

**Diplôme d'études supérieures en sciences  
naturelles de l'environnement (DESSNE)**

# Gestion des déchets verts dans le canton de Genève :

Choix technologiques,  
aspects énergétiques et  
impacts environnementaux

Mémoire présenté par  
**Jérôme Faessler**

réalisé au centre universitaire d'étude des problèmes de l'énergie (cuepe)



# Buts du diplôme

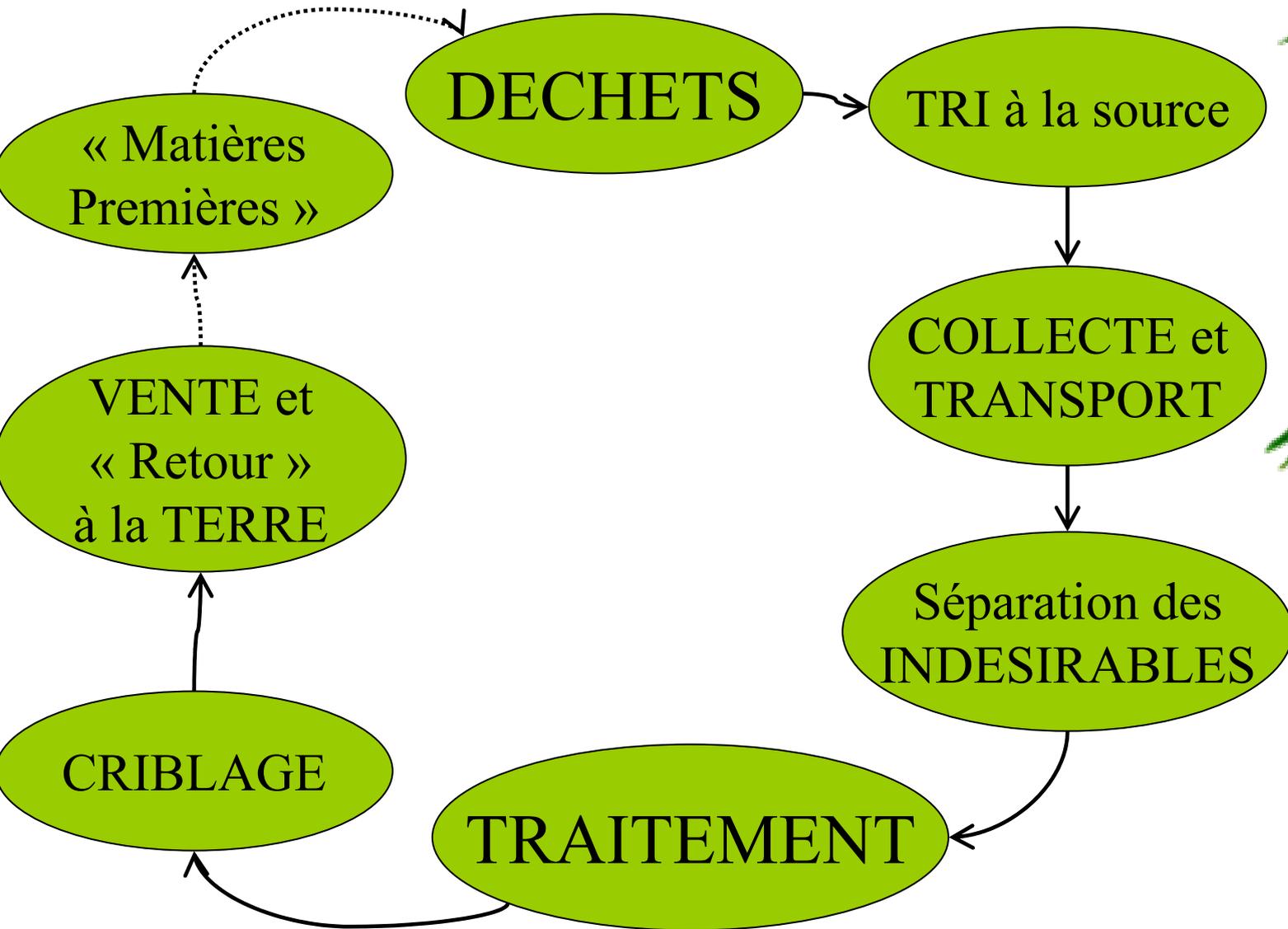
- ★ Appréhender le compostage centralisé de manière interdisciplinaire, globale et intégrée
  - ★ Comprendre les différents aspects techniques et scientifiques du compostage
  - ★ Observer le cas concret de Genève :
    - Analyser les différents systèmes de traitement des déchets verts
    - Évaluer ces systèmes en adoptant un regard de type « écologie industrielle »
  - ★ Faire des mesures de l'évolution de la température d'un tas en décomposition
  - ★ Mieux comprendre la thermique du compostage
- 

# Les déchets verts

- ★ Déchets verts (ou déchets organiques) essentiellement composés de matière organique (MO)
- ★ Matière organique = matière du vivant (C, O, N, H, S, P), par opposé à la matière minérale
- ★ Êtres humains produisent beaucoup de déchets verts (toilettes, cuisine, jardin, parc, agroalimentaire, etc...)



# Filière de traitement



# Compostage

- ★ Processus microbiologique aérobie
- ★  $n [\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5] + 6n \text{O}_2 \Rightarrow 6 \text{CO}_2 + 5n \text{H}_2\text{O} + n \text{Energie (2.84 MJ/mol)}$
- ★ Différents procédés plus ou moins contrôlés et optimisés
- ★ Thermohygiénisation
- ★ Valorisation matière (compost) et énergie (chaleur)



# Biométhanisation

- ★ Processus microbologique anaérobie
- ★ macromolécules  $\Rightarrow$   $\text{CH}_4 + \text{CO}_2$
- ★ Système fermé (digesteur)
- ★ Techniquement complexe
- ★ Paramètres très contrôlés
- ★ Valorisation énergie (biogaz) et matière (digestat)

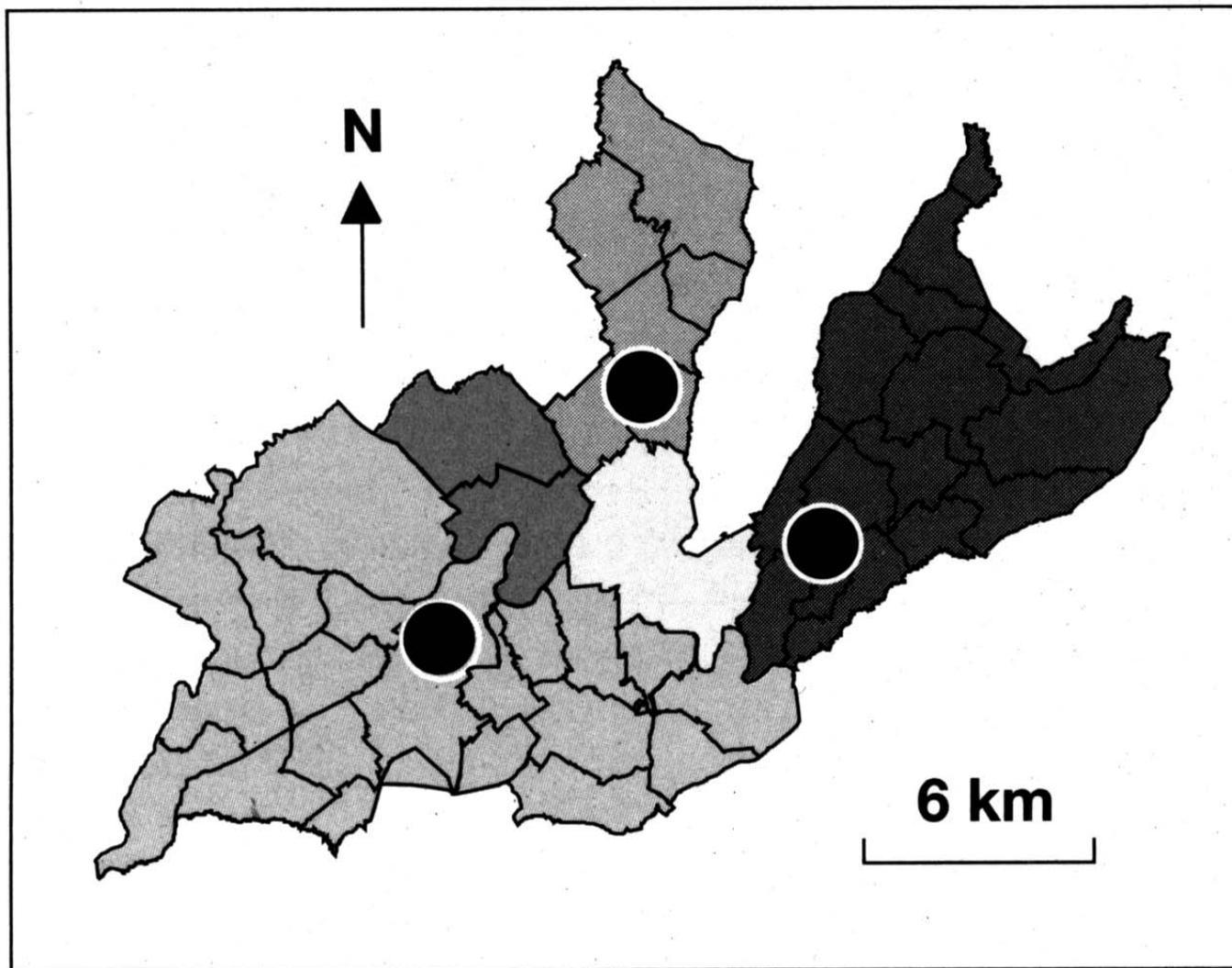


# Contexte genevois

- ★ Plan de Gestion des déchets (1998) :
  - fixe les objectifs de valorisation de tous les types de déchets pour 2002
  - 40% de recyclage de tout les déchets
  - 40% de recyclage des déchets verts, correspondant à environ 25'000 t/an
  - En 2000, ~ 35% de recyclage des déchets verts
  - définition de 3 zones d'apport (Bellevue, Nant-de-Châtillon et Vandoeuvres)



## **Zones d'apport des déchets organiques et implantation des trois installations centralisées**



Tiré du Plan de Gestion des déchets 1998-2002

# Contexte genevois

- ★ Loi sur la gestion des déchets (1999) :
  - Obligation de mise à disposition de conteneurs verts pour les habitants
  - Autorisation d'exploiter nécessaire dès le traitement de 100 tonnes par an
  - Communes doivent livrer leurs déchets verts aux installations agréées par l'Etat
  - Compost individuel doit être encouragé
  - mise en place d'un fond cantonal pour la gestion des déchets



# Centres de traitement

- ★ Trois centres existants :
  - Nant-de-Châtillon (17'000 t/an)
  - Bellevue (GICORD; 3'000 t/an)
  - Gy (porcherie Müller; ~2'500 t/an)
- ★ Un centre « virtuel » :
  - Vandoeuvres (GICAL; 10'000 t/an)
- ★ Et encore quelques sites de traitement de moins de 1000 t/an



# Nant-de-Châtillon

- ★ Construction pilote en 1988 ;  
aggrandissements en 1993 et 1999
- ★ Capacité actuelle de 17'000 t/an :
  - ★ Biométhanisation 10'000 t/an
  - ★ Compostage 10'000 t/an
- ★ Nature des déchets : cuisine et jardin
- ★ Biométhanisation en digesteur (fermé)
- ★ Compostage en andain (semi-ouvert)
- ★ Financement / gestion du site par l'Etat de Genève
- ★ Problèmes récurrents d'odeurs

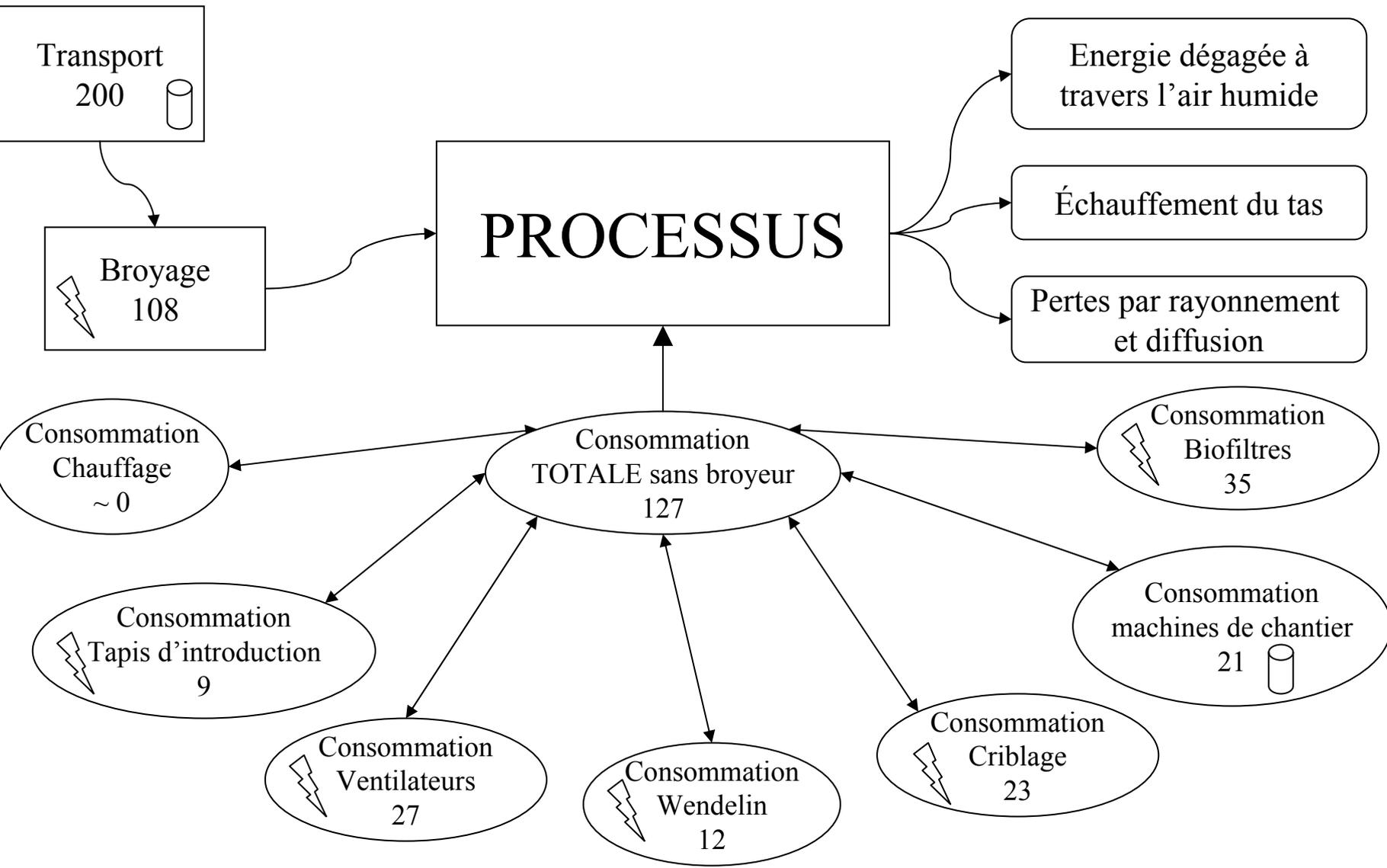


# Nant-de-Châtillon

- \* Compost produit : ~ 3'300 t/an
- \* Coût énergétique du traitement :
  - \* Compostage : 60 kWh/t (pratique)
  - \* Biométhanisation : 25 kWh/t (théorique)
- \* Coût énergétique du transport : ~ 60 kWh/t
- \* Production électricité théorique : ~ 135 kWh/t
- \* Coûts d'investissement :
  - \* Compostage : ~ 11 millions
  - \* Biométhanisation : ~ 9 millions
- \* Prix du traitement : 157 CHF/t
- \* Coûts réels estimés : 160 CHF/t
- \* Adaptabilité mauvaise
- \* Acceptabilité sociale moyenne

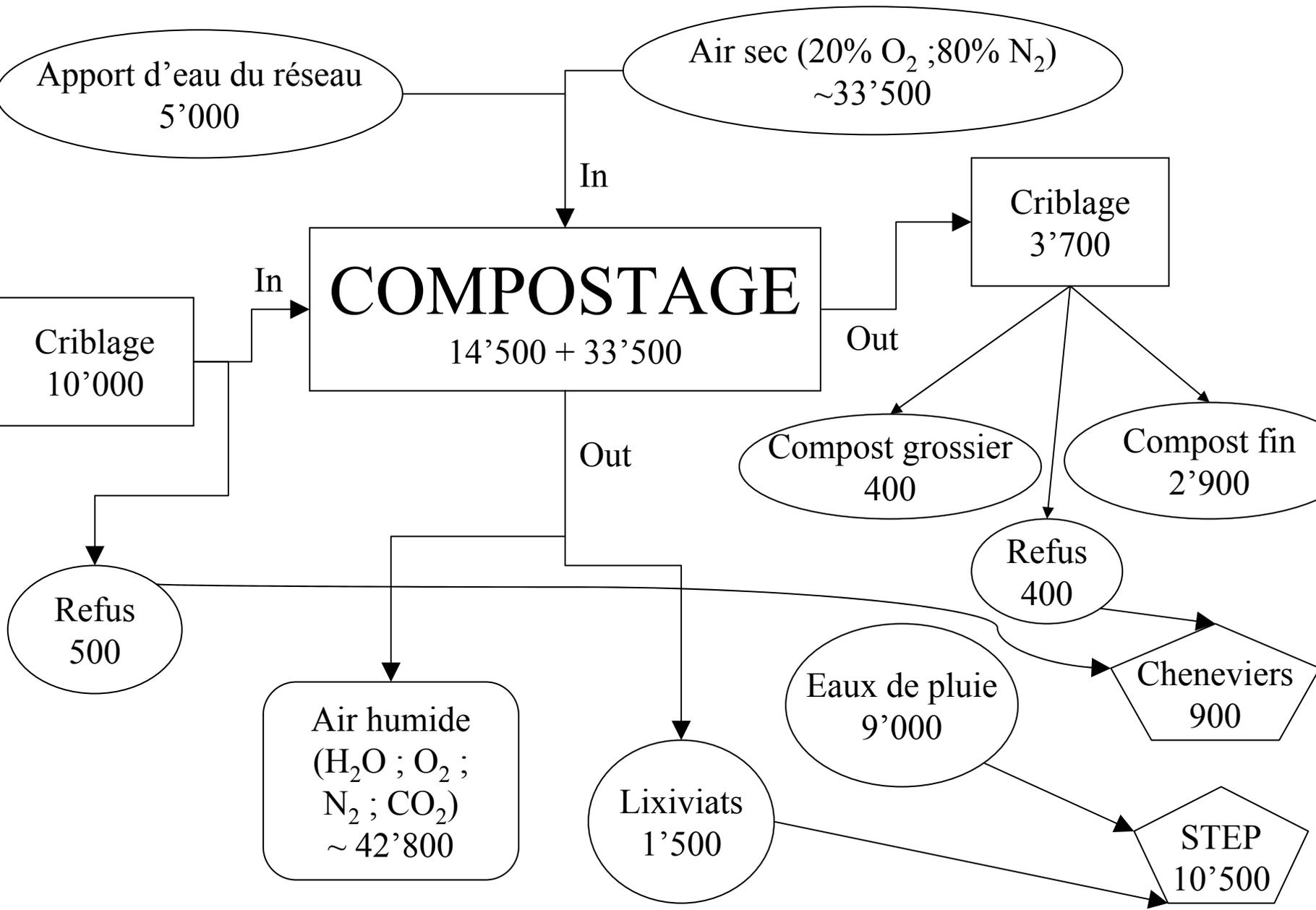


# BILAN ENERGETIQUE DU COMPOSTAGE [MJ/tonne]



Unités : MJ/tonne de déchets traités

# BILAN MATIERE DU COMPOSTAGE [tonnes/an]



# Bellevue (GICORD)

- ★ Inauguration en 2000
- ★ Capacité annuelle de 3'000 tonnes
- ★ Nature des déchets : jardin
- ★ Compostage en andain (plein air)
- ★ Financement par 6 communes et gestion par une entreprise privée
- ★ Problématique de l'eau



# Bellevue (GICORD)

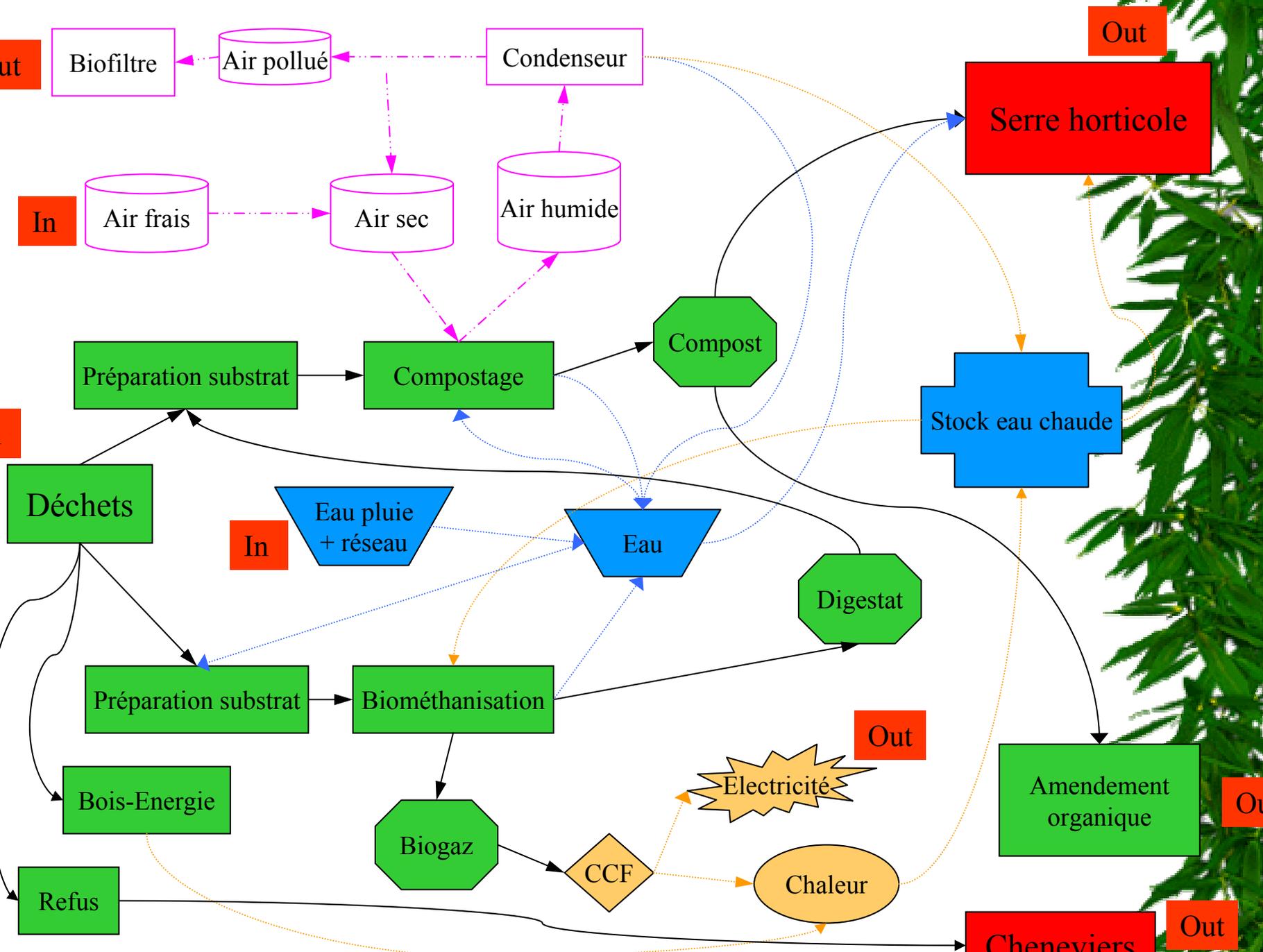
- ★ Compost produit : ~ 1'000 t/an
- ★ Coût énergétique :
  - ★ Traitement : ~ 60 kWh/t
  - ★ Transport : ~ 20 kWh/t
- ★ Coûts d'investissement : 865'000 CHF
- ★ Prix du traitement : ~ 140 CHF/t
- ★ Adaptabilité mauvaise
- ★ Acceptabilité sociale bonne



# Vandoeuvres (CCAL)

- \* N'existe que sur le papier
- \* Capacité future de ~10'000 t/an :
  - \* Compostage 8'000 t/an
  - \* Biométhanisation 2'000 t/an
- \* Nature des déchets : cuisine et jardin
- \* Gestion par l'horticulteur propriétaire du terrain
- \* Financement par les communes de la région et par des privés
- \* Biométhanisation en digesteur
- \* Compostage en silo-couloir (fermé)
- \* Système confiné (but = boucler les flux)





# Vandoeuvres (CCAL)

- ★ Compost produit : ~ 3'000 t/an
- ★ Coût énergétique :
  - ★ Traitement : ~ 40 kWh/t
  - ★ Transport : ~ 20 kWh/t
- ★ Coûts d'investissement : ~ 10 millions
- ★ Prix visés : ~ 150 CHF/t
- ★ Adaptabilité très bonne
- ★ Acceptabilité sociale moyenne
- ★ Oppositions politiques fortes



# Synthèse des cas étudiés

- ★ Nant-de-Châtillon : approche « end of pipe », incrémentale et cloisonnée
  - ★ Mais ils ont déjà traités ~ 65'000 [t] en 10 ans
- ★ Bellevue : approche locale et pécunière sans vision régionale
  - ★ Système simple à gérer qui fonctionne
- ★ Vandoeuvres : approche « écologie industrielle », globale et intégrée
  - ★ Mais il n'existe toujours pas !



# Mesures physiques au Nant-de-Châtillon

- ★ Mesures de la température des différents champs à plusieurs hauteurs et plusieurs endroits (4 x 4 x 6)
- ★ Mesures des débits d'air
- ★ Collecte des données durant deux cycles entre les retournements
- ★ Analyses des données

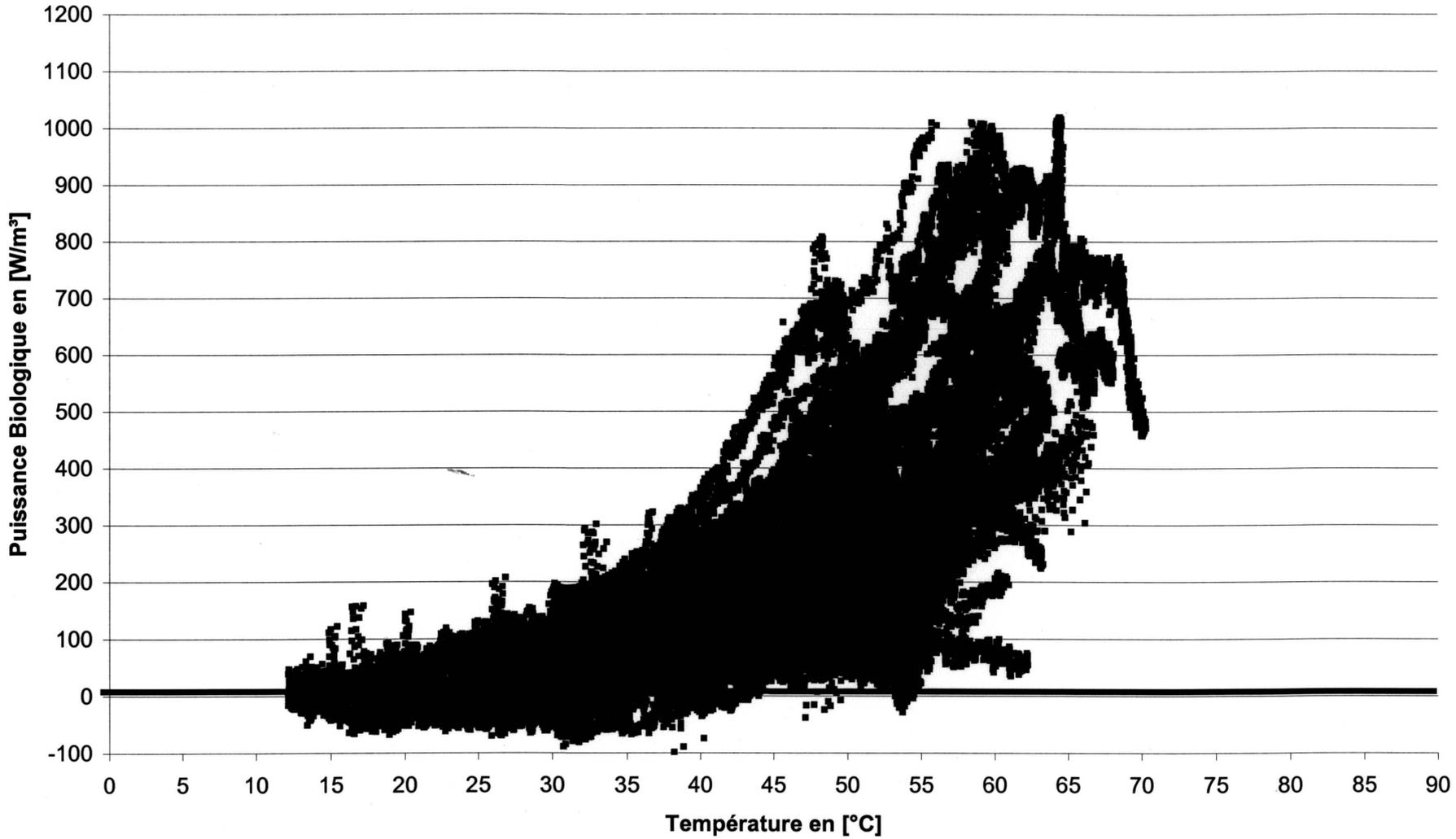


# Principaux résultats

- ★ Hétérogénéités des champs
- ★ Chemins préférentiels de l'air
- ★ Températures très hétérogènes entre les champs mais à peu près homogène dans un même champ
- ★ Mise au point d'un modèle permettant d'estimer la puissance biologique du tas en décomposition
- ★  $P_{\text{biologique}} = P_{\text{capacitif}} + P_{\text{air humide}}$
- ★ Puissance moyenne globale



# P (T) - moyenne horaire



# Principaux enseignements

- ★ Enveloppe globale
- ★  $P_{\max} = 1$  [kW/m<sup>3</sup>] vers 60 °C
- ★  $P_{\text{moy}} = 0.2$  [kW/m<sup>3</sup>]
- ★ La température est une condition nécessaire mais pas suffisante
- ★ Monitoring insatisfaisant
- ★ Valorisation énergétique possible si utilisateur proche



# Conclusions

- ★ Continuer les recherches sur la thermique du compostage
- ★ Développer un monitoring plus précis et plus complet ( $O_2$ ,  $CO_2$ ,  $H_2O$ )
- ★ Diffuser une meilleure information aux gestionnaires de compostage
- ★ Ancrer l'analyse « Ecologie Industrielle » à tous les niveaux possibles
- ★ Gestion des déchets : quels rapports entre Etat, populations et privés ?
- ★ Problème global des déchets de nos sociétés



**« Piéger du carbone  
atmosphérique grâce aux plantes,  
puis favoriser leur recyclage plutôt  
que leur incinération ou leur mise  
en décharges, constitue un  
magnifique projet de société pour  
le 21<sup>ème</sup> siècle. »**

**B.K. Martin, *Les enjeux internationaux du  
compostage*, 2000**

