



# Particules émises par les activités de traitement des déchets, de la caractérisation à l'impact sanitaire

## État des connaissances

Corinne Mandin, Laure Déléry, Isaline Fraboulet, Guillaume Gay, Cécile Honoré, Laure Malherbe, Guillaume Masselot, Laurent Ragava, Bertrand Bessagnet

Institut national de l'environnement industriel et des risques - INERIS



4 juillet 2008 - Paris

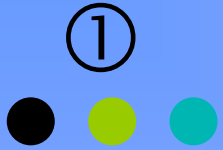




# Objectif et champs traités

- État des connaissances : de l'émission à l'impact sanitaire
- Particules :
  - fractions granulométriques (PM10, PM2,5...)
  - composés chimiques et agents biologiques
- Secteurs :
  - incinération et co-incinération
  - stockage
  - compostage

Déchets dangereux et non dangereux



# Caractérisation physico-chimique

## Les enjeux

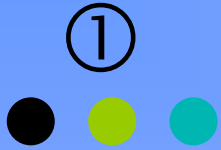
- Mesures :
    - à l'émission (canalisée)
    - au poste de travail : fractions en hygiène professionnelle différentes de celles en santé environnementale !
    - dans l'environnement des sites
  - Paramètres physiques (concentrations massiques, concentrations en nombre, granulométrie) et analyse chimique
- ⇒ Inventaire des techniques, des normes et des données existantes pour les sites

①



# Bilan des techniques

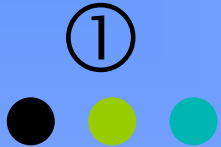
Paramètre	Technique	Contexte	Norme associée
<b>Concentration massique des fractions granulométriques</b>	Prélèvement sur filtre par impaction manuelle	Emission Environnement du site	Projet de norme en cours pour les PM10 et PM2,5 à l'émission de sources fixes PR NF EN ISO 23210-1
	Prélèvement sur filtre (PM10,PM2,5)	Environnement du site	EN 12341, méthode de référence
	Prélèvement sur filtre ( fraction inhalable, fraction alvéolaire)	Hygiène professionnelle	Poussières inhalables :NF X 43-257 Poussière alvéolaires : NF X 43-259
	Méthode de la coupelle rotative fraction inhalable, fraction alvéolaire)	Hygiène professionnelle	Poussière alvéolaires : NF X 43-262
<b>Concentration massique des fractions granulométriques en continu</b>	Impaction électrique basse pression	Emission Environnement du site	
	TEOM7000	Emission	
	TEOM Air Ambient	Environnement du site	EN 12341, procédure de démonstration d'équivalence à la méthode de référence en cours
	Jauge $\beta$	Environnement du site	EN 12341, procédure de démonstration d'équivalence à la méthode de référence en cours
	Techniques optiques	Environnement du site	
<b>Granulométrie en nombre</b>	Impaction électrique basse pression	Emission Environnement du site	
	Analyseur de mobilité électrique	Emission Environnement du site	
	Techniques optiques	Environnement du site	



# Bilan des concentrations mesurées À l'émission

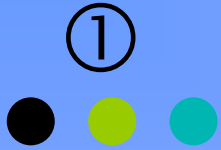
Installation	Paramètre	Technique/ Méthode	Résultats (mg/m <sup>3</sup> <sub>0</sub> )
Incinération de déchets municipaux	TSP	Méthode de référence	<1.3
	PM10	Impaction	<1.3
	PM2.5		<1.3
	PM1		<1,1
	Granulométrie proportion des fractions granulométriques		
	PM10	98-100%	
	PM2.5	97-98 %	
PM1	84-87%		
	Granulométrie Concentration en nombre (dN/dD)	SMPS ELPI	Max 1.10 <sup>3</sup> -1.10 <sup>4</sup> à d<0.2 μm
Co-incinération	PM10	Impaction	28-50
	PM2.5		19-40
	PM1		26-35

Chaucherie et Fraboulet, 2007



# Bilan des concentrations mesurées Dans l'environnement

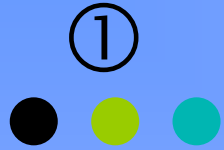
Référence	Installation	Paramètre	Technique	Résultat
(Hu, Chao et al. 2003)	Incineration déchets	Métaux sur TSP (ng/m <sup>3</sup> )	Préleveur sur filtre	Cu 100-595 Zn 225-333 Pb 79-112 Cr 3-14 Ni 7-23 As 4-18 Cd 3-13 Hg 0,07-13
(Freitas, Pacheco et al. 2004)	Incineration déchets municipaux	Métaux sur PM <sub>2.5</sub> (ng/m <sup>3</sup> )	Préleveur sur filtre INAA, PIXE	Pb <30 Ni <12 As <1,5 Hg <0,25
(Besombes, Maitre et al. 2001)	Incineration déchets	HAP (ng/m <sup>3</sup> )	Préleveur sur filtre	11 composés 4-63
(Oh, Choi et al. 2006)	Incineration déchets	PCDD/Fs (pg I-TEQ/m <sup>3</sup> )		0,2-1,2
(Mao, Chen et al. 2007) (Mao, Chen et al. 2007)	Incineration déchets médicaux	PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> ) PM <sub>2.5</sub> (µg/m <sup>3</sup> ) Ratio PM <sub>2.5</sub> /PM <sub>10</sub> Répartition granulométrique des HAP	Préleveur sur filtre	15-70 10-60 > 70% dans PM <sub>10</sub> 15 composés (ng/m <sup>3</sup> ) <1,6 dans PM <sub>2.5</sub> 15 composés (ng/m <sup>3</sup> ) <1,3
(Querol, Zhuang et al. 2006)	Co-incinération	PM <sub>10</sub> Métaux	Préleveur sur filtre	% des PM <sub>10</sub> au point situé sous le vent
(Abdul-Wahab 2006)	Co-incinération	TSP (µg/m <sup>3</sup> )	Préleveur sur filtre	197-424



# Caractérisation physico-chimique

## Bilan

- Les filières de traitement de déchets génèrent des émissions diffuses et canalisées de particules dont la caractérisation requiert des stratégies de mesurage différentes
- Peu de méthodes répondant aux besoins de caractérisation sont normalisées (concentrations totales à l'émission, détermination à l'émission par fractions granulométriques en cours, détermination des émissions diffuses de particules en cours)
- Tous secteurs confondus, peu de données sont disponibles sur les paramètres non réglementés



# Caractérisation physico-chimique

## Besoins

- Émissions canalisées de PM10 et PM2,5 → norme en préparation
- Espèces organiques et éléments métalliques dans les fractions granulométriques : répartition gaz/particule, couplage prélèvement / analyse
- Caractérisation en continu des aérosols : conditionnement amont, comparabilité des méthodes
- Émissions diffuses : hétérogénéité des sources, pas de méthode universelle, challenge en terme de métrologie et de stratégie de mesurage

②



# Modélisation

## Pour le cas des activités étudiées

- Modèles gaussiens beaucoup utilisés
- PM + métaux, PCDD/F, HAP, PCB, le + souvent particulaires (particules fines) à 100 % (sauf Hg)
- Localisation / géométrie des sources :
  - ponctuelles ou canalisées (incinérateurs)
  - surfaciques discrétisées ou assimilées à un point :
    - chargement / déchargement des déchets sur site
    - mouvement des véhicules sur les déchets déposés
    - érosion par le vent après perturbation des piles
- Flux : VLE ou mesures ou FE
- Processus : les dépôts (secs et humides)

②



# Modélisation

## Les difficultés

- Terme source :
  - présence d'émissions diffuses et intermittentes
  - géométrie de la source ? cheminée par / bâtiment
  - flux émis ? granulométrie ?
- Polluants :
  - mélanges de gaz et de particules susceptibles de se transformer au cours du transport car composés de réactivité différente (ex : PCDD/F : influence du nombre d'atomes de chlore)
- Domaine d'étude :
  - problème de la modélisation en champ proche (impact d'émissions diffuses en limite de site)

②



# Modélisation

## Bilan et perspectives

- Les modèles de dispersion incluent de nombreux développements pour la prise en compte des particules
- Quel que soit le type de modèle, peu d'études de validation (plutôt incinérateur)

### *Les besoins :*

- Avoir des jeux de données représentatifs (plusieurs points de mesure / plusieurs saisons) et suffisamment détaillés (polluants, granulométrie à l'émission et dans l'air ambiant)
- Comprendre la validité des paramétrisations ex : le dépôt sec et humide
  - pour un processus donné, quelle forme selon les différents modèles ?
  - avantages, inconvénients ? Comparaison entre modèles à effectuer sur des jeux de données

③



# Devenir dans les sols

- Sont concernés : métaux, HAP, PCB, PCDD/F
- Le devenir une fois déposés dépend de leurs propriétés physico-chimiques (spéciation, pression de vapeur...)
- De nombreux phénomènes :
  - dégradation
  - volatilisation
  - lixiviation
  - ruissellement
  - ré-envol (mise en suspension, saltation, roulement)
  - transfert aux végétaux
- Compartiments impactés (végétaux, eaux souterraines et superficielles) → expositions humaines

③



# Devenir dans les sols

## Impact sanitaire

- Phénomènes peu pris en compte pour l'évaluation des effets sanitaires à l'exception du transfert aux végétaux = équations décrivant simplement :
    - le dépôt particulaire
    - l'absorption gazeuse
    - le transfert racinaire
- rainsplash* ou dépôt suite à ré-envol peu, voire jamais considérés

③



# Devenir dans les sols

## Besoins et perspectives

- Amélioration de la compréhension des phénomènes
  - quelles interactions entre les particules du sol et celles déposées ?
- Amélioration des connaissances sur biodisponibilité / bioaccessibilité :
  - bioaccessibilité = fraction d'un composé disponible pour le métabolisme, le stockage ou l'excrétion par l'animal ou le végétal
  - biodisponibilité = fraction qui atteint la circulation systémique et qui peut avoir un effet toxique sur l'organisme
  - La bioaccessibilité conditionne fortement la biodisponibilité

④



# Impact sanitaire

Quelle prise en compte des particules dans les ERS ?

- Deux approches :
  - fraction granulométrique → mais quelle(s) VTR ?
  - nature chimique des particules le plus souvent
- Approches « fraction granulométrique » très hétérogènes
  - à seuil :
    - valeurs UE et US-EPA, guide sectoriel UIOM (+ CSHPF)
    - UK, stockage : valeurs QA
    - Canada, incinération et stockage : HEAST
  - sans seuil :
    - recours aux fonctions concentration-risque OMS ou COMEAP, pour l'incinération (SFSP ; Nerrière ; Battermann/OMS) et le stockage (ENSP)

④

# Impact sanitaire

## Positionnement de l'OMS

- Pas de positionnement particulier sur les secteurs considérés
- Utilisation des RR pour la comparaison de stratégies de réduction des émissions (CAFE, convention LRTAP)
- Proposition de valeurs de gestion (mise à jour AQG 2005) pour les PM10 et PM2,5 (pas de seuil « protecteur »)
- Physico-chimie → conclusions Workshop de mars 2007 :
  - connaissances encore largement insuffisantes pour permettre d'étudier spécifiquement l'impact sanitaire des particules au regard de leur nature
  - il est approprié de considérer que les particules sont de dangerosité équivalente, quelles que soient leur taille, leur origine et leur composition

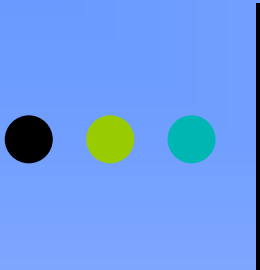
④



# Impact sanitaire

## Besoins et perspectives

- Besoin d'un positionnement national sur le traitement de la problématique « Particules » dans les ERS (en attente OPERSEI)
- Un intérêt croissant pour les particules ultrafines
  - dépôt alvéolaire plus marqué et phagocytose macrophagique moins efficace
  - passage des barrières, distribution dans le corps
  - surface accrue à masse égale → réactivité de surface plus importante



# Conclusion

## Composés chimiques

- Une problématique complexe :
  - phénomènes physico-chimiques divers
  - polluants et agents hétérogènes, ayant leur problématique propre
  - nombreux compartiments environnementaux impactés



# Agents biologiques

## Mise à jour des connaissances :

- Caractérisation des émissions de bioaérosols : incinération, stockage, compostage
- Transport atmosphérique : modélisation de la dispersion et viabilité dans l'air
- Exposition des populations : travailleurs et populations riveraines
- Objectivation des risques sanitaires d'origine biologique



# Caractérisation des émissions

Incinération	Stockage	Compostage
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pollution particulaire significative : marquage biologique de tous les postes de travail</li> <li>- Postes les plus exposés : zone de déchargement, de broyage...</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Données disponibles peu nombreuses (une seule étude française)</li> <li>- Pollution particulaire faible</li> <li>- Pics d'émission notamment d'<i>Aspergillus fumigatus</i> et de bactéries Gram négatif typiques de cette activité lors du déversement et du tassement des déchets frais dans les alvéoles en cours d'exploitation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Caractérisation des bioaérosols rendue complexe par la variété des configurations existantes</li> <li>- Nombre limité d'études par configuration rendant difficile la comparaison des résultats</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Présence en quantité importante de champignons - principalement espèces à fort pouvoir allergène-</li> <li>- Niveaux de concentration en endotoxines peu étudiés (une seule étude)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Genres des micro-organismes peu étudiés</li> <li>- Aucune donnée n'a été retrouvée concernant les mycotoxines.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Principaux bioaérosols étudiés : champignons, actinomycètes et endotoxines</li> <li>- Mycotoxines peu ou pas étudiées</li> </ul>



# Transport atmosphérique

## ○ Modélisation de la dispersion

- facteurs classiques, facteurs biologiques
- quelques modèles ; difficultés
- développement récent pour l'activité de compostage

## ○ Viabilité

### Bibliographie ancienne

- facteurs de stress « primaires » résultant des conditions environnementales (humidité relative de l'air (HR), température, composition gazeuse l'air et radiations),
- facteurs de stress « secondaires » liés aux procédés de collecte et milieux utilisés et aux méthodes de dénombrement des bioaérosols,
- facteurs de survie « biologique »



# Exposition des populations

- Concentrations naturelles :
  - bactéries totales et champignons : 200 à 10<sup>3</sup> CFU/m
  - endotoxines (Déléry, 2007)

Population	Incinération	Stockage	Compostage
<b>Travailleurs</b>	Etudes rares : 4 dont 2 françaises	Très peu de données : 5 études identifiées en 2003 + 3 études polonaises	-Fortes concentrations en bactéries et champignons mesurées sur la plupart des sites principalement pendant les opérations générant des poussières organiques (broyage, retournement et criblage) -Peu de données postes de travail particuliers -Exposition individuelle rarement étudiée -Concentrations 10 à 1000 x bdf Swan (2003)
<b>Riverains</b>	Aucune étude	Exposition peu étudiée (concentrations bactéries faibles, pics fongiques)	En général, au-delà de 200 à 250 m, les bioaérosols émis par les sites ne sont plus différenciables du bruit de fond sauf cas météorologiques particuliers ?



# Objectivation des risques sanitaires

- Incinération : pas d'étude spécifique
- Stockage : études peu nombreuses chez les travailleurs, symptômes « classiques » ; pas d'études chez les riverains
- Compostage :
  - *travailleurs* : cas cliniques et études épidémiologiques ; connaissances limitées en dehors excès symptômes respiratoires, digestifs ou cutanés ; manque mesures d'exposition individuelle
  - *population* : données quasiment absentes → pas de preuves d'effets sanitaires spécifiques



# Évaluation des risques sanitaires

- Pas de valeurs limites d'exposition professionnelle (ACGIH, 2007) ou de valeurs guides pour l'air intérieur (OMS, 2006) reconnues au niveau national ou international

*Au Royaume-Uni, l'Agence de Protection de l'Environnement a choisi la valeur de  $10^3$  UFC  $m^{-3}$  en bactéries et en champignons totaux et 300 UFC  $m^{-3}$  en bactéries à Gram négatif comme limites d'exposition pour l'activité de compostage*

- L'ACGIH recommande la mise en œuvre de la démarche d'évaluation et de contrôle de l'exposition aux bioaérosols  
→ niveaux d'action relatifs



# Conclusion

## Agents biologiques

- Bioaérosols caractéristiques des sources d'émission des activités de traitement de déchets
- Populations exposées peuvent théoriquement développer différents effets sanitaires variés
- Émissions des activités d'incinération et de stockage mal caractérisées en particulier au niveau français
- Expositions personnelles des travailleurs peu connues sur le long terme ; exposition riverains : incinération ?  
Stockage et compostage : *a priori* faible



# Conclusion générale

## Perspectives

### ○ Composés chimiques

- caractérisation physico-chimique
- modélisation (air, sols, végétaux)
- détermination des expositions humaines et des effets sanitaires associés

### ○ Agents biologiques

- standardisation internationale des méthodes d'échantillonnage et de dénombrement
- meilleure caractérisation des bioaérosols, données terrain
- études épidémiologiques prospectives travailleurs; étude riverain compostage
- viabilité