisée la plus coûteuse.

A. Le type et la capacité de traitement des broyeurs

Les matériels disponibles sur le marché européen, classés en trois catégories, présentent des caractéristiques techniques très différentes :

- **Les gyrobroyeurs agricoles et forestiers à axe horizontal** réalisent un broyage **Erreur! Signet non défini.** grossier pour des branches d'un diamètre maximal de 5 à 6 cm. De tels appareils, qui ne disposent d'aucun système de régulation de débit, peuvent être utilisés comme solution "d'attente", pour de faibles quantités (moins de 1 000 m³/an).
- **Les broyeurs à couteaux**, conçus pour transformer les branches d'élagages en copeaux, n'acceptent pas les déchets verts en mélange réceptionnés en déchetterie. Certains constructeurs proposent cependant des broyeurs mixtes, équipés de deux cages de broyage : l'une avec des marteaux (tailles...), l'autre avec des couteaux (branches...).
- **Les broyeurs à marteaux** sont tolérants aux impuretés et défibrent convenablement tous les végétaux. Leur alimentation peut être manuelle ou mécanisée, selon leur capacité de traitement (500 à 50 000 t/an).

Les deux premières catégories ne sont pas recommandées car, contrairement à la dernière, elles n'autorisent en général ni un bon défibrage, offrant aux micro-organismes aérobies une surface d'échange importante et facilitant la dégradation des matières ligneuses, ni l'absence de bourrage, obtenue par un dispositif d'entraînement et de préhension des résidus végétaux.

B. Conseils pour le choix d'un broyeur

Par ordre d'importance décroissante, on a retenu les critères suivants :

La capacité de traitement en rapport avec les quantités à broyer

La plage d'utilisation d'un broyeur varie entre 50 et 150 jours/an (si le broyeur intervient sur plusieurs sites). Il est cependant préférable de choisir un matériel de capacité supérieure dès que la durée d'utilisation annuelle dépasse 600 à 800 h/an, lorsque le matériel est affecté à une seule unité.

En France, une vingtaine de marques distribuent plus de 100 modèles, ce qui représente une gamme de puissance très étendue. La corrélation directe entre la puissance et le débit permet de dimensionner au mieux le matériel.

Graphique 11 : Les débits des broyeurs selon la puissance

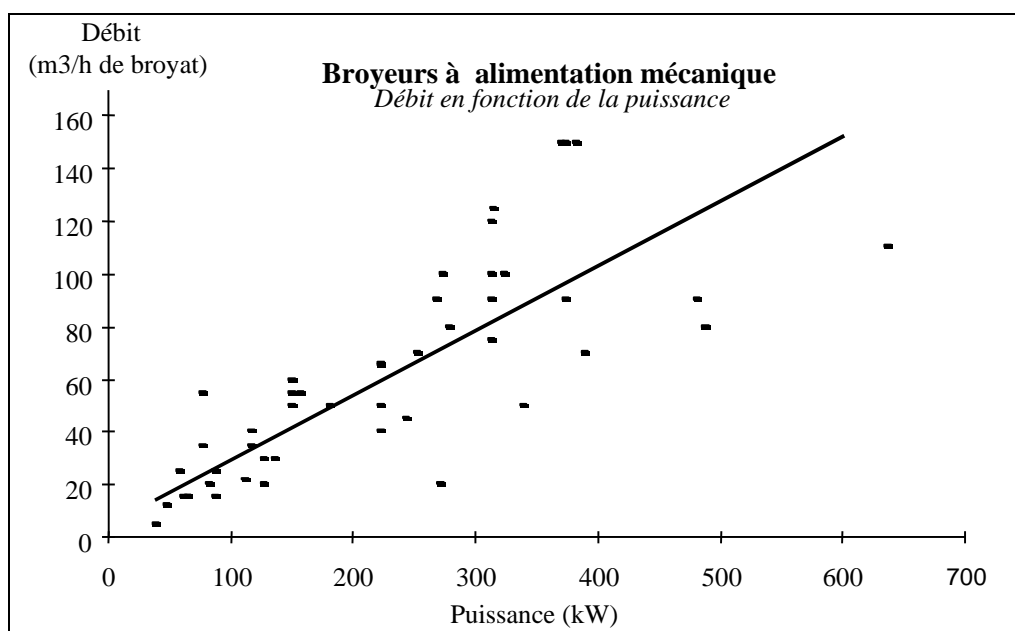


Tableau 5 : Caractéristiques des matériels de broyage

	Petite capacité	Capacité moyenne	Grande capacité
Taille de la collectivité	moins de 30 000 hab.	30 000 à 200 000 hab.	plus de 200 000 hab.
Coût (en FHT)	100 000 à 350 000 F	400 000 à 1 000 000 F	700 000 à 1 600 000 F
Débit horaire (m ³ /h)	3 à 10	10 à 40	> 30
Diamètre maxi (cm)	10	25	50 + souches
Motorisation	Autonome ou prise de force de tracteur ⁽¹⁾	Autonome	Autonome
Puissance (kW)	40 à 80 (avec régulation d'alimentation)	80 à 200	> 200

⁽¹⁾ recommandé si l'appareil est utilisé moins de 200 à 300 h/an

Sur la plupart des plates-formes en service, les broyeurs sont surdimensionnés pour deux raisons :

- il est difficile de "miniaturiser" certains matériels. La puissance requise et la robustesse sont deux qualités primordiales, car mécaniquement, ces appareils sont très sollicités ;
- la plupart des exploitants anticipent la montée en puissance des unités de compostage, car les tonnages doublent en moyenne après trois années de fonctionnement.

b) La tolérance aux impuretés

Il est très difficile de détecter les impuretés quand on alimente le broyeur au chargeur ; le matériel doit être équipé de sécurités suffisantes pour éviter la détérioration du rotor et la casse des marteaux.

c) La granulométrie

Elle ne doit être ni trop fine, ni trop grossière, et être susceptible d'être réglée par l'utilisateur. Elle doit respecter un cahier des charges « fabrication d'un compost ».

d) La facilité d'introduction et de sortie du broyeur

La trémie de réception doit être de grande taille, pour pouvoir être alimentée au chargeur. En sortie de broyeur, une évacuation directe est préférable à une évacuation sur tapis, pour éviter tout risque de bourrage.

e) La maintenance

Le temps passé à l'entretien régulier (graissage, contrôle des niveaux...) et au changement d'un jeu de marteaux, le coût des pièces d'usure (marteaux surtout) et la facilité de nettoyage sont les principaux éléments à prendre en compte dans le coût d'exploitation du broyeur.

f) Le service après-vente

La relation après la vente est également importante, notamment pour ce qui concerne l'encadrement pendant les premières semaines d'utilisation.

I.2.1.2 Le retournement (ou brassage) des andains

A. Les types de retourneurs : avantages et inconvénients

On distingue cinq méthodes de retournement, qui présentent des caractéristiques très variables et néanmoins adaptées à des capacités de traitement connues (Tableau 6 page 23). Une dizaine de distributeurs proposent plus de 50 modèles dans l'Hexagone.

Tableau 6 : Caractéristiques des matériels de retournement

	Capacité (t/an)	Débit horaire (m ³ /h)	Coût (en milliers F HT)	Atouts	Faiblesses
Chargeur : - classique - travaux publics	1 000 à 3 000 3 000 à 8 000	80 à 150 300 à 500	300 à 400 600 à 800	Matériel polyvalent, utilisé pour toutes les manutentions	Usure importante des différentiels et transmissions. Pas de trituration. Pas d'homogénéisation des matières. Arrosage séparé du retournement.
Epandeur à fumier	1000 à 2 000	80 à 100	50 à 100	Matériel disponible en zone d'élevage. Motorisation avec tracteur agricole.	Capacité limitée. Organisation lourde (2 tracteurs)
Retourneur tracté à axe vertical	3 000 à 10 000	300 à 400	350 à 400 (sans motorisation)	Non limité par la largeur des andains (peut travailler sur des andains accolés voire tabulaires). Bon rapport volume / superficie.	Puissance absorbée importante en l'absence de motorisation autonome. Dilacération du bois à chaque retournement. Reprise de la fermentation. Usure des dents / godets.
			600 à 700 (avec motorisation)		
Retourneur tracté à axe horizontal (appelé aussi "enjambeur")	1 000 à 10 000	150 à 400	100 à 300 (sans motorisation)	Gamme très étendue. Maintenance réduite. Trituration efficace sans éclatement du bois. Identification des lots par andain.	Couloir de circulation entre chaque andain. Mauvais rapport volume / superficie.
		600 à 1 000	400 à 800 (avec motorisation)		
Retourneur à tapis mouvant oblique (automoteur ou non)	> 6 000	800 à 2500	300 à 1 600	Bon rapport volume / superficie. Occupation des sols à 100 %. Avancement automatique possible (laser au sol ou capteurs latéraux).	Adapté aux unités de grande capacité.

B. Conseils pour le choix d'un retourneur

Par ordre d'importance décroissante, on a retenu :

a) La taille des andains

Les andains de trop petite taille perdent rapidement leur chaleur. Il faut sélectionner des appareils capables de travailler sur des andains d'au moins 1,5 m de hauteur.

b) La trituration

• *Les chargeurs :*

Avec un retournement au chargeur, le brassage des produits est sommaire et grossier. Certains éléments peuvent se « prendre en masse » et constituer des « boules » de matières compactes (tontes de gazon et feuilles notamment) non dégradées qui finissent dans les refus de criblage. Le processus de compostage est ici plus long qu'avec des retourneurs spécifiques (8 mois environ). Ce mode de retournement n'est pas conseillé pour des installations importantes.

• *Les retourneurs à axe vertical :*

La vitesse de rotation du rotor est élevée (200 à 400 tr/mn) et les fractions ligneuses sont hachées / dilacérées sous l'action mécanique des dents / godets. La granulométrie du produit chute rapidement et le compost est plus dense (0,7 au lieu de 0,4 avec un retournement moins « agressif »). En outre, après chaque retournement, les particules fragmentées repartent en fermentation. En conséquence, les constituants du compost ne sont pas tous au même stade de dégradation et le compost juste produit doit être laissé au repos avant d'être considéré comme vraiment mûr et utilisé.

• *Les retourneurs à axe horizontal ou à tapis mouvant oblique :*

La vitesse de rotation du (ou des) rotor(s) qui assure(nt) le brassage est plus faible, mais l'aération est bonne ; il n'y a pas d'éclatement du bois sous l'action mécanique du retourneur. Les gros morceaux sont écartés au moment du tamisage et l'homogénéité du compost est meilleure en terme de maturité.

c) Le débit horaire (en m³/h)

Les caractéristiques du matériel doivent être déterminées en fonction :

- du nombre de retournements souhaité,
- du volume journalier à brasser.


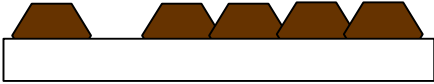

La plage optimale d'utilisation du retourneur se situe entre 2 et 4 h/jour ; au delà, l'acquisition d'un matériel plus puissant est recommandée pour ne pas perturber le fonctionnement de l'unité de compostage.

d) Le rapport "volume à brasser/superficie au sol"

Le choix d'une solution doit prendre en compte :

- la taille de l'installation (l'acquisition d'un retourneur autonome n'est par exemple pas compatible avec une unité de petite capacité),
- les disponibilités foncières.

Tableau 7 : L'occupation au sol des andains selon le type d'organisation

	Type de retourneur	Superficie occupée par le compost	Voies de circulation
Solution extensive	tractés à axe horizontal	50 à 70 %	 1 couloir de circulation entre chaque andain
Solution intensive	tracté à axe vertical	80 à 90 %	 1 seul couloir de circulation
	automoteur	90 à 100 %	

e) Le mode de traction et d'entraînement

Le retourneur peut être tiré par :

- un **tracteur agricole de faible puissance** (épandeur à fumier ou "petit enjambeur") ou **de forte puissance** (plus de 100 kW pour les matériels à tambour vertical). Dans ces différents cas de figure, le dispositif de brassage est entraîné par un moteur hydraulique :
- branché sur le circuit du tracteur ;
- actionné par la prise de force du tracteur.
- un **chargeur** lorsque le matériel est équipé de son propre moteur thermique.

La polyvalence de l'engin de traction est très intéressante, car l'immobilisation d'un tracteur de forte puissance représente un investissement important pour une utilisation de quelques centaines d'heures

par an et la location (à un exploitant agricole par exemple) est difficile à organiser compte tenu des besoins réguliers sur l'unité.

Par ailleurs, l'acquisition d'un engin de traction équipé d'une boîte de vitesse "extra lente" est souvent nécessaire pour des avancements n'excédant pas 200 à 400 m/h (notamment pour les premiers retournements toujours plus difficiles).

f) L'humidification des andains

Pour arroser la matière de façon régulière au cœur des andains, sans perte par ruissellement, une méthode efficace consiste à équiper le retourneur spécifique ou l'épandeur d'une rampe d'arrosage, ce qui n'est pas possible pour tous les matériels (chargeur en particulier). Il faut alors se résoudre à asperger les andains. Le plus efficace est de procéder à l'arrosage juste avant le retournement, de manière à ce que le brassage opéré par ce dernier facilite la répartition de l'eau dans la masse.

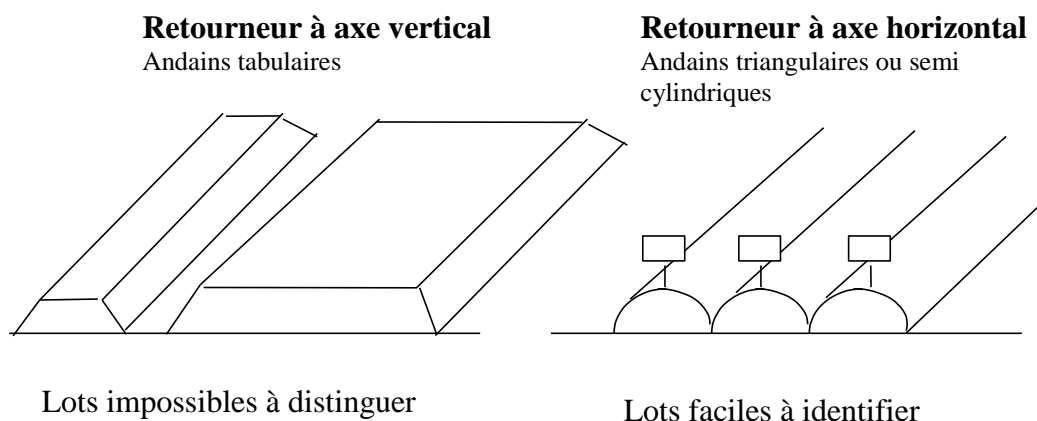
g) La forme des andains et l'identification des lots

Les retourneurs à axe horizontal entraînent en général la formation d'andains triangulaires qui permettent une bonne identification des lots (voir la présentation de la gestion par lots et de son intérêt au chapitre I.3.1 page 37). En revanche, avec les retourneurs à tambour vertical il est possible de constituer de grands andains "plateaux" ou « tabulaires », où les lots sont impossibles à distinguer (Schéma 1).

Cette disposition est tentante car elle permet de « gagner » de la place. Elle est cependant fortement déconseillée car elle ne permet pas le suivi des lots. On lui préférera une disposition d'andains accolés, voire très légèrement chevauchants (de quelques dizaines de centimètres) qui permet tout de même la gestion par lots tout en autorisant un certain gain de place.

Signalons que l'évolution réglementaire en cours devrait sans doute imposer la gestion par lots.

Schéma 1 : La forme des andains selon le type de matériel



I.2.1.3 Le criblage / affinage du compost

A. Les types de matériels

Cette opération est réalisable avec trois types de matériels :

- ❶ les cribles rotatifs ou trommels,
- ❷ les cribles à plans vibrants, utilisés plutôt pour le tamisage industriel de terreaux,
- ❸ les tamis à disques, parfois montés sur le bras télescopique d'un chargeur.

Les plus répandus pour l'affinage du compost de déchets verts sont les cribles rotatifs. Près de 30 modèles, distribués par une dizaine d'établissements, ont été inventoriés en France.

Les constructeurs annoncent des débits sans préciser la granulométrie et le plus souvent **pour des produits secs**. Il convient d'être prudent, car cette opération est très sensible à l'humidité du matériau.

Contrairement aux autres opérations régulièrement organisées dans l'année, le tamisage peut se pratiquer épisodiquement, à la demande des utilisateurs. Il est donc intéressant de faire appel à un prestataire privé (une unité sur cinq en France procède de cette manière).

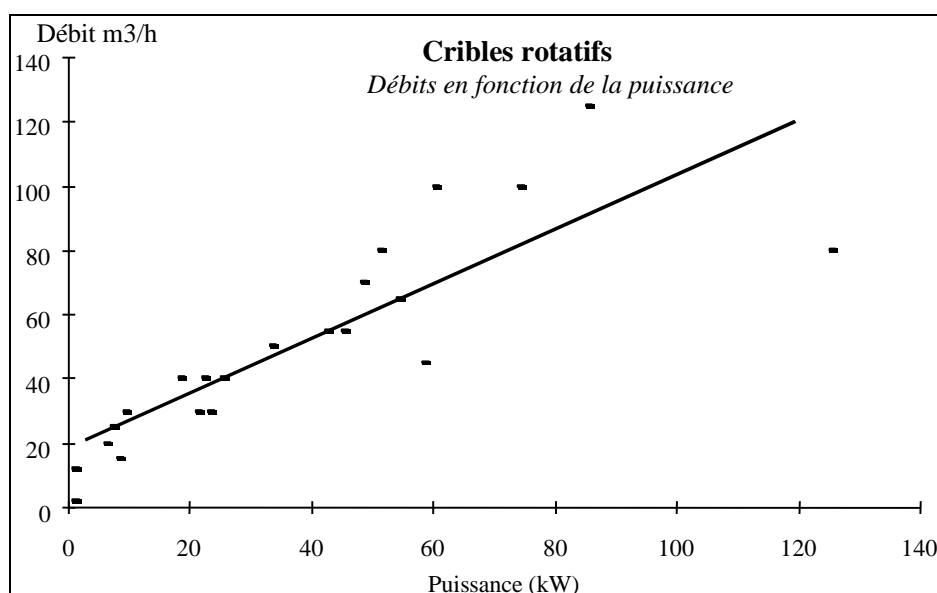
B. Conseils pour le choix d'un crible

Les principales recommandations portent sur :

a) La connaissance des besoins

Pour un crible utilisé sur un seul site, un débit horaire entre 10 et 20 m³/h est souvent suffisant, à la maille de 20 mm. En revanche, un prestataire de services choisira plutôt un tamis de forte capacité, capable de cribler 50 m³/h ou plus.

Graphique 12 : Capacité de traitement des cribles selon la puissance



Source : Biomasse Normandie (d'après les données des constructeurs)

b) La régularité de l'alimentation du tamis

L'efficacité du criblage dépend en grande partie de la régularité de son alimentation ; il est préférable que le crible fonctionne en continu, même si son débit nominal est modeste. Il est donc intéressant de prévoir une trémie d'alimentation régulant les apports de compost à affiner.

c) La surface utile pour le criblage

Il est préférable d'avoir un tambour de grand diamètre, équipé de palettes qui ralentissent la vitesse de passage du compost et mettent la matière en mouvement dans le crible, plutôt que de disposer d'un trommel de grande longueur.

d) La facilité de nettoyage et de changement du tambour ou de la grille

Plus le compost est riche en eau, plus la matière se colle sur les grilles ou les parois du tamis. A noter que les particules de bois se coincent plus facilement dans les grilles à maille carrée que dans celles à maille ronde. Le trommel se décolmate en passant sur un balai rotatif dans sa partie haute.

I.2.1.4 Les engins de manutention : le chargeur

L'alimentation du broyeur et du crible, la mise en andains, le chargement des camions, la reprise des refus de compostage, la manutention des déchets verts, du compost ..., sont autant d'opérations réalisées à l'aide d'un chargeur. Les principaux critères à prendre en compte pour le choix sont les suivants :

- *la hauteur de levage*, pour le chargement du compost dans les camions et la constitution de stocks de déchets verts en vrac ou broyés ; pour ces opérations, un bras télescopique est recommandé ;

- *la tenue mécanique des transmissions*: l'utilisation d'un chargeur "type travaux publics" est recommandée si l'on envisage ce moyen pour le retournement sur de grandes unités ;
- *la facilité de changement du godet (ou de la pince)* ;
- *le rayon de braquage et la facilité de manœuvre*, pour valoriser au mieux les surfaces disponibles ;
- *l'existence de vitesses lentes*, pour tracter éventuellement un retourneur afin d'éviter l'acquisition d'un tracteur agricole, en général sous-utilisé ;
- *le confort de la cabine*, car c'est le matériel le plus utilisé ;
- *la disponibilité du service après-vente*.

I.2.1.5 Les équipements périphériques

Certains équipements sont indispensables, comme :

- un atelier, équipé du matériel classique pour ce type d'activité : compresseur, poste de soudure, chalumeau, nettoyeur haute pression ... ;
- le matériel d'arrosage des andains : pompe pour produits chargés et dispositif pour liquides riches en particules (buses adaptées) ; il est recommandé d'installer, si possible, une rampe sur le broyeur et le retourneur ;
- des citernes à lubrifiants et carburants, équipées de bacs de rétention et de dispositifs de sécurité ;
- des extincteurs (voir avec la protection civile) ;
- des bacs roulants et/ou un caisson ouvert pour le stockage des indésirables ;
- une étuve, des appareils de mesure, du matériel de prélèvement et d'échantillonnage (fortement recommandé).

D'autres équipements sont optionnels, comme :

- des bâches perméables à l'air pour la protection des andains en cours de fermentation et en fin de maturation (avant criblage) ;
- une unité d'ensachage ;
- un véhicule utilitaire (approvisionnement en pièces, livraison de compost chez les particuliers...).

I.2.2 Les infrastructures

Une plate-forme de compostage est composée des éléments suivants :

- une aire de compostage ou surface à l'air libre, le plus souvent bétonnée ou enrobée, qui représente 85 à 95 % de la superficie totale de l'installation ; elle comprend notamment, outre les aires de compostage proprement dits, une aire de stockage des déchets bruts et une aire de stockage du compost (en attente de livraison, évacuation).
- un dispositif de récupération, de décantation et de stockage des eaux de ruissellement ;
- des locaux et hangars pour le matériel, l'atelier, le personnel (locaux sociaux et administratifs) et le laboratoire d'analyses ;
- une voirie d'accès ;

- des aménagements paysagers, une aire de stationnement, une clôture et un portail ;
- éventuellement un pont-basculé.

I.2.2.1 Les aires de compostage

A. Le dimensionnement des aires de compostage

La plate-forme de compostage se décompose en aires respectivement réservées à la **réception / stockage et au broyage** des déchets verts, à la **fermentation / maturation**, au **criblage / stockage** de l'amendement fabriqué et à la **circulation**. La surface d'une unité dépend :

- de sa capacité de traitement ;
- de la technologie retenue, laquelle détermine les conditions de la dégradation biologique (durée du traitement, disposition et hauteur des andains...).

Les aires de compostage sont estimées à partir, d'une part, du bilan matière prévisionnel et, d'autre part, des caractéristiques de l'amendement à fabriquer (types de débouchés, période d'utilisation / durée de stockage, mode de conditionnement ...).

Pour chaque étape du traitement, la surface nécessaire dépend du volume de matières présent à un moment donné, de sa hauteur moyenne (fonction de sa forme) et des surfaces libres nécessaires à la circulation. À partir des tonnages, il faut tenir compte de la densité pour convertir en volume.

Bien entendu, le volume et le tonnage des produits en compostage diminuent au cours du temps, il est donc nécessaire d'en tenir compte pour calculer les surfaces des aires.

À titre indicatif, deux bilans « matière » observés pour deux types de retournement sont présentés ci-après avec les différentes aires calculées en conséquence, pour un flux annuel de 20 000 m³.

Cas d'un retournement au chargeur

Tableau 8 : Bilan matière type pour un flux annuel de 20.000 m³ (retournement au chargeur)

	densité	volume	poids brut	matières sèches	Humidité
état initial	0,20	20 000 m ³	4 000 t	1 800 t	55%
après broyage	0,50	8 000 m ³	4 000 t	1 800 t	55%
après humidification	0,56	8 000 m ³	4 500 t	1 800 t	60%
après 3 mois	0,51	5 875 m ³	3 000 t	1 350 t	55%
après compostage	0,40	3 750 m ³	1 500 t	900 t	40%
<i>rendement de traitement</i>		<i>19%</i>	<i>38%</i>	<i>50%</i>	
après affinage	0,45	2 830 m ³	1 275 t	765 t	40%
refus (Ø 20 mm)	0,25	920 m ³	225 t	135 t	40%

rendement de production

14%

32%

43%

La surface de l'aire de stockage des déchets verts bruts doit tenir compte de la hauteur de stockage (faible pour les déchets tassés, plus importante pour les déchets foisonnants), de la durée (fonction des périodes de broyage) et des opérations de gestion différée des élagages d'hiver en attente jusqu'au printemps pour un mélange avec les tontes de gazon.

La durée de stockage du compost dépend des périodes de reprise par les utilisateurs : elle atteint souvent 5 ou 6 mois, voire plus. Il est important de séparer, physiquement, les différents lots de compost. Des offres d'achat à prix préférentiel permettent parfois de limiter ce délai.

Ici, l'aire de stockage des déchets bruts a été dimensionnée pour un mois de stockage et celle du compost affiné pour 6 mois.

Les andains sont triangulaires non chevauchants. Le retournement au chargeur impose pour ses manœuvres 20% d'équivalents andain libres sur les aires de fermentation et maturation.

**Tableau 9 : Surfaces des différentes aires
(flux annuel de 20 000 m³ et retournement au chargeur)**

Aire de stockage/broyage des déchets bruts	830 m ²
Aire de fermentation active	2 000 m ²
Aire de maturation	2 450 m ²
Aire de stockage du compost affiné	1 040 m ²
SOUS-TOTAL*	6 300 m ²
surfaces à réserver pour les manœuvres et la circulation = 20%	1 260 m ²
TOTAL*	7 600 m ²

* arrondi

Cas d'un retourneur à tambour de fraisage vertical

**Tableau 10 : Bilan matière type pour un flux annuel de 20.000 m³
(retourneur à tambour de fraisage vertical)**

	Densité	volume	poids brut	matières sèches	humidité
état initial	0,20	20 000 m ³	4 000 t	1 800 t	55%
après broyage	0,50	8 000 m ³	4 000 t	1 800 t	55%
après humidification	0,56	8 000 m ³	4 500 t	1 800 t	60%
après 3 mois	0,58	5 190 m ³	3 000 t	1 350 t	55%
après compostage	0,63	2 381 m ³	1 500 t	900 t	40%
<i>rendement de traitement</i>		<i>12%</i>	<i>38%</i>	<i>50%</i>	
après affinage	0,72	1 980 m ³	1 425 t	855 t	40%
refus (Ø 20 mm)	0,19	400 m ³	75 t	45 t	40%
<i>rendement de production</i>		<i>10%</i>	<i>36%</i>	<i>48%</i>	

Avec les mêmes hypothèses que précédemment, hormis l'absence d'équivalents andain libres pour ce type de retournement, les surfaces se répartissent de la manière suivante :

**Tableau 11 : Surfaces des différentes aires
(flux annuel de 20 000 m³ et retourneur à tambour de fraisage vertical)**

Aire de stockage/broyage des déchets bruts	830 m ²
Aire de fermentation active	1 600 m ²
Aire de maturation	1 040 m ²
Aire de stockage du compost affiné	760 m ²
SOUS-TOTAL*	4 200 m ²
surfaces à réserver pour les manœuvres et la circulation = 20%	850 m ²
TOTAL*	5 100 m ²

* arrondi

On constate un gain de place avec ce mode de retournement, qui non seulement ne demande pas de surfaces libres pour le retournement, mais en outre fait gagner 2 mois environ sur la durée de compostage.



ATTENTION ! Un sous-dimensionnement, phénomène fréquemment observé de nos jours, des aires risque de se traduire par :

- la tendance à rapprocher les andains au point de ne plus pouvoir distinguer les lots et faire une gestion par lots ;
- la constitution **d'andains de trop grande taille** et une évolution en anaérobiose prédominante, avec production d'odeurs nauséabondes ;
- une activité ralentie des micro-organismes au cœur des andains, par manque d'aération et accumulation de chaleur (température trop élevée) ;
- un mélange pêle-mêle des différents lots de compost sur l'aire de stockage ;
- une évacuation trop précoce du compost, au détriment de sa maturité, même dans les délais normaux.

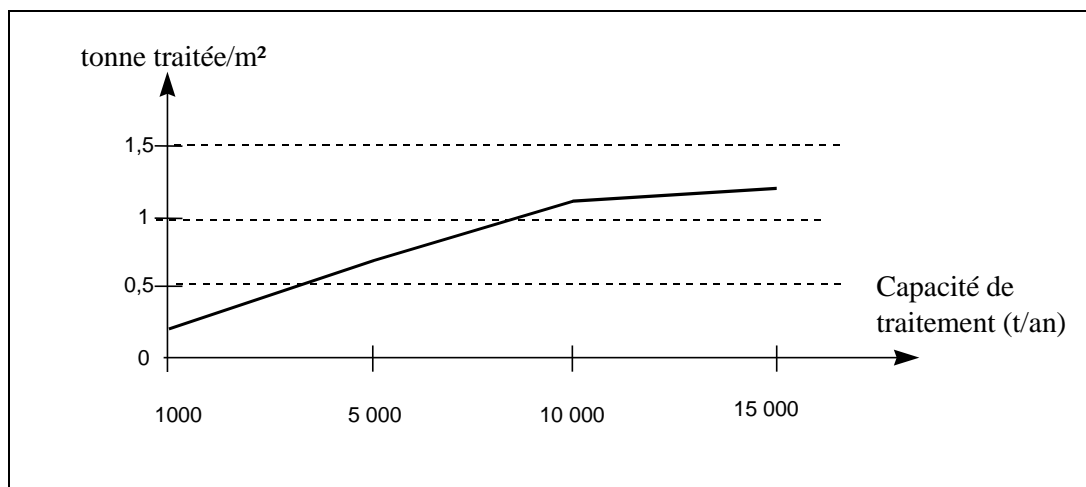
Ainsi, lorsque l'aire devient trop petite, s'instaure un cercle vicieux : le manque de place entraîne une mauvaise gestion et un mauvais déroulement du compostage, la diminution du volume du produit est inférieure à la normale ce qui accentue le manque de place.

Cette situation est à éviter absolument, d'autant que les odeurs alors inévitables sont particulièrement préjudiciables à l'image de l'installation et peuvent, dans certains cas, entraîner des réactions fortes des riverains remettant en cause l'existence même de la plate-forme.

On s'attachera donc à dimensionner la plate-forme pour les flux susceptibles d'arriver à moyen terme et non simplement sur ceux mobilisés au moment de la construction du projet.

Les relevés acquis sur 64 sites (enquête nationale 1997) ont permis de dresser la courbe ci-dessous.

Graphique 13 : Superficie utile des aires de compostage suivant la capacité annuelle de traitement



On observe que le tonnage traité par m² aménagé augmente avec la capacité de l'unité, pour les raisons suivantes :

- les surfaces occupées par les aires de manœuvre et de chantier (broyage, criblage) ne sont pas proportionnelles au tonnage traité ;
- sur une unité de grande capacité, les espaces morts sont réduits (retourneur à axe vertical ou automoteur), et la mécanisation est poussée (andains de plus grande taille).

B. L'aménagement du sol

Une pente de 1 à 2 % est suffisante pour évacuer les eaux de ruissellement. Le sens de la pente doit être parallèle aux andains pour favoriser l'écoulement des eaux de ruissellement.

Compte tenu de la nature des eaux de ruissellement, l'imperméabilisation du sol avec un enrobé ou un béton est suffisante.

I.2.2.2 Le dispositif de récupération et de stockage des eaux de ruissellement

Les eaux circulant sur l'installation de compostage sont de plusieurs ordres. Il y a d'une part les eaux pluviales qui n'entrent pas en contact avec les produits traités et les aires de travail, comme les eaux de toiture des bâtiments, et qui peuvent sans problème être dirigées vers le milieu naturel.

Il y a, d'autre part, les eaux de ruissellement, polluées au contact soit directement des produits organiques soit des surfaces de travail de l'installation (aires de circulation, etc.). Le procédé de compostage ne produit normalement pas de jus étant donné que l'eau produite par la réaction

d'oxydation de la matière organique s'évapore sous l'effet de la chaleur produite au cours de cette même réaction.

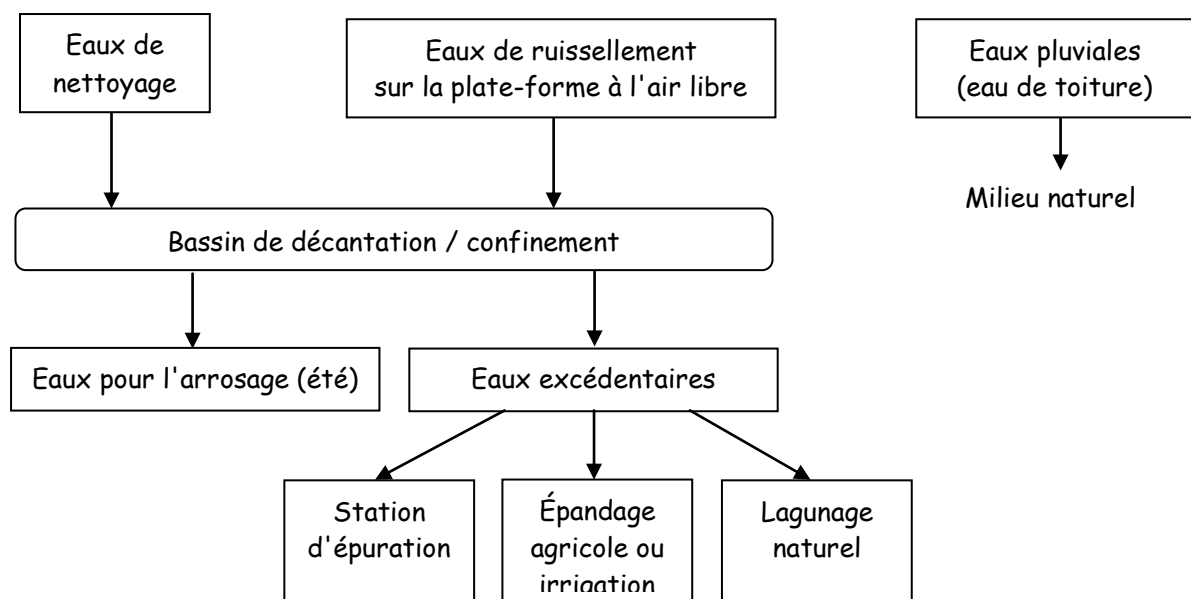
Les eaux pluviales ou d'arrosage sont, en revanche, susceptibles d'entrer dans les andains, de s'accumuler temporairement par zones (écoulements préférentiels) et de ressortir fortement chargées en polluants, organiques en particulier (phénomène de lixiviation).

Enfin, les eaux de nettoyage de la plate-forme ne peuvent évidemment pas non plus être rejetées en l'état dans le milieu naturel.

Il est indispensable de disposer en aval de la plate-forme d'un ou plusieurs bassins de décantation / confinement pour :

- retenir les eaux de ruissellement souillées et éviter leur rejet direct dans le milieu naturel
- décanter et alléger leur charge organique ;
- disposer d'eau pour l'arrosage (environ 1 m³/t de déchets verts traité).

Schéma 2 : Modes de gestion des effluents



L'arrêté type de déclaration relatif à la rubrique 2170 de la nomenclature des installations classées (à laquelle les plates-formes de compostage sont rattachées) stipule que le bassin de décantation / confinement doit être dimensionné en fonction des volumes d'eau susceptibles d'être recueillis, même en situation exceptionnelle et permettre une décantation des effluents et un contrôle de leur qualité. Les eaux ne peuvent être rejetées ensuite au milieu récepteur qu'après contrôle de leur qualité et si besoin traitement approprié. Dans l'arrêté, figurent des valeurs limites de rejet dans le milieu naturel ou les réseaux d'assainissement.

On peut prévoir un stockage correspondant aux précipitations du mois le plus pluvieux de l'année, avant épandage agricole ou lagunage naturel. Il est évident qu'un bassin déjà rempli n'a plus aucune capacité de rétention. Il faut donc penser à vider les bassins pleins (arrosages, épandage agricole, lagunage, réseau d'assainissement ou milieu naturel suivant les besoins et les possibilités).

Dans tous les cas de figure, les bassins seront ceinturés d'une clôture pour prévenir tout accident.

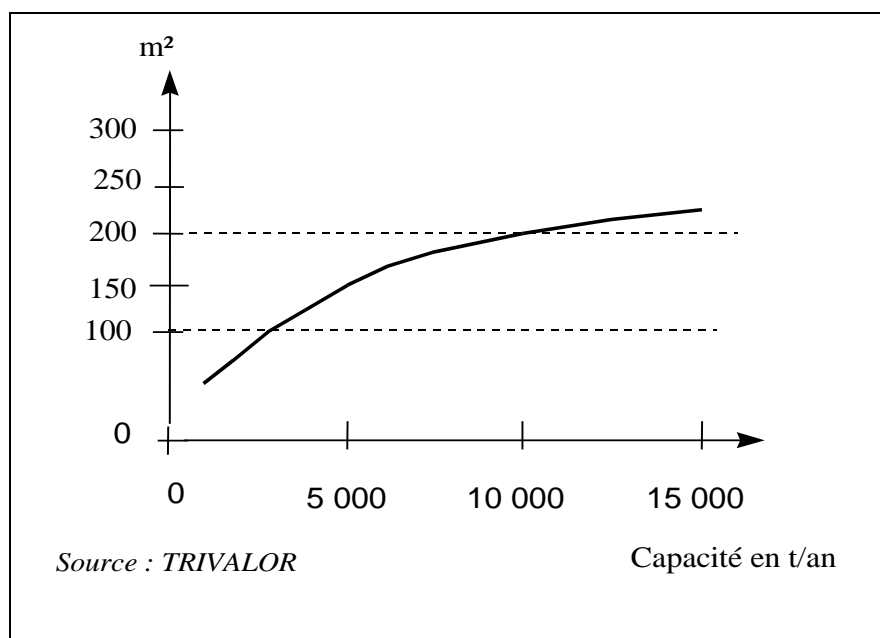
I.2.2.3 Les abris et bâtiments

Ils comprennent :

- un garage pour les matériels ;
- un atelier bien fermé, qui fait aussi office de magasin pour les pièces d'usure ;
- un bureau pour l'enregistrement des apports et des départs du compost, le suivi des lots de matière en cours de compostage, la gestion... ;
- un laboratoire sommaire (rangement du matériel de suivi, mesures du taux d'humidité, tests de maturité...);
- des locaux sociaux pour le personnel, équipés au minimum de douches et sanitaires, éventuellement d'un lieu de repos et de restauration ;
- un hangar pour le stockage des lots de compost en attente d'écoulement. Le bon dimensionnement de cette aire de stockage du compost est primordial, à la fois pour disposer de la surface nécessaire au stockage des différents produits finis jusqu'à leur écoulement et pour garantir une séparation physique des lots à tout moment.

La plus grande partie des superficies couvertes, qui sert au remisage du matériel, varie entre 100 et 250 m², selon la taille de l'unité de compostage.

Graphique 14 : Superficie à couvrir en fonction de la taille de l'unité de compostage
(hors abri du compost)



Selon les perspectives d'écoulement du compost, il est possible d'aménager :

- un abri pour sécher le produit avant criblage ;
- un local pour l'ensachage (≈ 300 m²).

Les cribles ne fonctionnent pas correctement avec des composts dont l'humidité excède 45 à 50 % ; les refus sont très importants. Dans la plupart des régions, il faut abriter le compost mûr avant criblage soit sous un hangar, soit grâce à des bâches spéciales imperméables à l'eau et perméables à l'air. Ce système est moins coûteux mais plus contraignant en main-d'œuvre.

Il est fortement recommandé d'abriter le compost en attente d'écoulement :

- d'abord pour limiter les pertes par **érosion** (ruissellement avec plus ou moins de lixiviation et vent par temps très sec) ;
- ensuite pour limiter le taux d'**humidité** du compost et donc le déroulement de fermentations complémentaires nauséabondes en milieu anaérobie (le compost, criblé donc plus fin et plus lourd car humide a tendance à se tasser) ; l'alourdissement du compost rend plus onéreux son transport ;
- enfin pour respecter une constance de composition inscrite désormais dans la réglementation : la variation des teneurs en éléments fertilisants est limitée à 10% sur brut.

I.2.2.4 La voirie d'accès

Quelle que soit l'importance du trafic, l'accès à la plate-forme de compostage ne doit pas gêner la circulation routière. A cet effet, des aménagements sont à prévoir (voie de dégagement ou de croisement, "tourne-à-gauche", signalisation nouvelle, modification des modes de circulation...).

Dans tous les cas, une concertation visant à définir la nature et le mode de financement des aménagements doit être entreprise avec les services communaux et la subdivision de l'Équipement.

I.2.2.5 Les aménagements secondaires

Il s'agit de la clôture, du portail, de l'aire de stationnement et des espaces verts. Une plate-forme de compostage doit être bien intégrée dans son environnement ; elle peut être ceinturée par des talus (ou merlons de terre) ou une haie paysagère.

L'accès est généralement contrôlé par une clôture et un portail pour des raisons de sécurité (bassins de décantation ...) et pour éviter tout risque de dépôt sauvage. Ces aménagements ont pour but de limiter les intrusions en dehors des heures de fonctionnement de l'unité et les risques de vol (matériels, équipements).

L'aire de stationnement doit être conçue pour accueillir les véhicules du personnel d'exploitation et de quelques visiteurs (3 à 6 places en général).

I.2.2.6 Le pont-bascule

Rappelons que la pesée systématique est un moyen incontestable de contrôle des quantités de déchets verts réceptionnées ainsi que des quantités de compost livrées.

L'acquisition d'un pont-bascule se justifie d'autant plus que celui-ci est partagé entre plusieurs activités sur le même site : compostage associé à une déchetterie, à une station de transit, à un centre de tri, co-compostage avec des déchets de provenances diverses...

I.3 Exploiter une plate-forme de compostage

Dans ce chapitre, on trouvera une description des chantiers et les recommandations relatives à l'exploitation d'une plate-forme de compostage (depuis la réception des déchets verts jusqu'à l'évacuation du compost), ainsi que les besoins en personnel et quelques aspects spécifiques concernant la sécurité et l'hygiène sur le chantier.

I.3.1 Gestion par lots

Les déchets verts apportés sur la plate-forme à un moment donné vont être regroupés et subir une série d'opérations jusqu'à l'obtention d'un compost susceptible de répondre aux besoins d'un utilisateur.

Cet ensemble de déchets verts qui va suivre, en même temps, le même processus de transformation est ce qu'on appelle un « lot ».

Il est indispensable de matérialiser précisément le lot de compost final qui correspond à une analyse présentée au client ou à l'administration. D'ailleurs, l'arrêté du 8/12/1982 (JO du 6/1/1993) sur le contrôle officiel des matières fertilisantes et supports de culture définit un lot comme la « *quantité de matières fertilisantes et de supports de culture fabriquée ou produite dans des conditions supposées identiques et constituant une unité ayant des caractéristiques présumées uniformes* ».

Le lot de compost final correspond à un lot de déchets verts entrants qu'il est fortement recommandé de matérialiser sous la forme d'un andain séparé des autres et de maintenir identifié tout au long du processus, en suivant son évolution. C'est la **gestion par lot**. Son principal intérêt est d'avoir une « traçabilité » du produit fabriqué au cours de sa transformation de déchet en compost. Il est possible ainsi de relier les caractéristiques du produit final à la qualité des déchets entrants et aux différentes opérations et événements qu'ils ont subis au cours du traitement.

Ce procédé est incompatible avec une juxtaposition des andains sous la forme d'un seul énorme andain « tabulaire » qui ne permet pas de distinguer les différents lots au cours du compostage (voir I.2.1.2g page 22). Ce mode de gestion suppose donc de disposer de suffisamment de place sur la plate-forme de compostage et donc d'avoir bien dimensionné l'installation, y compris l'aire de stockage du compost en attente d'écoulement.

I.3.2 Les étapes du compostage

Le compostage des déchets verts comporte quatre étapes décrites ci-après.

I.3.2.1 Réception et stockage des déchets verts

Sur une aire accessible aux camions et camionnettes, les déchets verts doivent être :

- réceptionnés sur la plate-forme,
- triés en vue d'une séparation des impuretés (verre, plastiques, métaux, déchets toxiques ...),
- stockés avant broyage.

❶ Avant dépotage sur la plate-forme

A chaque apport, l'exploitant relève le volume ou le poids sur un bordereau et identifie le véhicule, ainsi que la nature et l'origine des déchets verts. Il constate la présence ou l'absence de corps étrangers et accepte ou refuse le contenu du véhicule. **Son rôle est déterminant :**

- d'une part, il doit être suffisamment ferme pour que les producteurs et collecteurs prennent l'habitude de ne pas mélanger impuretés et déchets verts,
- d'autre part, il doit être compréhensif et bien expliquer l'incidence néfaste de quelques "intrus" sur la qualité du compost.

Le taux d'impuretés est déterminant pour la qualité du produit final ; les lots de déchets verts comportant des teneurs élevées en sable, plastiques ..., tels que les feuilles mortes aspirées sur la voirie, les déchets issus de pépinières, serres, cimetières ou accotements routiers, peuvent faire l'objet d'un compostage "à part" ou être évacués vers un centre de stockage d'ordures ménagères (avec l'effet dissuasif d'un coût de facturation plus élevé).

❷ Après dépotage au sol

L'exploitant étale les déchets verts à l'aide du chargeur, afin de déceler et écarter les "indésirables" avant broyage :

- grosses pierres ou objets métalliques qui usent et cassent les marteaux,
- bouteilles en verre, godets et sacs en plastique qui se fragmentent au cours du broyage et se retrouvent dans le compost,
- emballages contenant des déchets toxiques (désherbants, pesticides ...),
- autres déchets non biodégradables...

❸ Le stockage avant broyage

Si le stockage des feuilles mortes, des branches et grosses tailles ne pose pas de problème particulier, celui des tontes de gazons doit absolument être évité car source de mauvaises odeurs.

La gestion des apports de tontes de gazon mérite donc une attention particulière.

Deux méthodes peuvent être préconisées :

⇒ **l'une avec constitution d'un stock de matériaux d'aération en hiver.**

Les feuilles, grosses tailles et branches d'élagage sont stockées en vrac, ou après broyage, pendant l'hiver. Au fur et à mesure de leur arrivée au printemps, les tontes sont mélangées à ces déchets stockés. Le ratio "produit carboné / tontes de gazon" est en général compris entre 1 volume de tontes de gazon pour 2 volumes de broyat (ou 1 pour 3). Cette méthode nécessite de l'espace sur l'aire de compostage.

⇒ **l'autre sans stock carboné.**

Les tontes sont déposées en couches minces sur les andains y compris ceux ayant déjà plusieurs semaines de compostage (les tontes de gazons sont des déchets rapidement dégradables) ou incorporées, avec ou sans traitement préalable. Cette méthode atteint néanmoins ses limites lorsque l'on dépose des tontes de gazons sur des andains déjà assez tassés, riches en eau et en azote. Un prétraitement mécanique des tontes de gazon améliore sa fluidité et son aération : le passage par exemple dans une dessileuse agricole, un épandeur à fumier ou un retourneur permet de décompacter les tontes trop tassées.

Bien sûr, le dépôt de tontes de gazons sur un andain déjà constitué depuis plusieurs semaines fait partie de l'historique du lot concerné et doit donc faire l'objet d'un relevé sur la fiche de ce lot.

I.3.2.2 Le broyage, les mélanges et la mise en andains

C'est avec le broyage que se constitue le lot et qu'un dossier va devoir être ouvert pour consigner toutes les informations relatives à ce lot jusqu'à la vente du compost correspondant.

La granulométrie du mélange, le défibrage du bois, le rapport C/N et l'humidité sont les éléments à prendre en compte pour assurer un mélange homogène et se placer dans les meilleures conditions pour le compostage.

Le broyeur doit être alimenté régulièrement, par petites doses, de façon à permettre :

- d'identifier "à l'oreille" la chute d'objets lourds dans la trémie du broyeur,
- de bien mélanger les différentes catégories de déchets.

Après broyage, les produits transportés sur l'aire de fermentation forment des andains. La taille et la forme des andains sont conditionnées par :

- les dimensions de l'unité de compostage,
- le mode et le type de matériel utilisé pour les retournements (tambour vertical, horizontal ou chargeur).

Pour réduire les manœuvres et optimiser le rapport "surface occupée/surface totale", il est conseillé de façonner les andains aussi longs que possible.

I.3.2.3 Retournements et arrosages

Rappelons que le compostage se décompose en deux phases : la fermentation et la maturation. Durant ces deux phases, les besoins en oxygène et en eau évoluent.

A. Les retournements

Selon les règles de l'art, les retournements sont déclenchés lorsque la teneur en oxygène descend au cœur des andains (en dessous de 5 à 8 %). Dans la pratique, ils s'effectuent souvent à intervalles réguliers (1 fois/mois, 1 fois/semaine...) alors que la consommation d'oxygène par les micro-organismes est très variable. Elle est maximale quelques jours après la mise en andains et décroît dans le temps.

Le nombre de retournements varie :

- selon le type de matériel :
 - | 5 à 15 avec un retourneur spécifique,
 - | 3 à 8 avec un chargeur ;
- d'une saison à l'autre (retournements plus nombreux quand la proportion de tontes de gazon est plus importante).

Après trois mois de fermentation, l'activité biologique exige moins d'oxygène ; les retournements peuvent être espacés et même stoppés.

B. Les arrosages

Le compostage s'accompagne d'une production de vapeur d'eau qui se dissipe dans l'atmosphère. Pour conserver des conditions optimales de compostage, il faut compenser ces pertes par un apport régulier d'eau, afin de maintenir le taux d'humidité du tas autour de 60%. C'est au cours des premières semaines que les pertes de vapeur d'eau sont les plus fortes et doivent être compensées par des arrosages réguliers.

Sur certains modèles de retourneurs, l'arrosage s'effectue à l'aide d'une rampe, ce qui assure une humidification optimale de l'ensemble de la masse en fermentation.

I.3.2.4 Le criblage / affinage et le stockage du compost

A. L'affinage dépend du débouché

Le criblage permet d'obtenir différentes qualités de compost, destinées à des usages variés.

Les mailles de criblage varient entre :

- 6 et 15 mm (composts fins),
- 20 à 30 mm (composts moyens),
- 40 à 50 mm (composts grossiers).

Il est donc conseillé de s'équiper de plusieurs grilles de criblage, pour diversifier les débouchés.

Un criblage a pour but d'écarter les morceaux grossiers mais aussi les dernières impuretés.

Pour les utilisateurs qui exigent une présentation visuelle irréprochable, le criblage peut être complété par une aspiration des plastiques, un tri densimétrique des éléments lourds (cailloux, verre) et un déferrailage (poulie magnétique). Une telle chaîne présente un caractère semi-industriel qui se justifie en amont d'une unité d'ensachage.

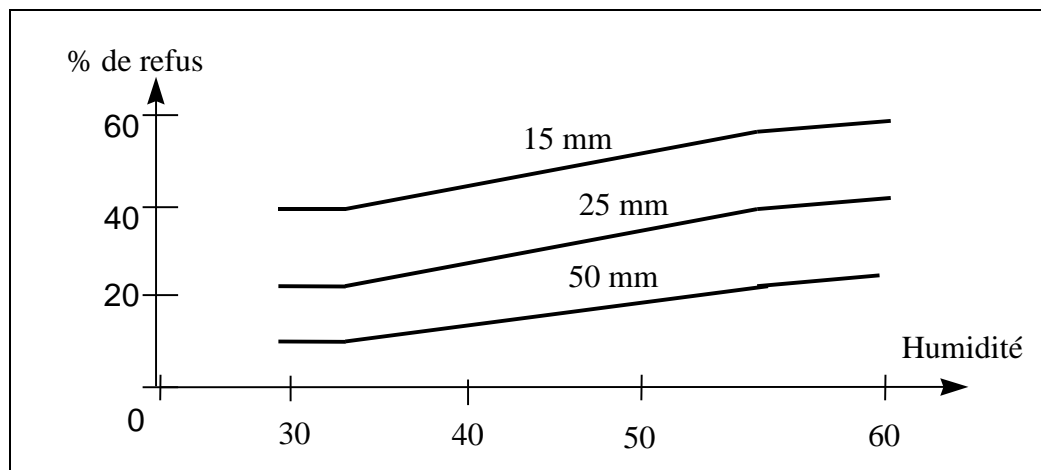
B. L'efficacité du criblage dépend de l'humidité du compost

L'efficacité du criblage varie selon :

- ✓ l'humidité du produit à tamiser ;
- ✓ la granulométrie désirée.

Les cribles ne fonctionnent pas correctement avec des composts dont l'humidité excède 45 à 50 % ; les refus sont très importants, et ce, d'autant plus que la maille de criblage est fine.

Graphique 15 : Proportion de refus selon la teneur en eau du compost et la maille de criblage



Source : TRIVALOR

Si, en cours de fermentation, l'arrosage régulier maintient le taux d'humidité autour de 60 %, celui-ci doit être inférieur ou égal à 40 % au moment du criblage. L'exploitant profitera des trois à six mois de maturation pour "ressuyer" le compost. A la belle saison, l'évaporation naturelle suffit. En hiver, pour diminuer l'humidité avant criblage, le compost peut être soit mis à l'abri sous un hangar, soit recouvert d'une bâche perméable à l'air.

La ventilation des andains (aération forcée) pourrait être envisagée mais elle est plus onéreuse.

C. La destination des refus

Suivant le taux d'impuretés dans les déchets verts (donc dans le compost à cribler), les refus de criblage seront :

- rebroyés et mélangés avec des produits frais (tontes de gazon, tailles vertes, éventuellement boues de station d'épuration ou les déchets de cuisine), après un éventuel tri des plastiques, cailloux...
- évacués et traités avec les ordures ménagères si les refus sont trop souillés par des impuretés (situation qui doit rester exceptionnelle).

D. Le stockage du compost criblé

La durée du stockage (donc la superficie à prévoir) dépend des usages du compost :

- quelques semaines pour un écoulement régulier auprès des industriels formulateurs ;
- quelques mois si les débouchés sont diversifiés (aménagement paysager, cultures spécialisées...);
- près d'un an si le compost est utilisé en grande culture (épandage après la moisson).

Il est recommandé de stocker le compost sous abri, car sinon les pluies entraînent, par ruissellement et lessivage, des particules fines et des éléments fertilisants solubles vers les bassins de rétention et il peut également être « ensemencé » par des graines de mauvaises herbes. Le compost s'humidifie et risque de ne pas atteindre le taux minimum de taux de matière organique sur brut exigé par la norme « amendements organiques ». Enfin, par temps sec, l'érosion éolienne peut provoquer des envols d'éléments fins de composts non abrités.

I.3.3 Le personnel, l'hygiène et la sécurité

I.3.3.1 Les besoins en personnel

Le compostage des déchets verts emploie en moyenne **une personne à plein temps pour 2 600 t/an** (ratio assez constant). Il est cependant possible d'atteindre 3 500 tonnes/emploi, sur une unité mécanisée de grande taille.

Le ratio emploi/tonnage entrant est légèrement inférieur dans le secteur privé.

Rapportées à 1 000 t de déchets verts réceptionnés, les durées d'utilisation des matériels d'une unité à l'autre (enquête nationale 1997) sont d'environ :

- 100 heures de broyage,
- 60 heures de retournement,
- 50 heures de criblage.

En dehors des tâches mécanisées, qui supposent l'emploi d'un conducteur d'engins qualifié, les agents d'exploitation ont des activités diversifiées :

- réception et contrôle des apports ;
- entretien des matériels ;
- tri manuel des impuretés à tous les niveaux de la chaîne, depuis la livraison jusqu'au criblage ;
- suivi journalier du compostage (relevé de la température et du taux de CO_2 ou O_2 , prélèvements pour la mesure du taux d'humidité et l'analyse physico-chimique du compost, réalisation de tests de phytotoxicité sur chaque lot ...)
- information auprès des utilisateurs potentiels de compost et de leurs prescripteurs et mise en place de parcelles de démonstration ;
- coordination des livraisons de compost ;
- information auprès des entreprises du paysage, des exploitants de déchetteries, des collecteurs de déchets verts et des services municipaux, pour limiter les impuretés.

Tableau 12 : Temps d'intervention par étape (en heures/an)

Quantité traitée (t/an)	1 500	6 000	10 000
Etape 1 : - réception	75	300	500
- tri	60	200	300
- information	75	250	300
Etape 2 : - broyage	150	600	800
- mise en andains	30	100	200
- entretien	30	100	150
- tri	60	200	400
Etape 3 : - retournement	75	360	500
- entretien	30	100	150
- suivi	30	100	150
- tri	30	100	200
Etape 4 : - criblage	75	300	400
- tri / nettoyage	75	250	400
- entretien	30	50	100
- écoulement	30	100	300
- relations publiques	30	100	150
Total	885	3 200	5 000
Nombre d'emplois	½ emploi	2 emplois	3 emplois

Sur les petites plates-formes, le poste main-d'œuvre pèse fortement dans le coût d'exploitation. Dans ce cas, un partenariat avec des entreprises agricoles ou la mise en commun de personnel avec d'autres structures méritent d'être recherchés.

A. La saisonnalité des travaux

Les travaux de tonte, ramassage des feuilles, tailles et élagages se répartissent au fil des saisons selon un planning assez régulier, avec un décalage pouvant atteindre un mois d'une année sur l'autre selon les conditions météorologiques.

Les quantités réceptionnées varient dans un rapport de 1 à 2, ce qui oblige à organiser le travail en conséquence sur les plates-formes de compostage.

Les besoins supplémentaires en main-d'œuvre peuvent être gérés en jouant la complémentarité au niveau d'un même syndicat (entre les compétences qu'il exerce) ou la synergie avec des installations voisines.

Les deux périodes critiques sont avril - juin et septembre - novembre :

- la première, en raison des flux importants de tontes de gazon difficiles à gérer seuls,
- la seconde, du fait du cumul des dernières tontes de gazons, des premières feuilles mortes et du début de l'élagage.

B. La formation du personnel d'exploitation

A l'heure actuelle, il n'existe pas de formation spécifique pour les métiers de responsable (niveau agent de maîtrise) et d'agent d'exploitation de plate-forme de compostage.

Les meilleures formations initiales sont celles de cariste ou technicien en machinisme agricole. Elles doivent être accompagnées d'une formation de base en microbiologie, pour bien comprendre les mécanismes du compostage et être capable d'intervenir au jour le jour afin de corriger les aléas climatiques, les variations de composition de déchets verts, la production d'odeurs...

Ces métiers requièrent :

- une certaine autonomie, car les plates-formes de compostage de déchets verts sont souvent séparées des autres services des collectivités ;
- des qualités relationnelles, pour dialoguer avec les livreurs de déchets verts, les utilisateurs de compost, les riverains ou les administrations ...

I.3.3.2 L'hygiène et la sécurité

A. Les conditions de travail

Le compostage des déchets verts est une activité de plein air, qui requiert pour les agents d'exploitation les mêmes précautions que sur un chantier agricole. A cela s'ajoutent deux mesures spécifiques :

- le port de protections individuelles contre le bruit, notamment à proximité du broyeur, le port d'un masque anti-poussière, en période estivale, pour éviter l'inhalation de particules fines contenant des champignons microscopiques.

B. La sécurité sur le chantier

L'activité n'est pas dangereuse si des précautions ont été prises à trois niveaux :

- les aires sur lesquelles évoluent le broyeur, le retourneur et le crible doivent être matérialisées par des lignes peintes sur le sol, avec un accès interdit pour toute personne étrangère à l'exploitation ;
- les bassins de décantation doivent être clos ;
- les organes mobiles des engins doivent être protégés par des carters, pour que leur accès en soit interdit quand les appareils sont en service. Le broyeur, le retourneur et le crible doivent être équipés d'arrêts "coup de poing" de chaque côté de la machine.

I.3.4 Suivi et conseils d'exploitation

L'ADEME a publié en octobre 1998 un classeur sur le **suivi d'une unité de compostage de déchets verts** auquel nous renvoyons le lecteur pour une présentation plus détaillée et documentée.

I.3.4.1 Le suivi d'une unité de compostage

Le suivi débute à la réception des déchets verts sur la plate-forme et s'achève à la livraison du compost, voire au champ. Il concerne les différentes opérations menées pour traiter les déchets verts mais également le processus biologique qu'il est possible de caractériser par des critères simples tout au long du cycle. **Le suivi nécessite la constitution de lots** qui regroupent l'ensemble des déchets verts traités par unité de temps (3 semaines à un mois en général). Voir I.3.1 Gestion par lots page 37.

Le lot est l'unité de produit que l'on va suivre et caractériser par des analyses et des mesures tout au long du processus. C'est la masse de produit dont une analyse est représentative.

La notion de qualité d'un produit est indissociable de la notion de lot. Aucun suivi digne de ce nom, aucune démarche qualité n'est possible sans la constitution et le maintien tout au long du processus de lots homogènes.

Pour élargir la notion de lot définie par l'arrêté du 8/12/1982 et citée en page **Erreur ! Signet non défini.**, on peut donc définir ici le lot comme une *quantité donnée de matières, précisément identifiée (un numéro peut par exemple lui être attribué), produite à une date donnée ou au cours d'une période donnée, selon des conditions de fabrication identiques, et dont la composition élémentaire peut être considérée à un moment donné comme égale en tout point.*

L'évolution de chaque lot (diverses informations techniques et résultats d'analyses) doit être méthodiquement consignée dans un **dossier** (papier ou informatique) qui lui est propre.

Le suivi par lots permet non seulement de satisfaire les exigences de la réglementation sur les aspects conformité, marquage et constance de composition, mais aussi d'opérer une **traçabilité** des composts dans la mesure où il est possible de mettre en regard un historique de l'évolution du lot (dossier) avec ses caractéristiques finales (analyse élémentaire du compost par exemple). Ainsi un déficit de maturité peut être lié à un manque d'arrosages, des pluies trop abondantes, une insuffisance de retournements, un déséquilibre C/N au départ ...

Une telle gestion par lots permet d'apporter des garanties aux utilisateurs du compost. Elle est un élément de l'image positive de l'installation. Elle facilite les relations avec l'administration et ses contrôles éventuels.

Une unité ----- <i>Le lot</i>	Un outil ----- <i>Le dossier</i>	Une notion ----- <i>La traçabilité</i>
Quantité donnée de matières, précisément identifiée (un numéro peut par exemple lui être attribué), produite à une date donnée ou au cours d'une période donnée, selon des conditions de fabrication identiques, et dont la composition élémentaire peut être considérée à un moment donné comme égale en tout point.	Document qui garde la mémoire de chaque lot (origine, composition, date des interventions de broyage, retournement, arrosage, analyses physico-chimiques, normes de CO ₂ et O ₂ , destination du compost, problèmes rencontrés...).	Image du cheminement suivi par le lot de déchets de sa réception jusqu'à l'utilisation finale du compost correspondant. Le dossier est l'outil de la traçabilité.

A. Méthode et fréquence des prélèvements et analyses

A la mise en service d'une plate-forme et en "régime de croisière", la fréquence des analyses n'est pas la même. **Un suivi de tous les paramètres du compostage, pendant au moins un an, est nécessaire pour acquérir une bonne maîtrise du procédé**, bien connaître les variations saisonnières et trouver les meilleures solutions pour répondre aux problèmes rencontrés. L'acquisition d'un savoir-faire est indispensable ; elle passe par des observations, des diagnostics in situ, qu'il convient de "caler" par les mesures objectives des différents paramètres. Le "tour de main" s'acquiert ainsi plus rapidement.

C'est par exemple la conjonction d'une observation attentive du produit et de la mesure de son taux d'humidité qui permettra à l'exploitant d'évaluer à terme celui-ci, de manière empirique mais avec une précision suffisante, sans passer par le biais de l'analyse de laboratoire.

Au fil des années, le suivi peut être moins poussé, en dehors d'aléas justifiant à nouveau le recours à la mesure d'un grand éventail de paramètres (afflux des tontes de gazons au printemps, problème de départ en fermentation, de nuisances olfactives...).

Les prélèvements d'échantillon sont effectués en utilisant la méthode d'échantillonnage décrite dans le document « suivi d'une unité de compostage des déchets verts » publié par l'ADEME en octobre 1998.

B. Le suivi régulier au démarrage de l'exploitation

Au cours de la période d'apprentissage, **toutes** les étapes du compostage doivent faire l'objet d'un suivi.

La caractérisation du mélange mis en fermentation

Trois aspects seront suivis régulièrement :

- la composition du substrat (origine et quantité de déchets verts par nature) ;
- le rapport C/N du mélange qui, très variable d'une saison à l'autre, peut être analysé une fois par mois ;
- l'observation visuelle de la granulométrie du broyat, qui devient de plus en plus grossière avec l'usure des marteaux.

Le suivi des phases de fermentation et de maturation

L'arrosage, le retournement et éventuellement le bâchage des andains sont conditionnés par le contrôle du taux d'humidité, du taux d'oxygène (ou de gaz carbonique) et de la température (Tableau 13).

L'évolution du produit au cours de la dégradation de la matière organique est suivie depuis le broyage jusqu'au criblage et se trouve consignée en résumé dans le dossier.

Tableau 13 : Objectifs et fréquence des analyses en cours de fermentation et maturation

Type de mesure	Fréquence d'analyse	Objectif
Humidité	Hebdomadaire à mensuelle (suivant les précipitations)	Maintien d'une humidité optimale
Oxygène ou gaz carbonique	Journalière au printemps (tontes de gazon) Hebdomadaire en fermentation Mensuelle en maturation	Maintien d'une aération suffisante
Température	Bi-hebdomadaire	Suivi de l'hygiénisation

Le suivi du compost

En fin de cycle, on prélève un échantillon **par lot** pour caractériser le compost :

- évaluation de la maturité du compost, par mesure du rapport C/N et observation de son évolution au cours du temps ou par dosage des formes d'azote minéral (rapport $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$) ;
- contrôle de la phytotoxicité (test du cresson) ;
- mesure du taux de matière organique, de la valeur fertilisante (N, P, K...).

En outre, la norme NFU 44 051 (amendements organiques) impose l'analyse, au moins tous les 6 mois, des teneurs en 10 éléments traces métalliques.

C. Le suivi en régime de croisière

Après la période d'apprentissage, la fréquence des prélèvements et analyses va diminuer pour certaines opérations. Pour d'autres cependant, le suivi doit rester régulier :

- température pour garantir l'hygiénisation du compost,
- analyse physico-chimique et test de phytotoxicité sur chaque lot de compost.

Les autres mesures seront ponctuelles (les conditions d'exploitation devenant difficiles) :

- l'analyse des teneurs en O_2 ou CO_2 peut être utile quand il y a de gros apports de tontes de gazon, mais un opérateur expérimenté peut facilement se passer de ces analyses.
- analyses de l'humidité (avant et après arrosage).

D. Les matériels de mesure

Sur une plate-forme de taille moyenne, les matériels nécessaires au suivi sont les suivants :

- pour le taux d'humidité :
 - étuve de petite capacité (environ 50 l),
 - balance de précision (5 kg) ;
- pour l'aération : lecteur du taux de CO_2 ou O_2 ;
- pour les températures : sonde de 1,5 m de longueur et thermomètre ;
- pour l'identification des lots : des affichettes comportant un numéro, la date de constitution de l'andain, le nombre de retournements, l'arrosage ...

Le classeur de « suivi d'une unité de compostage de déchets verts » réalisé et publié par l'ADEME (référence 2967 - octobre 1998) présente les différentes opérations de suivi et de contrôle ainsi que de nombreuses fiches pratiques pour mettre en œuvre le suivi.

I.3.4.2 Conseils pour éviter les accidents

A. Suivre le rapport C/N

Le suivi régulier du rapport C/N présente un triple intérêt :

☞ *Avant compostage, afin de caractériser les matériaux et d'optimiser le mélange initial. En général, un rapport C/N de 30 à 50 est adéquat en début de cycle. Un déséquilibre peut toutefois perturber la réaction biologique :*

- Lorsque le C/N est trop élevé, la décomposition des résidus organiques est lente (carbone difficilement consommable). Une correction peut être apportée en mettant momentanément à l'écart le bois broyé ;
- Lorsque le C/N est trop bas, les dégradations sont en revanche très rapides. Le produit, plus compact, présente moins d'espaces lacunaires. L'oxygène est plus difficile à maintenir à un taux suffisant et les risques de perte d'azote par lessivage ou par volatilisation apparaissent. L'addition de bois broyé (stocké en hiver) ou de refus de compostage riches en fibres ligneuses permet de rétablir l'équilibre.

☞ *En cours de compostage, le carbone consommé par les micro-organismes est pour partie transformé en gaz carbonique (CO_2) : le suivi de la diminution progressive du rapport C/N est un très bon indicateur de l'activité biologique (en l'absence de pertes d'azote).*

☞ *En fin de cycle, un compost est considéré comme mûr quand le rapport C/N se situe entre 15 et 20. S'il reste trop élevé, du fait d'une insuffisance de maturité, les micro-organismes du compost mobilisent l'azote du sol au détriment des plantes pour achever la dégradation de la matière carbonée (phénomène de "faim d'azote").*

B. Suivre la teneur en eau

L'excès d'humidité asphyxie les tas, ce qui se traduit par des fermentations anaérobies et des dégagements d'odeurs putrides. Il peut être efficacement corrigé par la couverture des andains (abri ou bâche perméable à l'air), et dans une moindre mesure par un retournement des tas, qui évacue les excédents hydriques sous forme de vapeur d'eau.

En revanche, le déficit en eau réduit les échanges et ralentit l'activité des micro-organismes. Il peut être compensé par des arrosages périodiques.

C. Conserver la chaleur

Pour conserver sa chaleur, une masse de végétaux en cours de compostage doit avoir une taille suffisante, assurant une auto-isolation ; un tas trop petit perd vite sa chaleur ; il est recommandé d'avoir une hauteur d'andain supérieure à 1,5 m.

Le retournement du compost stimule l'activité des micro-organismes, ce qui favorise l'augmentation de la température ; l'ajustement de la fréquence des retournements permet le maintien d'une température optimale.

D. Problèmes d'odeurs ?

Le compostage des déchets verts à l'air libre reste un procédé rustique soumis aux aléas climatiques. De ce fait, même avec de très bonnes conditions d'exploitation, le "zéro odeur" n'existe pas, mais on peut combattre les nuisances olfactives par une bonne maîtrise du processus biologique et une oxygénation suffisante des matières en fermentation. Pour ce faire, il faut :

- ✓ ajuster la fréquence des retournements en fonction de la teneur en oxygène (ou en gaz carbonique) dans les andains ;
- ✓ stocker les matières en fermentation sur des hauteurs inférieures ou égales à 2,5 mètres, pour éviter la formation de zones mal aérées, ce qui sous-entend de disposer de superficies suffisantes pour la fermentation et la maturation ;
- ✓ mélanger immédiatement les déchets humides et compactés déjà partis en fermentation avec un support d'aération (bois broyé ou refus de compostage) ;
- ✓ curer régulièrement et éventuellement couvrir les fosses ou bassins de décantation (dépôt de boues riches en matières organiques putrescibles).

II. TROUVER ET PERENNISER UN DEBOUCHE AU COMPOST

Le compost est un amendement organique qui, contrairement à un engrais, agit sur le long terme. Son action porte sur les propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol.

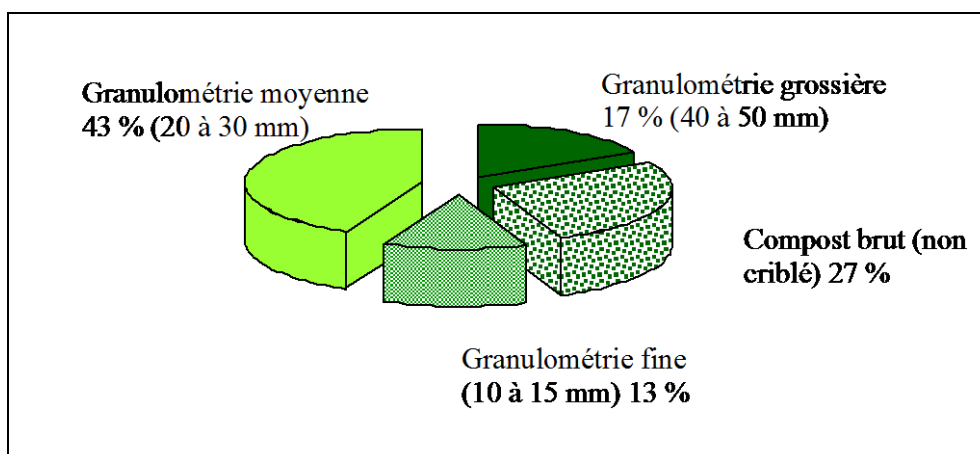
L'intérêt et les caractéristiques spécifiques du compost de déchets verts en font un produit souvent bien accueilli par les utilisateurs d'amendements organiques. Des conseils pratiques méritent d'être dispensés pour favoriser l'usage d'un produit qui peut être présenté sous divers conditionnements, avant de conclure sur les prix pratiqués et ceux des matières concurrentes.

II.1 Les atouts agronomiques du compost végétal

II.1.1 Composition

A l'issue d'un cycle de production qui dure de 6 à 10 mois, l'exploitant peut tamiser le compost brut et élaborer une gamme de produits répondant à des besoins différents.

Graphique 16 : Granulométrie des composts produits sur 39 sites en France



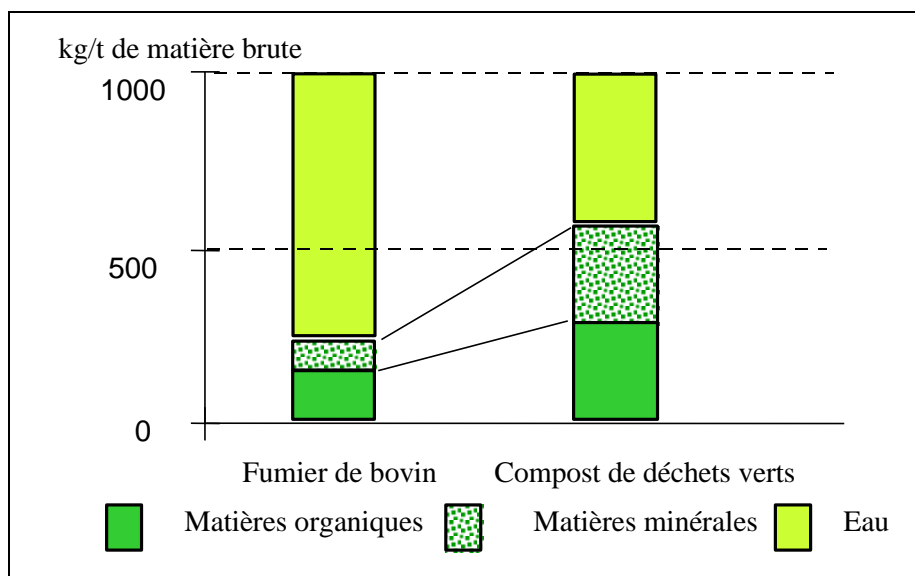
Source : Enquête nationale 1997

La composition des composts varie en fonction de la maille de criblage, de leur âge et de leur teneur en eau.

II.1.2 Intérêt agronomique

La composition d'un compost de déchets verts mûr, de granulométrie fine à moyenne, a des caractéristiques comparables, du point de vue agronomique, à l'amendement traditionnel de référence qu'est le fumier de bovin. Le compost de déchets verts est cependant plus concentré en substances pré-humiques et en éléments fertilisants, du fait de son origine ligneuse dominante et de sa teneur élevée en matière sèche.

Graphique 17 : Teneur en eau, matières organiques et matières minérales du fumier et du compost



A masse égale, le compost de déchets verts comprend deux fois plus de matières organiques que le fumier de bovin. Les teneurs en éléments fertilisants et en calcium sont aussi beaucoup plus importantes (Tableau 14).

Tableau 14 : Teneur en éléments fertilisants du fumier et du compost

En kg/t (sur masse brute)	Fumier de bovin	Compost de déchets verts
Azote total (NTK)	2,5 à 6	8 à 10
Phosphore (P ₂ O ₅)	1 à 4	1 à 4
Potasse (K ₂ O)	3 à 8	5 à 10
Calcium (CaO)	2 à 5	20 à 100
Magnésium (MgO)	0,5 à 2	2 à 4

La composition physico-chimique des composts de déchets verts leur confère les propriétés suivantes :

- amendement organique (valeur humique),
- amendement calcique (effet pH sur les sols acides),
- engrais organique (nutrition des plantes).

Les composts de déchets verts peuvent aussi être incorporés dans des supports de culture.

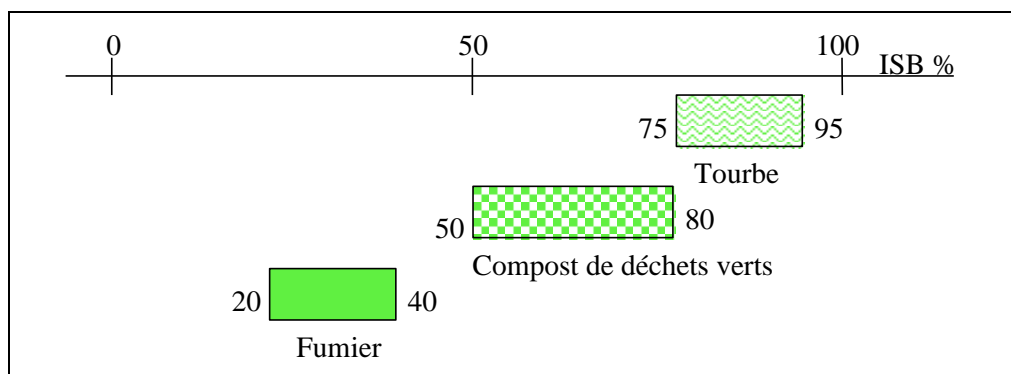
A. Valeur humique

La valeur humique d'un produit s'apprécie traditionnellement en agronomie par le « coefficient isohumique », qui représente le pourcentage de matière organique qui, au terme de l'évolution du produit dans le sol, se transforme en humus. Cet indicateur est particulièrement long à obtenir (nécessité d'essais au champ pendant huit à dix ans). Récemment, des méthodes plus simples ont été mises au point fournissant chacune un indicateur représentatif du potentiel humique du produit. Il s'agit de l'Indice de Stabilité Biologique (ou ISB) - méthode développée par l'INRA - et de la Caractérisation Biochimique de la Matière organique (CBM) - mesure dérivée de la méthode INRA, mais simplifiée par le laboratoire de la SADEF - Pôle d'Aspach (Alsace). Ces deux méthodes sont en cours de normalisation.

Un produit à fort potentiel humique fournit beaucoup d'humus stable à un sol et dynamise durablement sa vie microbienne. Les propriétés mécaniques et physiques des sols s'en trouvent également améliorées. A ces divers titres, le compost de déchets verts présente une valeur humique bien supérieure à celle du fumier (Schéma 3).

En revanche, le fumier présente une action rapide à court terme que ne possède pas le compost de déchets verts, car il est riche en substances rapidement biodégradables dont la décomposition dans le sol dynamise instantanément et fortement la vie microbienne. Le compost de déchets verts, du fait d'une longue durée de compostage (6 à 10 mois), présente sur ce plan une action moins spectaculaire et plus différée.

Schéma 3 : Indice de Stabilité Biologique (ISB) de plusieurs produits



L'humus exerce en effet une action favorable sur les sols en modifiant certaines de leurs caractéristiques fondamentales. Il contribue notamment à :

- ✓ stimuler durablement l'activité biologique,
- ✓ améliorer la stabilité structurale (meilleure portance),
- ✓ améliorer la capacité de rétention en eau (moindre sensibilité à la sécheresse),
- ✓ améliorer l'aération,
- ✓ améliorer la capacité d'échange cationique (meilleures circulation et disponibilité des éléments fertilisants).

En outre, sa composition et son caractère fibreux confèrent au compost, appliqué en couche superficielle à raison de 4 à 5 cm d'épaisseur, les qualités d'un produit permettant de lutter contre l'érosion (vignobles, accotements routiers et autoroutiers...).

B. Valeur calcique

Le compost de déchets verts se distingue aussi du fumier par sa teneur très élevée en calcium (exprimée en CaO) et peut se comporter comme un amendement calcique. L'épandage de 40 t/ha de compost fournit de 1 000 à 2 500 kg de CaO, ce qui, théoriquement, doit permettre d'entretenir ou de redresser, selon les fréquences d'apports, le pH d'un sol acide.

Cet effet potentiel, avant d'être revendiqué sur un plan commercial, exige d'être confirmé par un test d'incubation en laboratoire, en conditions contrôlées, avec un témoin synthétique (chaux agricole éteinte). Les modalités opératoires de ce test sont en cours de normalisation. Des essais au champ sont également envisageables mais les délais de réponse sont plus longs.

C. Valeur « engrais organique »

Les teneurs en éléments majeurs (N, P, K) sont comparables à celles du fumier de bovin. Toutefois, si une grande partie du potassium contenue dans le compost est utilisée par la plante, dans l'année, ce n'est pas le cas du phosphore et encore moins de l'azote dont la vitesse de minéralisation est lente et la disponibilité faible : moins de 5 % de la quantité apportée est utilisable l'année de l'épandage (voir encadré ci-après). Une autre source d'engrais azoté est donc à rechercher si les besoins de la plante l'exige. Cette faible disponibilité présente en revanche l'intérêt de minorer les fuites intempestives de nitrates, même en cas de doses élevées d'apport.

Suivi agronomique du compost de déchets verts

réalisé par la Chambre d'Agriculture du Maine-et-Loire :

Résultats au bout de six ans

Au bout de six années d'essai de plein champ financé et suivi par l'ADEME depuis 1992, l'utilisation d'un compost de déchets verts sur une monoculture de maïs a mis en évidence les résultats suivants :

- l'apport de 10 t/ha de compost satisfait totalement les besoins annuels en phosphore et potasse d'une culture de maïs dans un sol sableux (suppression envisageable de la fumure minérale en P et K) ;
- 2 à 5 % seulement de l'azote total apporté sont minéralisés et utilisés par la culture au cours d'une année ; tout se passe comme si le compost apporté « était » déjà de l'humus. Une fertilisation azotée complémentaire est donc nécessaire ;
- les apports réguliers (chaque année) sont préférables aux apports groupés (tous les deux à quatre ans, par exemple) ; cela évite les à-coups dans la fourniture d'azote minéralisé ;
- la teneur en matière organique du sol n'a pas augmenté de façon significative en six ans ; l'impact du compost s'apprécie donc sur le long terme ;
- Le compost de déchets verts est un substrat carboné très stable qui contribue très peu à la minéralisation tout en enrichissant le compartiment stable de carbone du sol.

D. Valeur « support de culture »

Le compost de déchets verts peut entrer à hauteur de 25 à 30 % en volume en mélange avec certains supports de culture. En revanche, il ne doit jamais être utilisé pur, en raison d'une salinité élevée et d'une capacité de rétention en eau un peu faible. L'intégration de composts de déchets verts dans les supports de culture permet de réduire l'utilisation de tourbe, dont l'extraction minière porte atteinte à des milieux biologiques riches et fragiles, non renouvelables à l'échelle humaine. La France importe l'essentiel de la tourbe qu'elle consomme (trois millions de m³/an). Le compost de déchets verts, en tant que ressource locale, peut réduire sensiblement ces importations.

Toutefois, les supports de culture sont des produits très spécialisés et à forte technicité. Des essais menés avec des professionnels du secteur sont nécessaires pour valider et référencer les mélanges nouveaux à base de déchets verts. Remarquons enfin que les professionnels de l'horticulture recourent souvent à une désinfection de leurs substrats par voie thermique ou chimique pour éviter tout risque de contamination par des moisissures, des bactéries, des graines de mauvaises herbes....

En conclusion, on retiendra que :

Un compost de déchets verts	
est	n'est pas
<ul style="list-style-type: none">• un amendement organique qui enrichit le sol et renforce le taux d'humus ;• un matériau de lutte contre l'érosion, utilisable par exemple dans certains vignobles et sur les accotements routiers ;• une fumure potassique et phosphatée, qui apporte autant qu'un fumier de bovin ;• potentiellement un amendement calcique (à vérifier par un test).	<ul style="list-style-type: none">• un support de culture à utiliser pur, car ses caractéristiques chimiques et hydriques sont limitantes : faible disponibilité en eau, forte salinité, pH basique. Mais il donne de bons résultats s'il est utilisé en mélange à hauteur de 25 ou 30 % (en volume);• un activateur instantané et puissant de la vie biologique du sol, en raison de la durée élevée de compostage ;• un engrais azoté, à action rapide (minéralisation très lente de l'azote).

II.2 Les débouchés du compost

L'étude précise des débouchés du compost a été présentée dans le chapitre III.2 (« Etapes d'une étude de faisabilité »), paragraphe 2 (« Identifier les débouchés potentiels et définir les types de compost à produire »). Ces éléments sont considérés comme acquis dans le présent chapitre. Après avoir présenté les domaines actuels d'utilisation des composts de déchets verts, on examinera les points à satisfaire vis-à-vis des utilisateurs pour pérenniser les débouchés.

II.2.1 Les usages du compost de déchets verts

Les composts de déchets verts sont utilisés dans de nombreux domaines à des granulométries et des degrés de maturité différents.

Tableau 15 : Domaine d'utilisation et caractéristiques des composts

	Maturité	Granulométrie
Agriculture - grandes cultures - maraîchage - arboriculture - viticulture	mûr ou demi-mûr mûr mûr mûr ou demi-mûr	moyenne fine moyenne avant plantation fine en entretien moyenne avant plantation grossière en entretien
Horticulture / pépinière	mûr	moyenne
Revégétalisation - carrières - décharges - pistes de ski - infrastructures	mûr	moyenne pour engazonnement fine pour plantations
Collectivités	mûr	moyenne pour engazonnement fine pour plantations moyenne à grossière si usage en paillis de surface (« mulchs »)
Particuliers	mûr	fine

L'enquête nationale (sur 44 sites) et une enquête en Rhône-Alpes (sur 23 sites) font apparaître que l'écoulement du compost de déchets verts est assez diversifié (Tableau 16), mais s'appuie sur deux utilisations dites "de masse" :

- la grande culture,
- les aménagements paysagers (matériau de couverture de décharge notamment).

Ces débouchés pour un produit grossier, voire brut, représentent entre 70 et 75 % des 100 000 t qui ont fait en 1996 l'objet d'une enquête statistique. Les services municipaux et les particuliers réclament en revanche des composts fins, assez rarement conditionnés en sacs.

Tableau 16 : Principales destinations des composts de déchets verts en 1996

	Rhône Alpes	Enquête nationale
Grandes cultures et cultures spécialisées	27 %	38 %
Collectivités/services techniques municipaux	15,5 %	16 %
Particuliers	4 %	15 %
Fabricants d'amendements	5,5 %	31 %
Entreprises du paysage et revégétalisation	48 %	

Exemples d'utilisation du compost de déchets verts

(extraits du guide de l'utilisation des déchets organiques en végétalisation)

Utilisation du compost de déchets verts en plantation d'arbres et d'arbustes

Le compost de déchets verts est très bien adapté aux diverses techniques de plantation. Dans pratiquement tous les cas, il faudra disposer d'un compost très évolué et ne pas réaliser les plantations dans le produit pur (salinité pouvant être élevée). Ce type de compost ne présente aucun risque sanitaire pour les personnes le manipulant.

Le compost de déchets verts peut aussi être utilisé en **mulch** de surface (= paillage de surface) à des doses élevées (500 à 800 m³/ha). Dans ce cas, on utilisera un compost grossier. Outre les rôles classiques d'un mulch (attrition des adventices, régulation hydrique et thermique, protection contre l'érosion), il assurera un apport d'entretien en éléments nutritifs et en humus tout au long de sa dégradation, à très long terme.

Les procédures de reconstitution de sols à partir de substrats inertes nécessitent généralement des doses d'application importantes (jusqu'à 800 m³/ha). Dans le cas d'un apport comme amendement organique de complément sur « terre végétale », les doses d'apport sont moindres (50 à 300 m³/ha ou 5 à 30 l/m²).

Pour une mise en œuvre manuelle, plus la granulométrie du compost sera fine, plus le produit sera facile à utiliser (éléments grossiers gênant dans de petits volumes). On cherchera parfois à utiliser un produit grossier pour agir sur la macrostructure d'un substrat très sensible à la dégradation physique. Ce produit sera généralement appliqué et enfoui mécaniquement si la surface à traiter le permet.

Utilisation du compost de déchets verts pour l'enherbement

Les apports sont réalisés en surface, généralement sans incorporation. Les doses d'apport vont de 100 à 300 m³/ha. Plus le compost est grossier, moins il sera sensible à l'érosion, qu'elle soit gravitaire, éolienne ou par action du ruissellement. En effet, les éléments de bois, grossiers, auront un rôle de protection des fines. Ainsi, les composts de déchets verts utilisés en apport de surface sur des pentes raides auront été criblés à une maille suffisamment grossière (>20 mm).

En ce qui concerne les pelouses d'agrément et de terrains de sport ou de jeu, seule l'utilisation de compost de déchets verts criblé à une maille fine (<10 mm) est envisageable pour éviter tout risque de blessure avec les éléments grossiers, mais également pour des raisons esthétiques.

II.2.2 Comment fidéliser des utilisateurs ?

Il convient en premier lieu de répondre aux attentes techniques des utilisateurs : le compost de déchets verts doit satisfaire des besoins agronomiques nettement formulés, ainsi que cela a été précisé ci-dessus. Mais il faut aussi veiller à être irréprochable sur un certain nombre d'autres points qui participent à la confiance de l'utilisateur dans le produit proposé.

A. Le respect de la réglementation « matières fertilisantes »

Les matières fertilisantes regroupent plusieurs produits qu'il importe de bien connaître pour appréhender correctement les réglementations s'y rapportant. Elles comprennent les amendements organiques d'une part et les engrais d'autre part.

Les composts de déchets verts entrent dans la catégorie des amendements organiques, et peuvent être mis sur le marché s'ils répondent aux exigences de la norme NFU 44 051.

Les amendements organiques sont définis comme des matières fertilisantes composées principalement de combinaisons carbonées d'origine végétale, fermentées ou fermentescibles, destinées à l'entretien ou à la reconstitution du stock de la matière organique du sol.

La norme liste des types avec leur dénomination (notamment le type « compost végétal » bien adapté au compost de déchets verts) et pour chacun des définitions et spécifications dont le mode d'obtention, les composants essentiels, le pourcentage minimal de matière organique en masse sur produit brut (20 % pour le compost végétal) et sur produit sec (30 %), le rapport maximal matière organique/azote organique (55) et le pourcentage maximal en masse sur matière sèche d'azote total (3 %).

Elle impose une obligation de marquage, que les produits soient livrés en sacs (étiquettes) ou en vrac (bordereau d'accompagnement) : huit indications sont obligatoires dont les teneurs en matière organique, en azote total et la masse du produit brute; quatre sont facultatives.

La norme exige aussi le respect de tolérances (arrêté du 16 juin 1980), c'est à dire d'écarts admissibles entre la valeur moyenne ou minimale trouvée à l'analyse et la valeur déclarée, afin de tenir compte des variations dues à la fabrication, à l'échantillonnage et à l'analyse. Cette variation s'apprécie toujours sur le produit à l'état brut et non sur matière sèche. Dans le cas des amendements organiques, la tolérance est égale à :

- ✓ 10 % pour la teneur en matière organique, avec un maximum de 3 ;
- ✓ 10 % pour la teneur en azote total, avec un minimum de 0,2.

Les tolérances ne peuvent être mises à profit systématiquement. Les valeurs annoncées doivent être centrées sur les valeurs moyennes mesurées. Il n'y a pas de tolérances sur les teneurs minimales ou maximales fixées dans les normes ou dans la réglementation.

La norme précise que " les producteurs ou importateurs doivent, au moins tous les six mois et lors de toute modification dans l'origine ou la nature de leurs matières premières, procéder à l'analyse des teneurs en Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Se, Zn, As et Mo (...). Ils doivent également « procéder régulièrement à des prélèvements et des examens en vue d'évaluer les risques pouvant résulter de la présence éventuelle de germes pathogènes pour l'homme et les animaux et de substances phytotoxiques pour les cultures ». Ils doivent enfin « tenir les résultats à disposition de l'administration ». Cependant, la norme, dans sa version actuelle, ne fixe pas de teneurs limites pour les éléments traces métalliques.

Cette norme apparaît aujourd'hui vétuste pour plusieurs raisons :

- ✓ Aucune dénomination spécifique n'existe pour les composts issus de la collecte sélective des biodéchets ménagers en mélange (déchets verts et déchets de cuisine). Ils se trouvent donc logés à la même enseigne que les composts urbains « ancienne génération » de bien piètre réputation aujourd'hui ;
- ✓ L'efficacité fertilisante n'est que médiocrement appréciée. L'aptitude à fournir du carbone stable (paramètres ISB ou CBM) et le potentiel de minéralisation de l'azote, voire du phosphore et du potassium mériteraient d'être renseignés ;
- ✓ L'absence de critères environnementaux (éléments traces métalliques, contaminants chimiques ou physiques, agents microbiologiques, tests de phytotoxicité ou maturité).

Une révision est en cours depuis 1999. Elle ne devrait pas aboutir avant fin 2001 voire 2002.

B. Écolabel européen et démarches volontaires

Pour apporter aux utilisateurs une garantie de qualité, les composts peuvent faire l'objet d'une certification ou d'une labellisation, si le producteur en fait la demande (démarche volontaire). Le label écologique européen applicable aux amendements pour sols et délivré par l'AFNOR a été adopté en 1994 par la CEE et révisé en 1998.

S'il est jugé trop ambitieux par de nombreux professionnels, ses promoteurs (en particulier des agriculteurs biologiques) le considèrent comme un réel gage de qualité. Notons qu'il inclut, outre des valeurs limites pour 11 éléments traces métalliques (Tableau 17), des valeurs limites pour les salmonelles (absence dans 25 g) et pour *Escherichia coli* (< 1000 NPP/g).

Tableau 17 : Teneur moyenne du compost de déchets verts en éléments traces métalliques et comparaison avec les teneurs limites de l'écolabel européen
Valeurs en mg/kg MS

ETM	Teneur moyenne	Écolabel européen
Cadmium (Cd)	1,4	1
Chrome (Cr)	46	100
Cuivre (Cu)	51	75
Mercure (Hg)	0,5	1
Nickel (Ni)	22	50
Plomb (Pb)	87	100
Sélénium (Se)	1,1	1,5
Zinc (Zn)	186	300
Molybdène (Mo)	-	2
Arsenic (As)	-	10

Fluor (F)	-	200
-----------	---	-----

Au delà des développements réglementaires et normatifs, les producteurs de composts peuvent s'engager dans des démarches qualité volontaires en partenariat étroit avec " l'aval " (utilisateurs du composts, IAA, grande distribution) et " l'amont " (qualité des déchets).

Notons que plusieurs régions françaises ont mis en place une charte de qualité pour garantir à la fois la qualité de l'amendement fabriqué et le bon déroulement du processus de compostage (Ile-de-France, Rhône-Alpes).

C. L'absence de tout soupçon sur la qualité du compost

L'opinion publique et certains utilisateurs suspectent souvent de façon systématique, les produits dérivés de déchets. Ces présomptions ne sont fondées sur aucun argument agronomique ou sanitaires sérieux.

Des suivis de longue durée, validés par l'Institut National de la Recherche Agronomique (INRA), ont montré l'innocuité de ces composts sur le sol, les plantes, les animaux et l'homme. Il apparaît en effet que :

- les risques liés à la présence des métaux-traces sont du même ordre de grandeur dans un compost de déchets verts et dans un fumier ;
- ceux liés à la présence de micropolluants organiques provenant d'hydrocarbures, de substances organochlorées, de pesticides ... sont négligeables ; la réalisation d'un test de phytotoxicité permet de déceler un éventuel accident (test du cresson par exemple, simple à réaliser sur la plate-forme pour chaque lot) ;
- les risques sanitaires sont quasiment supprimés grâce à la montée en température, à condition que l'ensemble de la masse en fermentation ait atteint une température de 60° C minimum pendant au moins quatre jours¹. Cette condition est largement satisfaite dans des installations de compostage correctement gérées.

D. Un compost de qualité constante

La constance de composition est un atout sérieux vis à vis des utilisateurs du compost. L'obligation de respecter les tolérances instituées par la réglementation apporte une certaine garantie de ce point de vue.

Cette régularité de composition est favorisée par la mise en place de consignes d'exploitation, répétées à l'identique pour chaque lot de composts (ratios de mélange, durée de compostage, nombre et fréquences des retournements, suivi analytique et régulation de la siccité, criblage).

E. Des stocks toujours disponibles

Pour satisfaire certains clients, les exploitants doivent parfois stocker le compost sur de longues durées :

- jusqu'à un an pour la grande culture,
- livraison de gros volumes sur des périodes courtes pour des aménagements routiers.

¹ Cette prescription est une exigence de la norme « amendement organique » pour le type « compost urbain »

Les exploitants doivent prendre des précautions au moment du broyage pour atténuer les variations saisonnières de composition (teneur en azote élevée au printemps et faible en hiver) en opérant une gestion différée des déchets ligneux de l'hiver (voir page 38).

F. Une présentation visuelle irréprochable

Le compost ne doit pas contenir d'impuretés, ce qui suppose :

a) Un contrôle des produits entrants

Le broyage et les retournements fragmentent les impuretés contenues dans les déchets verts (verre, plastiques ...), lesquelles ne sont pas écartées au tamisage et se retrouvent dans le compost.

Pour fabriquer un compost de qualité, l'exploitant doit refuser certains lots de matières brutes souillées et retirer les corps étrangers aux différents niveaux d'intervention (avant broyage, après chaque retournement, au criblage...).

b) Un revêtement du sol

En enrobé ou en béton, il est nécessaire pour ne pas altérer le compost avec de la terre ou des graviers. Un tel revêtement devrait s'imposer compte tenu de l'obligation qui sera sans doute bientôt inscrite dans la réglementation (arrêté-type de déclaration préfectorale de la rubrique 2170) de faire des aires étanches.

G. Une information soutenue et des actions promotionnelles

D'une manière générale, les utilisateurs potentiels connaissent mal les atouts des composts de déchets verts. Les exploitants des plates-formes, le plus souvent chargés des débouchés, doivent donc se rapprocher des prescripteurs locaux (Chambre d'Agriculture, coopératives agricoles, syndicats horticoles ou centres techniques...) et lancer des actions d'information et de formation à dominante technique et non commerciale, afin de lever les "doutes". Les hésitations proviennent essentiellement d'une carence en analyses du produit et en conseils d'utilisation et d'une méconnaissance des effets sur les sols et les cultures.

Les actions commerciales à privilégier peuvent revêtir différentes formes (journées portes ouvertes, articles dans la presse locale, prix dégressif selon les quantités de compost achetées, vente en déchetterie...).

Le développement de services concernant la livraison, le « rendu racine » etc. est susceptible aussi de favoriser l'utilisation des composts.

Tableau 18 : Fidéliser des utilisateurs de compost : exemples d'attentes commerciales et d'actions de promotion

	Conditionnement	Attentes spécifiques	Promotion
Grande culture	Vrac	Conseils pour ajuster la fertilisation Prix faible à nul (inférieur au fumier) Epannage "rendu racine"	Distribution gratuite Prix dégressifs Analyse de sol
Viticulture	Vrac	Compost exempt d'impuretés Epannage "rendu racine" Information des techniciens spécialisés (ITV)	
Maraîchage Cultures légumières	Sac de 50 à 80 l Vrac	Suivi : microbiologique teneur en éléments traces Visite chez les producteurs de compost	
Arboriculture	Sac de 50 l Big-bag	Visite chez les producteurs de compost Essais culturaux Analyses commentées par des spécialistes	
Revégétalisation		Régularité d'approvisionnement des chantiers	
Pépinières, Horticulture, Services techniques municipaux	Sac de 50 l Vrac	Compost inodore, exempt d'impuretés Analyses régulières Granulométrie variable	Prix dégressif
Agriculture biologique	Vrac	Suivi : micro-polluants organiques et métalliques Agrément ECOCERT Garanties sur l'origine des végétaux	Utilisation de réseaux internes
Particuliers	Sac de 20 à 80 l	Conseils et précautions d'utilisation Granulométrie fine Identité du compost (marque) Absence d'impuretés Accès à la plate-forme	Journées portes ouvertes Presse locale Foire locales
Formulateurs	Vrac	Taux élevé de matières organiques Granulométrie fine Faible salinité Absence d'impuretés Analyses régulières Contractualisation pluri-annuelle	Prix dégressif

II.2.3 Des prestations complémentaires

- L'épannage "rendu racine" est un service demandé par les céréaliers et les viticulteurs qui ne disposent plus d'épandeur. Il suppose un partenariat avec des entreprises spécialisées, des CUMA...
- Des conditionnements variés : l'exploitant pourra élargir le champ des possibilités de vente du compost en proposant des services "à la demande" :
 - ✓ livraisons à domicile y compris pour les petites quantités (véhicule utilitaire + remorque),
 - ✓ mise en sacs de grande capacité ("big-bag") pour les professionnels.

La formulation sur site (enrichissement de terre végétale, mélange à de la tourbe...) est peu répandue. Elle répond à des besoins spécifiques (aménagements urbains...) développés par certains exploitants de plates-formes (paysagistes, entreprises de travaux publics...), bien introduits auprès de milieux professionnels utilisateurs.

La désinfection, à la vapeur par exemple, est une façon de garantir, pour certains usages sensibles, un produit absolument indemne de contamination biologique.

II.3 Les prix du compost de déchets verts et des matières concurrentes

Le compost de déchets verts est un produit récent, encore peu connu sur le marché des amendements organiques.

Sa fabrication est géographiquement très dispersée et ses multiples utilisations correspondent à des niches territoriales délimitées. Sans parler réellement de « prix de marché », sa valeur marchande peut être estimée à 60 - 90 F/t, compte tenu de sa composition physico-chimique et des tarifs actuellement pratiqués pour les engrais commerciaux.

II.3.1 Les matières concurrentes

Pour les professionnels, le compost de déchets verts se substitue :

- le plus souvent à des fumiers (coût de l'ordre de 20 F/t en grande culture),
- à des écorces ou autres matériaux de lutte contre l'érosion (150 et 250 F/t en viticulture, maraîchage, aménagement ...),

Dans le cas des particuliers, horticulteurs, pépiniéristes et des services espaces verts des villes, le compost de déchets verts s'utilise seul ou en mélange avec d'autres composants. Il remplace le plus souvent des produits commerciaux, vendus en vrac (500 à 1 000 F/t) ou en sacs (1 000 à 2 000 F/t).

II.3.2 Le compost de déchets verts

En 1996, le prix moyen de vente du compost était de 80 F/t, prix départ plate-forme.

Cette moyenne cache de grands écarts :

- ✓ écoulement difficile à valeur zéro, sur certaines plates-formes : secteurs où aucune véritable démarche commerciale pour faire connaître le compost de déchets verts n'a encore été réellement engagée, notamment dans certaines régions agricoles où les surfaces d'épandage sont réduites (montagne, bocage...);
- ✓ vente en vrac entre 50 et 200 F/t auprès de particuliers et d'entreprises ;
- ✓ vente en direct en sacs auprès des particuliers et des entreprises à des prix plus élevés, entre 400 et 600 F/t.

Sur une plate-forme de compostage de déchets verts, les quantités produites justifient difficilement l'acquisition d'une unité d'ensachage. Mais la mise à disposition de sacs, sur la plate-forme ou sur une déchetterie, en vue d'un remplissage manuel par l'utilisateur lui-même est envisageable.

III. INVESTIR ET EQUILIBRER LES COMPTES

Pour le maître d'ouvrage ou son délégataire, l'économie du compostage trouve son équilibre entre :

- d'une part, les charges (amortissement du matériel et de l'infrastructure et frais d'exploitation...);
- d'autre part, les recettes (facturation des apports sur la plate-forme, subventions, prestations extérieures et vente du compost...).

De données récentes fournies par les collectivités et les entreprises sur 51 sites de compostage en France, émergent des repères économiques moyens assez fiables.

Sur la base de ces éléments, deux simulations économiques ont été établies en prenant des unités de taille très différente, traitant :

- 1 500 t/an, avec du matériel autonome ou du matériel de location,
- 10 000 t/an, avec une hypothèse basse et une hypothèse haute, selon le degré d'équipement.

III.1 Les montants d'investissement

En général, on sépare les investissements relatifs au génie civil, qui s'amortissent sur de longues durées, et ceux qui concernent les matériels, avec des durées d'amortissement courtes, pour certains matériels très sollicités (broyeur).

III.1.1 Le génie civil

On peut évaluer les coûts d'investissements de génie civil de deux manières :

☞ *A partir de coûts unitaires*

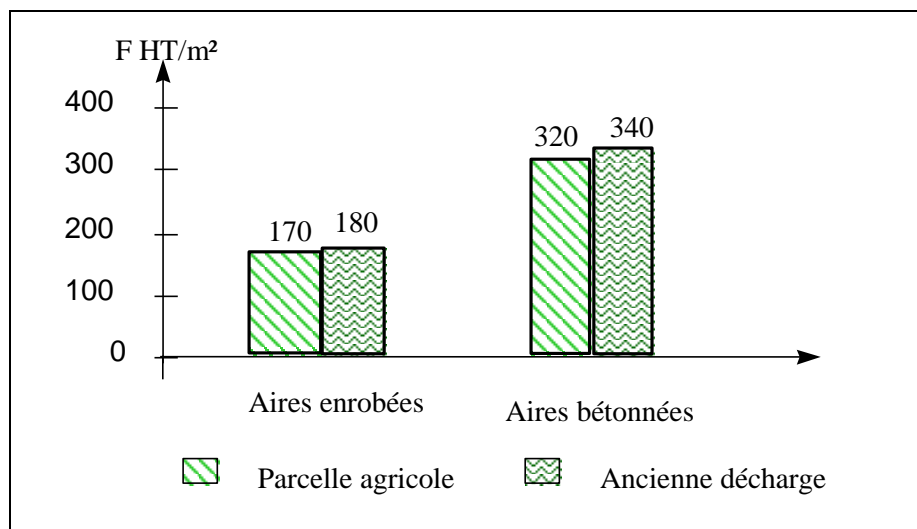
Enrobé	120 à 180 F/m ²	Système d'arrosage :	15 000 à 25 000 F
Béton	150 à 250 F/m ²	Portail :	10 000 à 15 000 F
Hangar	1 500 F/m ²	Pont bascule :	250 000 à 300 000 F
Bassin de décantation	200 à 300 F/m ³	Réseaux : très variable selon la distance de raccordement	
Clôture et aménagements		Voirie/accès :	0 à 500 000 F
Paysagers	100 à 150 F/ml		

Ces fourchettes de prix sont des ordres de grandeur, établis à partir de consultations d'entreprises du secteur du BTP.

☞ *De façon globale, en les rapportant à la superficie aménagée (hors espaces verts) et en utilisant les résultats de l'enquête nationale sur 51 sites.*

Les coûts moyens présentés dans le graphique ci-après englobent les superficies à l'air libre et couvertes, les réseaux et la voirie, les bassins de décantation et les clôtures.

Graphique 18 : Montant total des infrastructures par m² aménagé



Source : Enquête nationale 1997

Selon le type de revêtement, les différences de coût au m² sont très élevées, avec un net avantage financier en faveur des "enrobés" (170 F/m² contre 320 F/m² pour les aires bétonnées). Lorsque la construction est réalisée sur une ancienne décharge, la stabilisation du sol augmente légèrement le coût au m².

Selon les contraintes locales, des travaux supplémentaires doivent être prévus :

- imperméabilisation du sol en zone humide,
- couche de grave plus épaisse et fondations spéciales sur des sols mal stabilisés.

III.1.2 Les matériels

On a retenu des fourchettes de prix extraites de l'enquête nationale et de consultations auprès des principaux fabricants et distributeurs.

Il s'agit de repères devant être utilisés avec prudence car ils ne prennent pas en considération :

- les enjeux techniques et économiques locaux (acquisition d'un retourneur automoteur pour mieux lutter par exemple contre les odeurs et optimiser la surface de l'unité) ;
- les souhaits de l'exploitant (acquisition d'un broyeur ou d'un crible mobile pour offrir des prestations à l'extérieur de l'unité).

Pour chiffrer un projet, il convient donc d'interroger divers distributeurs sur la base d'un cahier des charges précis.

Tableau 19 : Les coûts mini et maxi selon la taille des unités (en milliers de F HT)

		Taille des unités (en tonnes/an)	
		1 500	10 000
Broyeur	Maxi	450	1 600
	Mini	100	700
Retourneur	Maxi	500	1 500
	Mini	150	600
Chargeur	Maxi	300	800
	Mini	100	300
Crible	Maxi	400	1 500
	Mini	250	400
Total	Maxi	1 650	5 400
	Mini	600	2 000

Source : Enquête nationale 1997

Alors que les matériels spécifiques sont achetés neufs sur la plupart des sites, cela ne se justifie pas toujours pour les chargeurs, épandeurs et tracteurs agricoles en-dessous de 2 500 à 3 000 t/an.

III.1.3 L'investissement global

Tableau 20 : Investissements globaux en F HT pour des unités de 1 500 et 10 000 t/an
(hors achat du terrain)

	1 500 t/an		10 000 t/an	
	Hypothèse		Hypothèse	
	basse ⁽¹⁾	haute ⁽²⁾	basse	haute
Aires de compostage en enrobé	250 000	250 000	1 100 000	1 300 000
Hangar	100 000	100 000	300 000	450 000
Bassins de décantation	40 000	40 000	150 000	300 000
Arrosage	10 000	10 000	25 000	25 000
Clôture, portail, aménagements	80 000	80 000	140 000	200 000
Locaux pour le personnel	50 000	50 000	60 000	100 000
Voirie, réseaux, distribution	60 000	60 000	225 000	525 000
Sous-total génie civil	590 000	590 000	2 000 000	2 900 000
Broyeur	location	300 000	800 000	1 000 000
Chargeur ⁽³⁾	150 000	150 000	700 000	800 000
Retourneur	150 000	150 000	400 000	700 000
Crible	location	250 000	400 000	700 000
Petit matériel	10 000	10 000	100 000	100 000
Sous-total matériel	310 000	860 000	2 400 000	3 300 000
Investissement - en F HT	900 000	1 450 000	4 400 000	6 200 000

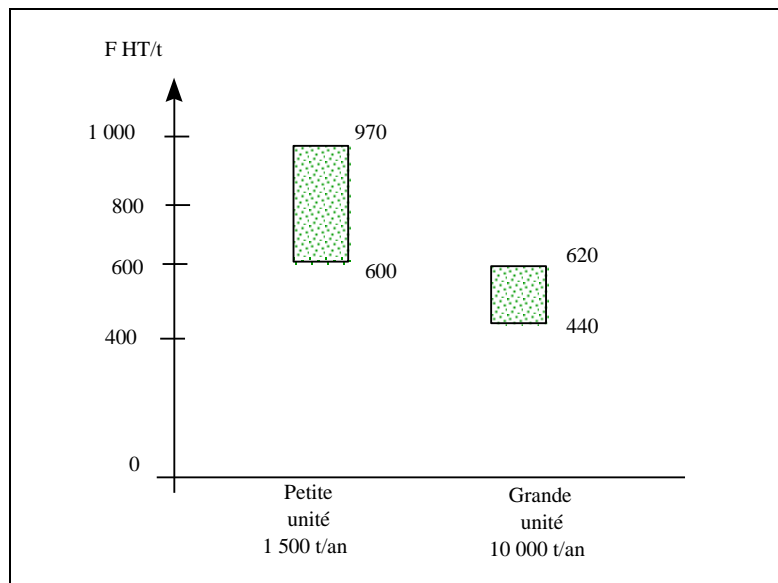
⁽¹⁾ Matériels loués.

- en F HT/tonne traitée/an	600	970	440	620
----------------------------	-----	-----	-----	-----

Sur la base du dimensionnement présenté précédemment, le montant des investissements varie :

- de 900 000 à 1 450 000 F HT pour une plate-forme de 1 500 tonnes/an ;
- de 4 400 000 à 6 200 000 F HT pour une unité de 10 000 tonnes/an.

Graphique 19 : Investissement en F HT rapporté à la quantité traitée chaque année



Dans le cas où la collectivité achète son propre matériel, il ressort un incontestable effet d'échelle en faveur des unités de grande taille. En revanche, les investissements peuvent être notablement comprimés pour les petits projets si le maître d'ouvrage tente de valoriser les opportunités locales : utilisation d'engins agricoles existants et d'équipements réformés (ancienne stabulation...), location du matériel rendant le compostage décentralisé compétitif...

III.2 Les coûts de traitement

Ils comprennent :

- l'amortissement des équipements ;
- les coûts d'exploitation :
 - ✓ l'entretien des matériels (pièces d'usure, petites ou grosses réparations),
 - ✓ les consommables (lubrifiants, carburants, eau, électricité...),
 - ✓ la main-d'œuvre,
 - ✓ les frais divers (impôts et taxes, analyses, gestion, taxe professionnelle, assurances, élimination des refus de compostage...).

III.2.1 L'amortissement des équipements

III.2.1.1 *Les durées techniques d'amortissement des équipements*

À mi-chemin **entre les activités agricoles / artisanales et industrielles**, le compostage des déchets verts s'amortit :

- - entre 5 et 7 ans pour les matériels (plutôt 5 ans pour le broyeur et le retourneur très sollicités),
- - entre 10 et 15 ans pour le génie civil.

L'amortissement, qui devrait être fonction de la durée de vie des équipements, dépend des critères suivants :

- - la durée du contrat qui lie la collectivité et l'exploitant privé (5 à 10 ans le plus souvent) ;
- - l'évolution des matériels (rapide pour les broyeurs et les retourneurs, lente pour les autres appareils) ;
- - l'obsolescence du matériel, due à la montée en puissance des installations.

III.2.1.2 *Le montant des remboursements d'emprunts*

Dans les deux simulations, on a retenu pour hypothèse un remboursement d'annuités calculé sur la base d'un emprunt à 6 %, couvrant la totalité des investissements (hors subvention).

Tableau 21 : Annuités d'amortissement pour des unités de 1 500 à 10 000 t/an

	1 500 t/an		10 000 t/an	
	Hypothèse		Hypothèse	
	basse ⁽¹⁾	haute ⁽²⁾	basse	haute
Génie civil (6 % sur 12 ans)	70 000	70 000	240 000	350 000
Matériels (6 % sur 5 ans)	73 000	204 000	570 000	780 000
Total	143 000	274 000	810 000	1 130 000
- en F/an				
- en F/tonne (arrondi)	95	185	80	115

⁽¹⁾ Matériels loués.

⁽²⁾ Matériels acquis.

Sur les unités de grosse capacité, le montant des annuités d'amortissement se situe autour de 100 F/t. En revanche, le poids des investissements est beaucoup plus sensible sur les petites unités ; le mode d'organisation sera alors déterminant. Il reste dans les mêmes ordres de grandeur qu'une unité de forte capacité en cas de location de matériels coûteux à l'achat.

Le montant des aides publiques permet de comprimer les annuités d'amortissement. Elles sont très variable d'un département à l'autre. Celles de l'ADEME sont attribuées si certaines conditions sont

respectées : cohérence avec le plan départemental, intercommunalité, intégration du projet dans un plan global de gestion des déchets, programmation d'un suivi de l'exploitation et de la qualité du compost.

Leur incidence est significative sur les unités de petite taille, où la part des annuités est élevée.

D'après les résultats de l'enquête, le montant des subventions, ramené à la tonne et amorti sur la durée de vie des équipements, se situe entre 12 et 70 F HT/tonne entrante.

III.2.2 Les coûts d'exploitation

Les simulations économiques, réalisées pour une petite et une grande plate-forme, ne font apparaître aucune marge bénéficiaire, à laquelle peut pourtant prétendre un exploitant privé (de 10 à 25 % du montant total du marché). Les postes les plus sensibles sont la main-d'œuvre et les annuités d'amortissement.

Tableau 22 : Coût d'exploitation pour des unités de 1 500 et 10 000 t/an (en F HT/t)

	1 500 t/an		10 000 t/an	
	Hypothèse		Hypothèse	
	basse ⁽¹⁾	haute ⁽²⁾	basse	haute
Entretien	15	35	35	35
Consommables	10	10	10	10
Main d'œuvre	50	90	50	70
Location broyeur	60	0	-	-
Location crible	25	0	-	-
Gestion ⁽³⁾	35	35	35	35
Total	195	170	130	150

⁽¹⁾ Matériels loués.

⁽²⁾ Matériels acquis.

⁽³⁾ Impôts, taxes, frais commerciaux, assurances, suivi

Si on tient compte des aides publiques qui atteignent en général 50 % du montant des investissements, les coûts globaux du compostage des déchets verts sont de l'ordre de 200 à 250 F/tonne, parfois moins lorsque le maître d'ouvrage profite d'opportunités locales (location de broyeur, reprise d'une friche...). Les frais supportés par la collectivité sont parfois nettement inférieurs si on tient compte des recettes diverses liées à la vente du produit final et à la facturation de prestations de services.

III.3 Les recettes

Pour équilibrer son compte d'exploitation, le gestionnaire public ou privé d'une unité de compostage dispose de trois sources de recettes qui sont, par ordre d'importance décroissante : la facturation des apports, les ventes de compost et les prestations de service.

III.3.1 La facturation des apports

C'est l'essentiel de la rémunération du gestionnaire de la plate-forme de compostage.

D'après les résultats de l'enquête nationale, l'économie du compostage de déchets verts repose principalement sur ce poste (70 à 90 % des recettes).

L'exploitant facture les dépôts entre 150 et 300 F HT/t. Cette variation est due :

- **à la taille de l'unité de compostage** (coût de traitement moindre pour les unités de grande capacité) ;
- **aux investissements réalisés** (variables selon les contraintes environnementales, le statut des matériels loués ou acquis ...).
- **à la durée du contrat d'exploitation** (montant des annuités de remboursement inversement proportionnel à la durée).

La facturation varie également en fonction des autres recettes, celles notamment liées à la vente du compost.

III.3.2 Les ventes de compost

Sur une trentaine de plates-formes, l'enquête nationale a fait ressortir que le prix moyen de vente du compost est de 80 F HT/t, toutes granulométries confondues.

Cette recette représente en moyenne 12 % des coûts de traitement, soit 30 F HT/t de déchets entrants. Elle varie d'un site à l'autre, selon les facilités d'écoulement du compost et les efforts commerciaux déployés par l'exploitant.

III.3.3 Les prestations de service

Certaines entreprises et collectivités équipées louent leur matériel à l'extérieur (broyeur, crible), ce qui permet d'amortir des équipements lourds sur un nombre d'heures supérieur d'utilisation.

Une entreprise qui double la durée d'utilisation de son broyeur et de son crible en louant ces deux matériels réalise une économie d'environ 25 F/t de déchets verts sur le poste "amortissement".

Il appartient au gestionnaire de la plate-forme de compostage d'ajuster le montant de la facturation des apports nécessaires à l'exploitation (70 à 90 % des produits financiers), en fonction des recettes "annexes" que sont les ventes de compost et les prestations de services.

III.4 En conclusion

Un bilan réalisé auprès de 41 unités de compostage de déchets verts révèle que les coûts de traitement par compostage sont inversement proportionnels aux tonnages traités.

Hors subvention, ils s'établissent ainsi :

- - de l'ordre de 400 F HT/t pour des unités de moins de 2 500 t/an ;
- - de l'ordre de 300 F HT/t pour des plates-formes de 2 500 à 6 000 t/an ;
- - de l'ordre de 230 F HT/t pour des plates-formes de plus de 6 000 t/an.

Même si les subventions permettent de réduire les coûts de traitement de 12 à 70 F/t de déchets verts traitée, l'économie d'échelle reste sensible. En milieu rural, les unités de taille modeste se justifient toutefois dans un objectif de limitation des coûts de transport.

Ces coûts de traitement ne comprennent ni les recettes liées aux prestations de services réalisées à l'extérieure de la plate-forme de compostage, ni celles liées à la vente du compost. Commercialisé en moyenne 80 F/t de compost, la vente correspond à un gain de l'ordre de 30 F/t entrant sur l'unité, soit 12 % en moyenne du coût du compostage.

INDEX

Les références renvoient au numéros de page

A

aération forcée	39, 40, 44, 52, 53, 102
aires de compostage	91, 94
aires de stockage / broyage	45, 48 , 49, 76 , 77 , 78 , 79
amendement organique	6, 33, 112, 118, 121
amortissement	130
Analyses physico-chimiques / composition	113, 120
arrosages	101
atouts agronomiques	112

B

bilan matière	31, 91, 92
boues de stations d'épuration	17, 39
broyage	19, 30 , 32, 50, 58, 71, 72, 75, 76, 77, 80, 81 , 82, 100
broyats de déchets verts	15, 16
broyeurs	81 , 82, 130
brûlage à l'air libre	9, 11, 13

C

Caractérisation Biochimique de la Matière organique	114
chargeurs	85, 89
collecte au porte-à-porte	73
communication	62
compactage des déchets verts	75
Composition physico-chimique du compost	113, 120
compostage accéléré	52
compostage en mélange	38
compostage individuel	18
compostage lent	52
Coût du compostage	129
criblage	31 , 50, 58, 77, 88 , 89, 97, 101 , 102 , 112
cribles	88, 89

D

débouchés du compost	117
déchets ligneux	17, 30, 48, 78
déchetterie	19, 42, 48, 71, 72, 76, 78, 80, 81, 122, 124
démarche qualité	6, 33, 36, 106
Dimensionnement des matériels / de l'infrastructure	52, 81, 90

E

eaux de ruissellement	33, 43, 44, 94, 95
écologique européen	120
éléments traces métalliques	120
emploi	103
épandage direct du broyat de déchets verts	15
espaces verts	8, 64
étapes du compostage	30, 98
étude de faisabilité	40
évaluation des flux	40, 64
Exploitation (description/conseils)	98

F

fermentation	24 , 28 , 32, 85, 100, 102, 108
flux mobilisables de déchets verts en France	74

G	
granulométrie.....	27, 83, 112, 117
H	
humidité.....	26, 91, 92, 97, 101, 108, 110
hygiénisation.....	15, 16, 109
I	
incinération des déchets verts	14
Indice de Stabilité Biologique.....	114
installations classées	56
M	
matériels.....	81
matériels de mesure	109
matières fertilisantes	41, 57, 98, 119
maturation.....	25, 28 , 32, 100, 102, 108
maturité.....	108, 117
méthanisation.....	17
montage juridique	55
mulch	118
N	
nuisances et pollutions	43
O	
odeurs	16 , 33, 40, 44 , 53, 62, 72, 78, 93, 99, 110
P	
partenariat avec des agriculteurs	46
prestataires de services en France	51
prix de vente du compost.....	124
procédure administrative	56
R	
rapport C/N.....	26, 39, 109
réception des déchets verts	98
refus de criblage.....	31, 39, 102
retournement.....	31, 83, 84, 100
retourneurs d'andains.....	85
retourneurs d'andains.....	83, 84
S	
site de compostage.....	42
sous-dimensionnement	53, 93
suivi du processus /d'une unité.....	33, 106
T	
température	28
tontes de gazon	30, 38, 67, 70, 72, 85, 99
traçabilité	6, 54, 98, 106, 107
transport des déchets verts	45, 74
U	
utilisation du compost.....	117
V	
valorisation énergétique.....	16
variation de la production de déchets verts.....	67, 70
Végéterre	5, 6, 35

Liste des illustrations

Cartes

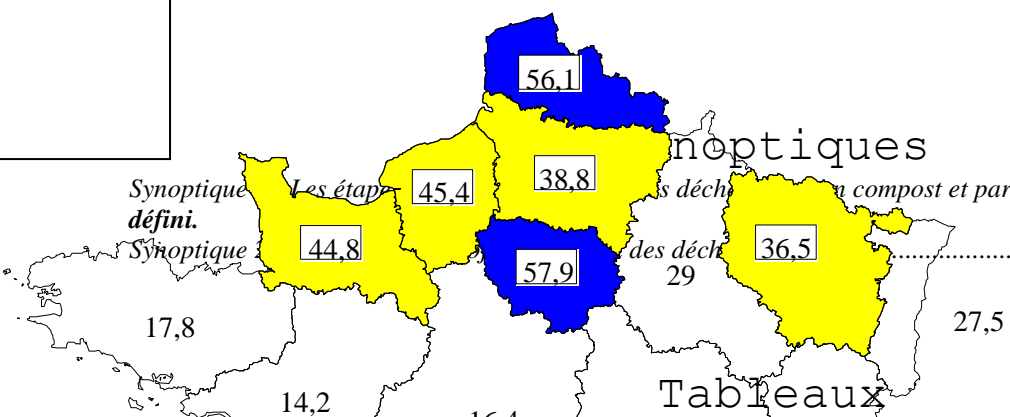
Carte 1 : Les prestataires de services en France.....	Erreur ! Signet non défini.
Carte 2 : Superficie des espaces verts publics de cinq grandes parties du territoire français.....	4
Carte 3 : Variations de production de déchets d'espaces verts publics par région.....	6

Graphiques

Graphique 1 : Les résidus issus de l'entretien des espaces verts et leurs caractéristiques	Erreur ! Signet non défini.
Graphique 2 : Les producteurs de déchets verts.....	Erreur ! Signet non défini.
Graphique 3 : Les déchets organiques en France (en millions de tonnes/an).....	Erreur ! Signet non défini.
Graphique 4 : Les déchets municipaux en France (en millions de tonnes/an).....	Erreur ! Signet non défini.
Graphique 5 : La destination des déchets verts municipaux en 1993.....	Erreur ! Signet non défini.
Graphique 6 : Évolution des besoins en oxygène	Erreur ! Signet non défini.
Graphique 7 : Les températures de la dégradation (en °C)	Erreur ! Signet non défini.
Graphique 8 : Bilan matière du compostage.....	Erreur ! Signet non défini.
Graphique 9 : La montée en puissance des unités de compostage	Erreur ! Signet non défini.
Graphique 10 : Durée indicative des contrats.....	Erreur ! Signet non défini.
Graphique 11 : Surface d'espaces verts publics selon la taille des communes du Calvados.....	5
Graphique 12 : Production de déchets verts municipaux selon la taille des villes.....	6
Graphique 13 : Fluctuations saisonnières.....	9
Graphique 14 : Répartition en tonnage des catégories de déchets verts (espaces publics)	9
Graphique 15 : Qualité des apports selon les modes de collecte	10
Graphique 16 : Apports en déchetterie selon la taille du bassin de vie.....	11
Graphique 17 : Part mobilisable des déchets verts	12
Graphique 18 : Évolution des coûts de transport des déchets verts	14
Graphique 19 : La surface de l'aire de stockage / broyage en fonction des performances du broyeur.....	18
Graphique 20 : Évolution des coûts de transport et de broyage	19
Graphique 21 : Les débits des broyeurs selon la puissance	21
Graphique 22 : Capacité de traitement des cribles selon la puissance	28
Graphique 23 : Superficie utile des aires de compostage suivant la capacité annuelle de traitement.....	33
Graphique 24 : Superficie à couvrir en fonction de la taille de l'unité de compostage	35
Graphique 25 : Proportion de refus selon la teneur en eau du compost et la maille de criblage	41
Graphique 26 : Granulométrie des composts produits sur 39 sites en France	51
Graphique 27 : Teneur en eau, matières organiques et matières minérales du fumier et du compost.....	52
Graphique 28 : Montant total des infrastructures par m ² aménagé.....	67
Graphique 29 : Investissement en F HT rapporté à la quantité traitée chaque année	69

Schémas

Schéma 1 : Le devenir des déchets verts et l'évolution des pratiques.....	Erreur ! Signet non défini.
Schéma 2 : Le cycle de la matière organique.....	Erreur ! Signet non défini.
Schéma 3 : Principe de la bio-oxydation de la matière organique.....	Erreur ! Signet non défini.
Schéma 4 : Les phases biologiques du cycle de compostage.....	Erreur ! Signet non défini.
Schéma 5 : Les étapes et les paramètres du compostage.....	Erreur ! Signet non défini.
Schéma 6 : Les étapes de la gestion des déchets verts.....	Erreur ! Signet non défini.
Schéma 7 : Les solutions possibles pour le compostage des déchets verts	Erreur ! Signet non défini.
Schéma 8 : Le principe de fonctionnement d'une aire de stockage/broyage.....	Erreur ! Signet non défini.
Schéma 9 : Schéma de principe d'une plate-forme	Erreur ! Signet non défini.
Schéma 10 : De la consultation des entreprises à la mise en service	Erreur ! Signet non défini.
Schéma 11 : Les délais pour faire aboutir un projet	Erreur ! Signet non défini.
Schéma 12 : La forme des andains selon le type de matériel	26
Schéma 13 : Modes de gestion des effluents.....	34
Schéma 14 : Indice de Stabilité Biologique (ISB) de plusieurs produits	53



Optiques

Synoptique des déchets verts en compost et paramètres à suivre **Erreur ! Signet non défini.**
 Synoptique des déchets 29 **Erreur ! Signet non défini.**

Tableaux

Erreur ! Signet non défini.

Tableau 1 : Les acteurs concernés par chaque étape du compostage..... **Erreur ! Signet non défini.**

Tableau 2 : Provenance et typologie des déchets verts 3

Tableau 3 : Production de déchets des déchets verts publics selon la nature des espaces 7

Tableau 4 : Les déchets verts mobilisables 13

Tableau 5 : Comparaison des techniques de traitement des déchets verts 15

Tableau 6 : Caractéristiques de l'État 21

Tableau 7 : Caractéristiques des matières 23

Tableau 8 : Impact des 25

Tableau 9 : 30

Tableau 10 : 31

Tableau 11 : 31

Tableau 12 : 32

Tableau 13 : 43

Tableau 14 : 47

Tableau 15 : 52

Tableau 16 : Données caractéristiques des composts 56

Tableau 17 : Principales destinations des composts de déchets verts en 1996 57

Tableau 18 : Teneur moyenne du compost de déchets verts en éléments traces métalliques et comparaison avec les teneurs limites de l'écolabel européen 59

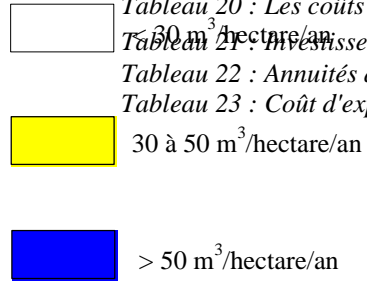
Tableau 19 : Fidéliser des utilisateurs de compost : exemples d'attentes commerciales et d'actions de promotion 62

Tableau 20 : Les coûts mini et maxi selon la taille des unités (en milliers de F HT) 68

Tableau 21 : Investissements globaux en F HT pour des unités de 1 500 et 10 000 t/an (hors achat du terrain)..... 68

Tableau 22 : Annuités d'amortissement pour des unités de 1 500 à 10 000 t/an 70

Tableau 23 : Coût d'exploitation pour des unités de 1 500 et 10 000 t/an (en F HT/t) 71



Source : CEMAGREF 1994