

**EHESP**



---

**Mémoire de fin d'études**  
**Ingénieur du Génie Sanitaire**

Promotion : **2007 - 2008**

Date du Jury : **25 Septembre 2008**

---

**Elaboration d'une stratégie opérationnelle d'évaluation  
de l'exposition des populations dans les ERSEI**

**Karine LE MEHAUTE- REY**  
**Université de GRENOBLE**

**Lieu du stage : Société SAFEGE**

**Référentes professionnelles : Anne RIOUX, Laurence NOEL**

**Référente pédagogique : Michèle LEGEAS**

---

# Remerciements

---

En premier lieu, je remercie vivement Mesdames Anne RIOUX et Laurence NOEL pour leur accueil au sein de l'unité environnement du groupe SAFEGE et leurs conseils durant ces quatre mois.

Je tiens également à remercier Madame Michèle LEGEAS, pour son aide, ses conseils, sa disponibilité et ses encouragements au cours de ce mémoire.

Mes remerciements s'adressent aussi à tous les professionnels qui, de près ou de loin m'ont aidée dans le réalisation de ce mémoire, notamment, Monsieur Jérôme ROCHELLE (DDASS 35), Monsieur Didier CORVENNE (DDASS 56) ainsi que Madame Emmanuelle MARTIN (DDASS 76) et Madame Sandrine PERNET (DDASS 22), qui ont gentiment accepté de me recevoir et de me consacrer un peu de leur temps pour échanger sur le sujet.

Je remercie enfin, Mesdames Muriel ANDRIEU-SEMMELE (OPERSEI) et Roselyne BONNARD (INERIS), pour les échanges téléphoniques que nous avons pu avoir et les renseignements qu'elles m'ont transmis.

Et ... un grand Merci tout particulièrement à ma petite famille, Rodolphe, Kélian et Eléa, pour m'avoir supportée et encouragée à persévérer tout au long de cette année « d'étudiante sur le tard », ainsi qu'à mes parents pour l'avoir rendue possible...

---

# Sommaire

---

<b>Introduction .....</b>	<b>1</b>
<b>Contexte .....</b>	<b>3</b>
<b>Méthodologie / Choix de la démarche .....</b>	<b>5</b>
<b>1. Le bureau d'études et ses pratiques .....</b>	<b>7</b>
<b>1.1 Présentation : Le BE et ses spécificités .....</b>	<b>7</b>
<b>1.2 Rappel des besoins.....</b>	<b>8</b>
<b>1.3 Dossiers SAFEGE étudiés .....</b>	<b>9</b>
<b>2 Les questions spécifiques liées à l'exposition des populations .....</b>	<b>15</b>
<b>2.1 L'étape d'exposition des populations.....</b>	<b>15</b>
2.1.1 Définition .....	15
2.1.2 L'évaluation de l'exposition.....	15
2.1.3 Les méthodes de quantification de l'exposition.....	17
<b>2.2 Les outils de quantification de l'exposition des populations .....</b>	<b>19</b>
2.2.1 Mesures par prélèvements et échantillonnage .....	20
2.2.2 La modélisation .....	20
2.2.3 Les modalités d'exposition des populations.....	35
<b>2.3 La nécessaire prise en compte du principe de proportionnalité .....</b>	<b>39</b>
<b>3 Analyse critique et attente des administrations.....</b>	<b>41</b>
<b>3.1 Attente des services instructeurs des dossiers.....</b>	<b>41</b>
3.1.1 Reprise d'éléments généraux des guide existants.....	41
3.1.2 Observatoire des Pratiques de l'Evaluation des Risques Sanitaires dans les Etudes d'Impact (OPERSEI) .....	42
3.1.3 Résultats des entretiens des professionnels de la DDASS en charge de ces dossiers .....	43
<b>3.2 Analyse critique des dossiers SAFEGE retenus .....</b>	<b>45</b>
<b>4 Stratégie opérationnelle et discussion .....</b>	<b>49</b>
<b>4.1 Arbre décisionnel .....</b>	<b>49</b>

4.2 Perspectives et propositions pour le bureau d'étude .....	53
4.3 Discussion.....	55
Conclusion .....	57
Bibliographie.....	59
Liste des Tableaux et figures .....	62
Liste des annexes.....	I
Abstract.....	31

---

## Liste des sigles utilisés

---

ERSEI : Evaluation des Risques Sanitaires des Etudes d'Impact  
AFSSA : Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments  
ASTEE : Association Scientifique et Technique de l'Eau et de l'Environnement  
ADEME : Agence de l'Environnement et de Maîtrise de l'Energie  
BRGM : Bureau de Recherche Géologique et Minière  
DDASS : Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales  
DRIRE : Direction Régionale de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement  
INERIS : Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques  
INSEE : Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques  
InVS : Institut de Veille Sanitaire  
US-EPA : United States – Environmental Protection Agency  
OPERSEI : Observatoire des Pratiques de l'Evaluation des Risques dans les Etudes d'Impact  
INERIS : Institut National de l'Environnement et des Risques  
UIOM : Usine d'Incinération des Ordures Ménagères  
ICPE : Installations Classées pour la Protection de l'Environnement  
PLU : Plan Local d'Urbanisme

DJA ou  $D_{JT}$  : Dose Journalière Admissible, Acceptable ou Tolérable (en mg/kg/jr ou en  $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{jr}$ )  
DJE : Dose Journalière d'Exposition (en mg/kg/jr ou en  $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{jr}$ )  
EQRS : Evaluation Quantitative du Risque Sanitaire  
ERS : Evaluation du Risque Sanitaire  
ERC : Excès de Risque Collectif  
ERI : Excès de Risque Individuel  
ERU : Excès de Risque Unitaire  
IR : Indice de Risque  
VHE : Variable Humaine d'Exposition  
VTR : Valeur Toxicologique de Référence.

## Introduction

L'article 19 de la loi n°96-1236 du 30 décembre 1996 sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie a modifié le contenu des **études d'impact** de tout projet d'installations, ouvrages, travaux et aménagements assujettis à l'obligation de telles études selon les critères du code de l'environnement.

Depuis le 1er août 1997, l'étude d'impact doit comprendre une étude des effets du projet sur la santé ainsi que la présentation des mesures envisagées pour supprimer, réduire et compenser les conséquences dommageables du projet pour la santé.

Comme le dispose le code de l'environnement, (L122-1 à 3 et R122-3), le contenu des études d'impact doit être en relation avec l'importance des travaux et aménagements projetés alors que l'étude des risques sanitaires ou ERSEI, doit être proportionnée à la dangerosité des substances ou agents émis et à l'importance ou à la fragilité de la population exposée à proximité des travaux et aménagements envisagés.

Les bureaux d'études en charge de la réalisation de ces études à la demande du pétitionnaire, devront considérer, au delà des contraintes financières et de temps, le degré d'approfondissement nécessaire propre à chaque étude et ce, en fonction de son contexte spécifique. Ainsi, les besoins définis par SAFEGE, bureau d'étude spécialisé en eau et environnement, résultent d'un constat : lors de la réalisation des ERSEI, parmi les différentes étapes de la démarche adoptée classiquement et rappelée ultérieurement, la définition des dangers ainsi que la recherche de VTR peuvent dorénavant être facilement bien documentées et argumentées. L'étape de détermination de l'exposition des populations concernant tant l'estimation de la dose que la définition des modalités d'exposition semble la plus sujette aux incertitudes et aux approximations du point de vue de l'évaluateur. Or, dans la pratique, force est de constater que le choix des conditions d'exposition peut avoir une grande incidence sur le résultat final et influencer la caractérisation du risque donc à terme, la gestion de ce dernier.

L'objectif du présent mémoire est de réunir des critères permettant de faire aboutir l'évaluation du risque sanitaire des études d'impact en solutionnant plus particulièrement l'étape d'exposition des populations. Il s'agit plus précisément, de proposer une stratégie opérationnelle de détermination des expositions pour caractériser le risque sanitaire, en hiérarchisant le niveau d'approfondissement nécessaire et suffisant propre à chaque étude. Ceci permettra à terme, de rationaliser les besoins, tant matériels qu'humains, en proposant au bureau d'études, des recommandations afin de répondre de manière plus adaptée non seulement aux problématiques actuelles, mais également d'élargir son domaine de compétence, lui offrant de nouvelles perspectives.

Afin de répondre à cet objectif, l'étude de différents dossiers illustrera dans un premier temps les pratiques actuelles du bureau d'études, permettant de sélectionner un cadre d'étude spécifique à l'exposition des populations aux rejets atmosphériques.

Les outils de quantification de l'exposition des populations seront ensuite présentés et comparés.

Enfin, l'analyse critique des pratiques actuelles du bureau d'études ainsi que la prise en compte des attentes des services instructeurs en charge de ces études et ce, en respect du principe de proportionnalité, conclura quant à la hiérarchisation des paramètres à considérer pour définir le degré d'approfondissement de l'étape d'exposition des populations.

L'élaboration d'un arbre décisionnel visant à orienter l'évaluateur lors de la construction de scénarios d'exposition en sera déduite, et des recommandations à l'intention de SAFEGE formulées en terme d'investissements (besoins matériels, humains, organisationnels).

## Contexte

L'évaluation des risques sanitaires doit être comprise comme une démarche visant à structurer les éléments de connaissances, à les mettre en perspective par rapport aux incertitudes. Elle a pour but de présenter de manière explicite aux différentes parties les éléments d'analyse sur lesquels la prise de décision pourra s'appuyer. L'évaluation des risques pour la santé est donc un outil d'analyse au service des gestionnaires du risque. A ce titre, elle doit respecter les principes inscrits ou inspirés par les différents textes implicitement contenus dans la loi de 1976 relative aux installations classées et le code de l'environnement désormais [1] :

- *le principe de prudence scientifique* : au regard des effets directs ou indirects de certaines pollutions ou nuisances sur la santé humaine qui ne sont pas établis avec suffisamment de certitude, l'étude ne pourra pas toujours aller au-delà de l'identification du problème et de l'indication des risques potentiels encourus par les populations exposées.
- *le principe de proportionnalité* : veille à ce qu'il y ait cohérence entre le degré d'approfondissement de l'étude et l'importance de la pollution et son incidence.
- *Le principe de spécificité* assure la pertinence de l'étude par rapport à l'usage et aux caractéristiques du site et de son environnement. L'étude doit correspondre aux usages actuels ou prévisibles du site. Elle doit prendre en compte le mieux possible les caractéristiques propres du site, de la source de pollution et des populations cibles.

Classiquement, quatre étapes sont décrites dans la démarche d'évaluation des risques pour la santé :

1. l'identification du potentiel dangereux ou identification des dangers qui consiste à identifier des effets indésirables que les substances ou agents sont intrinsèquement capables de provoquer chez l'homme,
2. l'évaluation de la relation dose-réponse : l'estimation de la relation entre la dose, ou le niveau d'exposition aux substances, et l'incidence et la gravité de ces effets,
3. l'évaluation de l'exposition consiste à déterminer les voies de passage du polluant de la source vers la cible, ainsi qu'à estimer la fréquence, la durée et l'importance de l'exposition,

4. la caractérisation des risques correspond à la synthèse des informations issues de l'évaluation de l'exposition et de l'évaluation de la toxicité sous la forme d'une expression qualitative et si possible quantitative du risque. Les incertitudes sont évaluées (qualitativement, semi-quantitativement ou de façon probabiliste) et les résultats interprétés.

Dans les pratiques actuelles, l'évaluateur utilise des outils de modélisation dont la mise en œuvre est parfois complexe, et souvent inadaptée à des études d'impact concernant de petits établissements industriels notamment pour des raisons technico-économiques. Ce point souligne l'intérêt du principe de proportionnalité cité plus avant.

## Méthodologie / Choix de la démarche

D'un point de vue méthodologique, le travail à effectuer a été réalisé en cinq phases :

**1) La consultation des dossiers SAFEGE** réalisés ou en cours de réalisation afin d'établir un bilan caractérisant les types de dossiers traités en fonction :

- du type d'installations et d'activités industrielles,
- des sources d'émissions et des risques répertoriés,
- des voies d'exposition considérées,
- du type d'approche réalisée concernant l'estimation de l'exposition des populations.

Cette première étape permet d'exposer la diversité des situations rencontrées, de définir les pratiques actuelles en terme de réalisation d'ERSEI, ainsi que de sélectionner les dossiers qui feront l'objet d'une analyse critique ultérieure.

Elle définit un cadre d'étude plus précis priorisant un type d'émission et les voies d'exposition associées afin de pouvoir recenser les outils nécessaires à la quantification de l'exposition des populations et d'effectuer à terme des propositions d'action pour répondre aux différents besoins.

**2) La recherche bibliographique et l'analyse comparative** des moyens existants (matériels plus particulièrement) visant à **déterminer la quantification de l'exposition des populations** dont les modèles à utiliser et adaptés à la source d'émission et aux voies d'exposition définies précédemment. L'objectif est ici de recenser un ensemble d'outils adaptés permettant de caractériser non seulement la dose mais également les modalités d'exposition en vue d'évaluer plus précisément cette exposition par la construction de scénarios d'exposition adaptés.

**3) La prise de contact avec les administrations** en charge d'évaluer les ERSEI pour définir leur niveau d'exigence en fonction du contexte et du degré d'approfondissement requis des études. Ces entretiens permettent de retenir des critères de décision quant à la recevabilité ou non des dossiers instruits et d'établir une hiérarchisation des paramètres à considérer pour l'établissement d'une stratégie opérationnelle adaptée.

**4) L'analyse critique des dossiers SAFEGE retenus** dans le cadre d'étude.

Cette étape est un bilan critique des pratiques méthodologiques actuelles concernant l'étape d'exposition des populations compte tenu du contexte des études. Elle conclut quant à la prise en compte du principe de proportionnalité et permet l'établissement de

critères de hiérarchisation en fonction du degré d'approfondissement des scénarii d'exposition.

**5) La construction d'un arbre décisionnel** intégrant la hiérarchisation des niveaux de précision de l'étape d'évaluation des expositions en fonction du degré d'approfondissement requis de l'ERSEI et proposant l'utilisation des outils nécessaires pour y répondre.

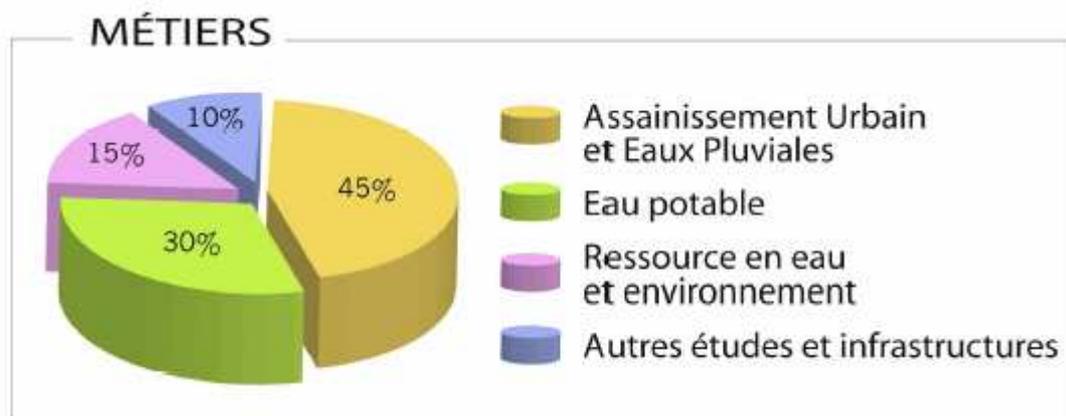
Elle est suivie de préconisations en terme d'investissement à l'échelle du bureau d'études sur les moyens matériels ou humains à acquérir pour rendre cette stratégie opérationnelle.

# 1. Le bureau d'études et ses pratiques

## 1.1 Présentation : Le BE et ses spécificités

SAFEGE est une société de droit privé constituée en société d'Ingénieurs-Conseils, présente en France et à l'International. Elle a vocation à intervenir auprès des collectivités, autorités publiques, délégataires de services d'eau et d'assainissement et industriels, comme ingénieur-conseil dans ce qui constitue son cœur de métier : l'eau, l'environnement et les infrastructures associées.

SAFEGE compte 1 200 collaborateurs dont 750 en France, parmi lesquels 60 % d'ingénieurs et 30 % de techniciens et projeteurs spécialisés. Les formations les plus représentées sont l'hydraulique, l'hydrogéologie, le génie civil et les travaux publics, le génie urbain et rural, la géophysique, biologie et physicochimie des eaux.



*Répartition du chiffre d'affaire de SAFEGE par métier*

SAFEGE comprend plusieurs agences en France dont l'une est basée à Saint Grégoire. Quatre services principaux y sont représentés, rattachés à des directions différentes suivant la nature de leurs activités. Ainsi,

- le service Hydraulique est rattaché à la Délégation Etudes Prospectives et Développement Durable,
- Le service Maîtrise d'œuvre en traitement des Eaux est rattaché à la Direction des Grands Projets,
- Les services Ouvrages et maîtrise d'œuvre ainsi que le Service Environnement dépendent de la Délégation Ouest.

C'est au sein du service Environnement que ce mémoire a été réalisé.

L'unité Environnement est chargée de la réalisation des études réglementaires pour tous les projets relevant du domaine de l'eau et des infrastructures. Elle fournit également une assistance juridique environnementale durant l'ensemble des missions.

Elle assure l'ensemble des investigations préalables à la rédaction des rapports (analyse des contraintes et reconnaissance des milieux, mesure de l'état initial, quantification et analyse des impacts, proposition de mesures compensatoires).

La concertation avec le Maître d'Ouvrage et les services de l'Etat en charge des dossiers pour trouver les meilleurs compromis technico-économiques assurant la préservation de l'environnement, fait partie intégrante des missions de l'unité.

Elle assure un accompagnement technique du Maître d'Ouvrage durant toute la procédure administrative.

L'unité environnement regroupe 10 personnes de compétences techniques variées (qualité des eaux et des milieux aquatiques, hydrologie, agronomie, milieu naturel, faune-flore, aménagement, ICPE, approche sanitaire, SIG, ...) et d'expériences diversifiées, associées à un niveau d'expertise élevé ; elle assure une veille technique et réglementaire active.

## **1.2 Rappel des besoins**

Lors de la réalisation d'une étude d'impact, l'établissement d'une ERSEI est nécessaire pour caractériser le risque sanitaire potentiellement encouru par une population afin de prévoir d'emblée la mise en place de mesures compensatoires permettant de le réduire au maximum. Cependant, le degré d'approfondissement des études et donc d'investissement en terme de temps passé, de moyens matériels comme humains doit être fonction du principe de proportionnalité et donc de l'importance de l'impact sanitaire potentiel du projet d'installation ou d'aménagement évalué. Or, dans la pratique, le degré d'approfondissement est conditionné par le coût de l'étude qui reste proportionné à la taille de l'opération.

L'évaluateur doit effectuer une étude permettant au pétitionnaire de faire valider son dossier par l'administration, et de proposer des mesures compensatoires, l'autorisant ainsi à exploiter, aménager, s'étendre ou encore modifier son activité. L'objectif est alors d'assurer autant que faire se peut la recevabilité du dossier, notamment en s'assurant du respect de la démarche méthodologique recommandée et adaptée au contexte défini.

Rappelons que la demande formulée par le bureau d'étude correspond à l'amélioration de l'étape d'exposition des populations réalisée dans ses ERSEI, afin de rationaliser le degré d'approfondissement nécessaire selon le type de dossier à traiter.

### 1.3 Dossiers SAFEGE étudiés

Afin de répondre à la demande du bureau d'études et d'élaborer une stratégie opérationnelle concernant l'étape d'évaluation de l'exposition des populations dans les ERSEI adaptée aux besoins spécifiques, il convient d'effectuer un état des lieux des dossiers traités en recensant les différents types d'études les plus fréquemment rencontrés.

Pour ce faire, 10 dossiers comprenant une ERSEI traitée par SAFEGE ont été sélectionnés et sont présentés sommairement dans le tableau ci-dessous. Ceci permet, dans un premier temps, de visualiser le type d'étude réalisée, et plus particulièrement le contexte dans lequel s'inscrit l'ERSEI, la typologie des risques et les principales voies d'exposition considérées ainsi que le type d'approche adoptée.

Dossiers SAFEGE - type d'installation et contexte - année	Typologie des risques/Sources d'émissions	Voies d'exposition considérées	Type d'approche (qualitative, quantitative)
<b>1- STEP A :</b> Déplacement de la Station d'épuration des eaux usées - Etude SAFEGE ST GREGOIRE - Février 2007	Rejets aqueux Bruit Rejets atmosphériques dus aux traitements  Risques chimiques Risques microbiologiques Risques phytoplanctoniques Risques liés aux émissions sonores	Voie par <b>contact</b> avec milieu aquatique (baignade) Voie par <b>ingestion</b> (coquillages, pêche à pied) Voie par inhalation (rejet dans l'atmosphère de composés gazeux-aérosols)	Approches qualitatives (typologie des risques) et quantitatives : Evaluation des risques pour voies orales et contact issues du rejet en mer, Voie par inhalation et impact sonore non évalué quantitativement.
<b>2- Incinérateur B :</b> combustion des boues de la station d'épuration - Etude SAFEGE EVRY - Août 2006	Rejets atmosphériques  Risque chimique issu de rejets atmosphériques canalisés.	Voie par <b>inhalation</b> (Pas d'effluent liquide dans le milieu : rejets atmosphériques seuls considérés) Voie par <b>ingestion</b> (évaluation de la contamination du sol à partir des retombées atmosphériques et par rapport au bruit de fond).	Evaluation quantitative du risque par inhalation fondée sur des concentrations maximales autorisées à l'émission de la cheminée de l'incinérateur. Evaluation quantitative des risques par contamination de la chaîne alimentaire.
<b>3- Site Industriel C :</b> Activité de stockage et transit de déchets (liquides : acides, huiles, solvants, bases), lavage citernes routières. suite à des plaintes de voisinage, ERSEI donc évaluation des risques existants (site ayant autorisation d'exploiter depuis 2003). Etude SAFEGE EVRY - Mai 2007	Rejets atmosphériques  Risque chimique, émissions atmosphériques diffuses issues aux activités de : 1) transit et de stockage : émissions de gaz par mouvement lors du dépotage des cuves équipées de filtres à charbon actif + émissions par respiration (variations température jr/nuit lors du stockage des cuves équipées d'évents) 2) prétraitement des eaux hydrocarburées (émissions à l'intérieur d'un bâtiment : vapeurs d'hydrocarbures) 3) Lavage des citernes (produits alimentaires, produits chimiques, lavage extérieur) 4) station de traitement physico-chimique. Pas de rejets aqueux dans le milieu naturel (réseau communal).	Voie par <b>inhalation</b> (seule voie considérée dans l'ERSEI) Voie par ingestion non retenue car les produits émis ne sont pas bioaccumulables)	Approche quantitative

<b>Dossiers SAFEGE - type d'installation et contexte - année</b>	<b>Typologie des risques/Sources d'émissions</b>	<b>Voies d'exposition considérées</b>	<b>Type d'approche (qualitative, quantitative)</b>
<b>4- Site industriel D</b> - agroalimentaire, projet de récupération des graisses : création d'une filière de récupération des graisses issues de l'assainissement biocombustible : évaluation du risque lié à l'oxydeur thermique et au four d'incinération des boues - Etude SAFEGE ST GREGOIRE - décembre 2006	Rejets atmosphériques Bruit  Risques liés aux rejets aqueux déjà évalués (-ERS dossier ICPE –déc 2005) Risque chimique Risques liés aux émissions sonores Odeurs	Voie par <b>inhalation</b> Voie par <b>ingestion</b>	Approche quantitative
<b>5- Site industriel E</b> : agroalimentaire, fabrication de produits surgelés, plaintes relatives aux odeurs (projet de masquage d'odeurs par des composés odorants) - Etude SAFEGE ST GREGOIRE - Juillet 2007 (V 1) ; Fév 2008 - Mars 2008 (V 2)	Rejets atmosphériques Bruit  Risques liés aux rejets atmosphériques canalisés (four et friteuse) + dangers relatifs à la brumatisation des composés masquants (huiles essentielles)(oxydation par photolyse : UV-Ozone) : risques chimiques + Odeurs Emissions aqueuses Risques liés aux émissions sonores	<b>V 1 - Voie par inhalation</b> Voie par ingestion non étudiée (scénarii adultes et enfants) via la chaîne alimentaire non étudiée par manque de données et absence de modélisation  <b>V2 - Voie par inhalation et ingestion</b>	Approche quantitative
<b>6- STEP F</b> - Station d'épuration des eaux usées (Activité de traitement des boues - Utilisation de Biogaz) - Etude SAFEGE ST GREGOIRE -Avril 2005-(V 1) ; Septembre 2007 (V 2)	Rejets aqueux Rejets atmosphériques Bruit  Risques microbiologiques (V1) Risques chimiques issus des rejets atmosphériques issus de la combustion de biogaz (V2) Odeurs Bruit	V1 - Voie par contact (baignade, activités nautiques) Voie par ingestion (consommation de coquillages, conchyliculture, pêche à pied) : ERSEI de 2005 V2- Voie par inhalation (composés gazeux et aérosols) et ingestion non évaluée	Approche quantitative
<b>7- STEP G</b> : reconstruction de la station d'épuration - ERS, Communauté Urbaine - Etude SAFEGE ST GREGOIRE - Décembre 2005	Rejets aqueux Rejets atmosphériques Bruit  Risques chimiques Risques microbiologiques Risques phytoplanktoniques Risques liés aux émissions sonores	Voie par contact (baignades, activités nautiques) Voie par ingestion (d'eau, produits de pêche à pied) Voie par inhalation (évaluation qualitative : typologie des risques)	Approches qualitatives (typologie des risques) et quantitatives : Evaluation des risques pour voies orales et contact issues du rejet en mer, Voie par inhalation et impact sonore non évalué quantitativement.
<b>8- Site industriel H</b> : agroalimentaire : fabrication de produits alimentaires à base de poissons. Demande d'autorisation ICPE - ERSEI en raison de l'insuffisance du volet sanitaire de l'étude d'impact - Etude SAFEGE ST GREGOIRE Février 2004	Rejets aqueux Rejets atmosphériques Bruit  Risques microbiologiques Risques chimiques (rejets atmosphériques de la chaudière) Risques liés aux émissions sonores (pré-audit acoustique)	Voie par contact (baignades, lésions immergées) Voie par ingestion (d'eau, produits de pêche à pied) Voie par inhalation	Approches qualitatives (rejets en mer et atmosphériques)
<b>9- STEP I</b> : Aménagements visant à l'amélioration de la collecte, du traitement des effluents, des performances épuratoires –Actualisation du dossier (ERS). - Etude SAFEGE ST GREGOIRE Novembre 2004	Rejets aqueux Rejets atmosphériques Bruit  Risques chimiques Risques microbiologiques Odeurs (retour d'expérience station d'épuration J- Mai 2004) Risques liés aux émissions sonores	Voie par contact : activités nautiques (CK) + voie oro-digestive, voie par inhalation	Approches qualitatives et quantitatives
<b>10- STEP J</b> : extension de la station d'épuration - ERS - Etude SAFEGE ST GREGOIRE - Juin 2004 (V 1 : sans irrigation, V 2 : avec irrigation)	Rejets aqueux Rejets atmosphériques Bruit  Risques microbiologiques Risques chimiques Odeurs Risques liés aux émissions sonores	Voie par contact : activités type pratique du CK, production d'eau AEP, pêche en rivière... Voie par inhalation	Approches de type qualitatives

**Tableau 1 : présentation des dossiers SAFEGE étudiés**

Le tableau ci-dessus montre la diversité des cas rencontrés.

Les **activités des installations** concernées sont principalement :

- ✓ Des stations de traitements des eaux (création, extension, déplacement, nouveau procédé) : 6 dossiers.
- ✓ Des installations industrielles de type agro alimentaire (mise à jour dossier ICPE, projet de traitement odeurs, nouveau procédé) : 3 dossiers.
- ✓ Une installation de stockage et transit de déchets (nouveau procédé) : 1 dossier.

Nota : ce dernier type de dossier est récurrent pour SAFEGE qui applique la méthodologie proposée par les guides ASTEE s'y référant [28], [29].

Les **sources d'émissions** rencontrées dans la majorité des dossiers traités sont :

- ✓ Rejets aqueux, principalement pour les stations de traitement des eaux (6/10),
- ✓ Rejets atmosphériques, pour tous les dossiers (10/10),
- ✓ Bruit, pour beaucoup d'entre eux (8/10).

Les **risques répertoriés** dans les dossiers sont les suivants :

- ✓ Risques chimiques, pour les rejets aqueux et atmosphérique/odeurs,
- ✓ Risques microbiologiques, pour les rejets aqueux,
- ✓ Risques phytoplanctoniques, pour les rejets aqueux,
- ✓ Risques liés aux émissions sonores.

Les **voies d'exposition** au regard du type de rejets considérés sont de 3 types :

- ✓ Voie par ingestion : rejet aqueux et/ou atmosphérique,
- ✓ Voie par inhalation : rejets atmosphériques,
- ✓ Voie par contact : baignade et activités nautiques dans le cas de rejets aqueux).

Les approches adoptées pour l'étape d'exposition des populations peuvent être quantitatives ou qualitatives. Les approches qualitatives sont retenues en l'absence de données suffisantes, de populations exposées, ou en raison d'émission estimée comme nulle de l'installation. A contrario, les approches quantitatives sont privilégiées lorsqu'il est possible de quantifier le risque, à partir de données concernant les dangers identifiés (toxicités, spécificités, VTR...).

Il apparaît clairement des disparités quand au degré d'approfondissement mené dans les études.

Dans le cas des stations de traitement des eaux, les approches quantitatives concernent la plupart du temps les rejets aqueux, alors que les rejets atmosphériques font l'objet d'une évaluation plutôt qualitative.

Les ERSEI des installations industrielles de type agro alimentaire, stockage de déchets ou procédés spécifiques (incinération) qui sont essentiellement concernées par des problématiques de rejets atmosphériques, développent des approches systématiquement quantitatives.

Enfin, les émissions sonores sont traitées de manière essentiellement qualitative, hormis si des mesures sur site sont effectuées (cas des habitats situés à proximité).

La lecture des dossiers et la considération des éléments concernant l'exposition des populations ont montré que :

- ✓ Les ERSEI menées dans le cadre des stations d'épurations pour les rejets aqueux semblent aujourd'hui satisfaisantes au regard des avis favorables rendus par les administrations. Il existe de plus chez SAFEGE un mémoire définissant la méthodologie spécifique à ce type de situations.
- ✓ Les approches associées aux rejets atmosphériques sont les moins bien documentées et développées actuellement par le bureau d'étude, et l'amènent à devoir parfois fournir des compléments, voire reprendre la démarche d'étape d'exposition des populations totalement.

En conséquence, il est apparu préférable d'axer le champ d'étude de ce mémoire au seul média d'exposition que représentent les émissions atmosphériques selon les voies possibles : **Inhalation, Ingestion directe de sol et Ingestion indirecte via la chaîne alimentaire.**

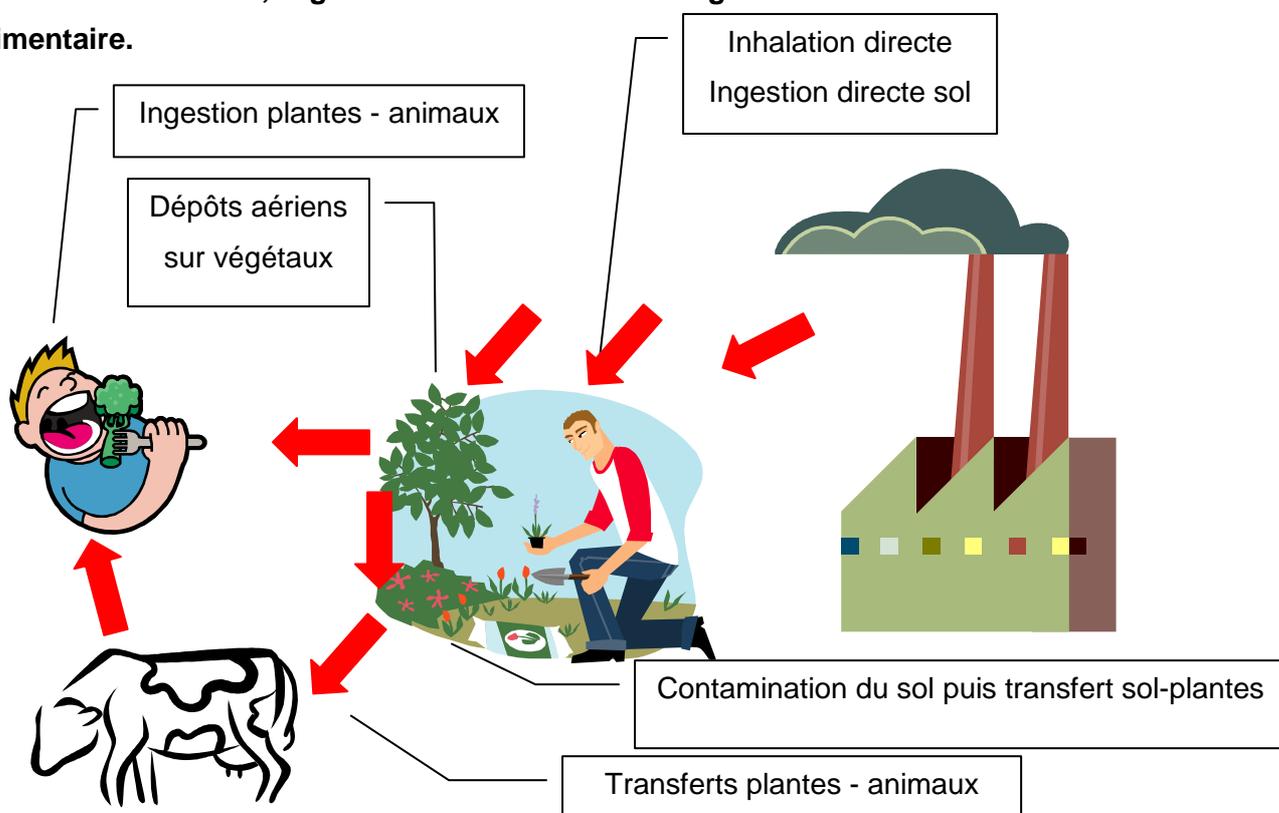


Figure 1 : Représentation des principales voies d'exposition considérées à partir d'un rejet atmosphérique

Les études n°1, 7, 9 et 10 du tableau 1 n'ont donc pas été retenues pour la suite de ce mémoire. Les autres études font l'objet d'une analyse critique permettant d'évaluer les pratiques méthodologiques actuelles relatives à l'étape d'exposition des populations. Cette analyse sera présentée ultérieurement en partie 3.2 de ce mémoire. Elle visera à déterminer plus précisément les manques, les difficultés rencontrées et à contrario, les étapes les mieux maîtrisées concernant la méthodologie adoptée en fonction du contexte et au regard des attentes de l'administration en charge des dossiers, permettant ainsi de fournir des éléments contextuels à intégrer dans la stratégie opérationnelle proposée en dernière partie.

La partie suivante de ce mémoire présente l'étape d'exposition des populations dans le cadre défini (**scénarios d'exposition par inhalation et ingestion issu d'un rejet atmosphérique**). Cette partie permet d'exposer les outils susceptibles d'être utilisés pour la quantification de l'exposition, en fonction du degré d'approfondissement défini.

## 2 Les questions spécifiques liées à l'exposition des populations

### 2.1 L'étape d'exposition des populations

#### 2.1.1 Définition

L'exposition généralement définie comme étant le contact entre un organisme vivant et une situation ou un agent dangereux, peut également être considérée comme la concentration d'une substance chimique dans le ou les milieux pollués mis au contact de l'homme [2].

#### 2.1.2 L'évaluation de l'exposition

L'évaluation de l'exposition consiste à déterminer les émissions, les voies de transfert et les vitesses de déplacement des substances et leur transformation ou leur dégradation afin d'évaluer les concentrations ou les doses auxquelles les populations humaines sont exposées ou susceptibles de l'être [1].

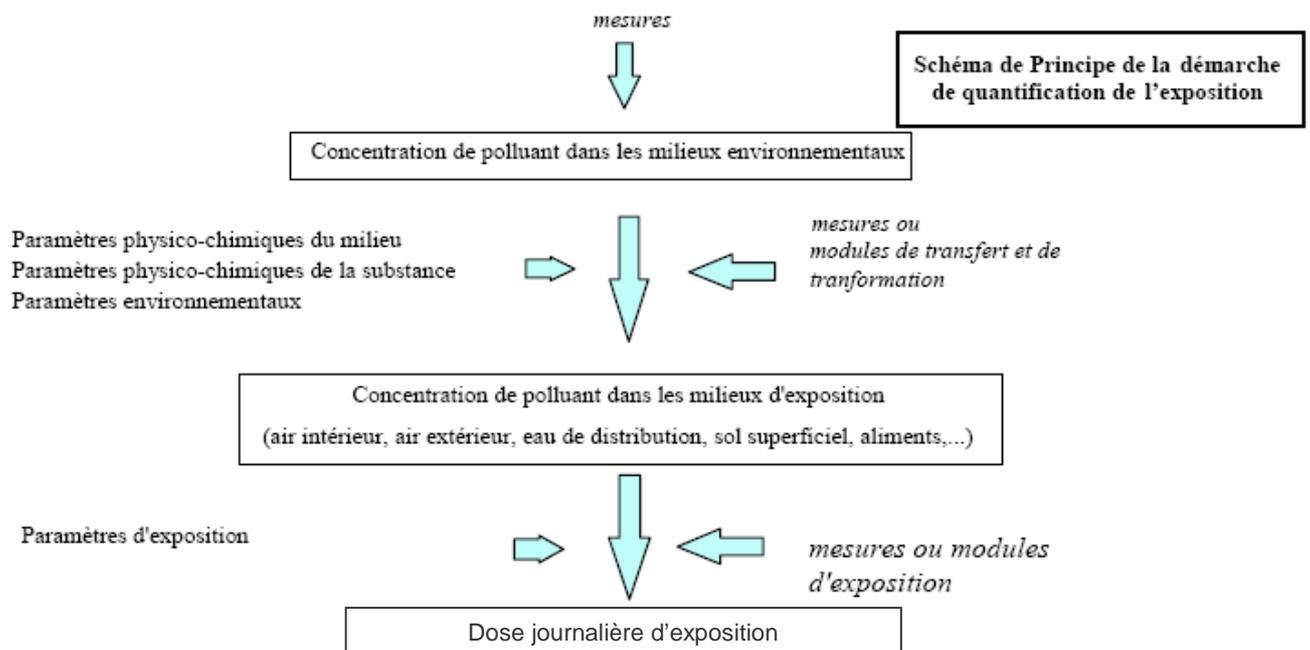


Fig 2 : Schéma de principe de la démarche de quantification de l'exposition [1]

Elle consiste d'un côté à produire des données descriptives sur les personnes exposées (âge, sexe, caractéristiques physiologiques, éventuelles pathologies et sensibilités) et les voies de pénétration des agents toxiques ou pathogènes. De l'autre, elle doit quantifier la durée, la fréquence, et l'intensité de l'exposition à ces substances pour chaque voie répertoriée.

L'objectif est ainsi de relier la concentration de la molécule toxique dans les différents vecteurs d'exposition aux doses présentées aux différentes portes d'entrée de l'organisme humain : orale, respiratoire et cutanée.

Les informations concernant la diffusion ou la propagation des agents dans les différents milieux de vie, en particulier ceux participant à la ou aux voies d'exposition décrites lors de l'étape précédente d'identification des dangers sont alors utilisées. Les niveaux de pollution de ces milieux sont estimés en recourant à une modélisation (notamment dans le cas d'un projet d'installation futur afin d'évaluer l'impact de son activité sur le milieu) ou à l'analyse d'échantillons prélevés dans les milieux environnants des installations existantes (cas des ERS de zone où l'objectif est plutôt d'évaluer l'exposition totale de la population à la contamination présente du milieu).

Cette étape qualitative et quantitative de l'ERS est aussi l'une des plus complexes à réaliser.

Les caractéristiques physico-chimiques des molécules toxiques et des milieux environnementaux, qui conditionnent les transferts et la biodisponibilité des polluants, vont jouer un rôle primordial dans cette relation, ainsi que la physiologie et le comportement des sujets exposés [2].

### Calcul des Doses d'Exposition [1]

Pour les expositions par **voie orale**, les quantités de polluants administrées pour un individu exposé sont exprimées d'une manière générale en dose journalière d'exposition (DJE en mg/kg/jr) de la manière suivante :

$$DJE_{ij} = \frac{C_i \times Q_{ij} \times F}{P} \times \frac{T}{T_m}$$

**DJE<sub>ij</sub>** : Dose journalière d'exposition liée à une exposition au milieu i par la voie d'exposition j (en mg/kg/j)

**C<sub>i</sub>** : Concentration d'exposition relative au milieu i (eau souterraine, eau superficielle, sol, aliments,...), exprimée en mg/kg, mg/m<sup>3</sup> ou mg/L

**Q<sub>ij</sub>** : Quantité de milieu i, c'est-à-dire de sol, d'eau .... administrée par la voie j par jour, exprimée en kg/j pour les milieux solides et en m<sup>3</sup>/j ou L/j pour les milieux gazeux ou liquides

**F** : Fréquence ou taux d'exposition : nombre annuel d'heures ou de jours d'exposition ramené au nombre total annuel d'heures ou de jours (sans unité)

**P** : Poids corporel de la cible (kg)

**T** : Durée d'exposition (années)

**T<sub>m</sub>** : Période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée (années)

Si, pour la voie d'exposition j, plusieurs milieux sont concernés (exemple eau et alimentation pour l'exposition par ingestion), il faut alors calculer une DJE totale :

$$DJE_{ij} = \sum_i DJE_{ij}$$

Pour les expositions par **voie respiratoire** et lorsque l'on considère des expositions de longues durées, il s'agit de calculer une concentration moyenne inhalée, retranscrite par la formule suivante :

$$CI = \left( \sum_i (C_i \times t_i) \right) \times F \times \frac{T}{T_m}$$

**CI**: concentration moyenne inhalée (mg/m<sup>3</sup> ou µg/m<sup>3</sup>)

**C<sub>i</sub>** : Concentration de polluant dans l'air inhalé pendant la fraction de temps t<sub>i</sub> (en mg/m<sup>3</sup>)

**t<sub>i</sub>**: fraction du temps d'exposition à la concentration C<sub>i</sub> pendant une journée

**T** : Durée d'exposition (en années)

**F** : Fréquence ou taux d'exposition nombre annuel d'heures ou de jours d'exposition ramené au nombre total annuel d'heures ou de jours (sans unité)

**T<sub>m</sub>** : Période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée (en années)

Pour les **effets à seuil** des polluants, les quantités administrées sont moyennées sur la durée de l'exposition (T<sub>m</sub> = T). En effet, le risque est associé au dépassement d'une dose donnée pendant la période d'exposition.

Pour les **effets sans seuil** des polluants, T<sub>m</sub> sera assimilé à la durée de la vie entière (prise conventionnellement égale à 70 ans, soit T<sub>m</sub> = 70). En effet, on considère que l'effet de chaque dose reçue isolément s'ajoute sans aucune perte et que la survenue de la réponse cancéreuse est fonction de la somme totale des doses reçues ; une forte dose sur une courte période produit le même effet qu'une plus faible dose reçue sur une période plus longue. Dans ce cas, le risque s'exprime sous la forme d'une probabilité d'occurrence qui augmente avec la dose reçue tout au long de la vie.

### 2.1.3 Les méthodes de quantification de l'exposition

#### Les méthodes directes :

La quantification de l'exposition humaine s'effectue par la mesure individuelle des temps de contact et des doses reçues par les voies de pénétration de la substance dangereuse dans le corps humain. La mesure de l'exposition s'effectue au point de contact par l'intermédiaire d'appareillage spécifique porté par les individus exposés tel que capteurs atmosphériques ou cutanés ou encore par prélèvements et analyse d'une partie des

aliments consommés afin de mesurer la teneur en polluants des vecteurs d'exposition ainsi recueillis [2].

Ces mesures, associées au volume ou à la masse de médias au contact quotidien de l'organisme, permettront la quantification des doses journalières externes de substances toxiques inhalées, ingérées, ou en contact cutané.

Il est également possible de mesurer la dose interne en recherchant la présence d'un bio-marqueur d'exposition dans le sang, les urines, les cheveux, etc...

De telles mesures permettent la détection et la confirmation de la présence du toxique dans l'organisme et ainsi d'établir une relation avec le niveau global de l'exposition humaine.

Ces méthodes directes sont précises mais nécessitent des moyens matériels et humains importants, coûteux. Elles sont parfois invasives, voire irréalisables selon le contexte et les enjeux.

D'autre part, les résultats de telles analyses sont encore difficilement interprétables ; certains bio-marqueurs peuvent être des métabolites communs à plusieurs toxiques, les relations doses-réponses sont encore mal établies pour ces mesures intégratrices, et l'usage de bio-indicateurs ne permet pas de déterminer la part de l'exposition relevant de la situation étudiée pour certaines substances largement répandues dans l'environnement telles que les HAP ou les dioxines.

#### Les méthodes indirectes :

Ces méthodes, produisent et exploitent des données à l'échelle collective et sont donc plus approximatives. Elles sont davantage utilisées lorsque l'étude est de nature prédictive et que l'évaluation porte sur une situation future comme c'est le cas dans la majorité des ERSEI.

Il s'agit de mesurer les teneurs en polluants dans les différents médias environnementaux et les quantités quotidiennement consommées de chacun de ces vecteurs en alliant parfois métrologie et estimations issues de données transposées (données du site, bibliographiques) ou de modélisation.

Les phénomènes de transfert de la substance chimique depuis le milieu-source de pollution vers les autres médias (air, eau, sol, poussières, chaîne alimentaire) sont ici traduits sous forme de fonctions mathématiques.

A partir du flux en substances toxiques dans le milieu pollué, à savoir, la source, le modèle vise à estimer les concentrations attendues en d'autres lieux géographiques et/ou dans les autres compartiments de l'environnement potentiellement atteints ainsi que l'évolution temporelle des teneurs en polluant. Il sera ainsi possible d'estimer les doses moyennes journalières administrées à l'homme via les trois principales voies de

pénétration dans l'organisme : c'est le principe des modèles d'exposition humaine multimédia.

La modélisation des transferts et de l'exposition humaine produit des résultats à interpréter avec beaucoup de prudence. En effet, ces modèles reposent sur des observations expérimentales partielles et non représentatives de la réalité, sur des hypothèses et des simplifications choisies le plus souvent à titre conservatoire pour la santé publique et n'ont pas toujours été validés.

Lors de leur utilisation, il convient de connaître la structure et les codes de calcul du logiciel employé pour comprendre la signification des estimations obtenues et les corriger ou les ajuster au besoin (prise en compte de manière plus appropriée de certaines modalités d'exposition ou de certains paramètres selon le contexte). Il apparaît également nécessaire de quantifier le niveau d'incertitude des estimations produites au final par le biais notamment d'une analyse de sensibilité ainsi que de discuter de leurs effets (tendent-elles à minorer ou à majorer les résultats ?).

## **2.2 Les outils de quantification de l'exposition des populations**

L'exposition à une substance toxique dépend de la concentration de la substance dans un milieu et de son comportement physico-chimique, des voies et des conditions d'exposition des individus en contact. Elle est caractérisée par sa durée, sa fréquence, la détermination des voies d'exposition et par le niveau de concentration.

L'estimation des expositions se déroule en plusieurs étapes qui peuvent être déclinées de la manière suivante [3] :

- le choix argumenté des voies d'expositions retenues : inhalation, ingestion, contact cutané,
- la description des méthodes et outils utilisés pour la détermination des concentrations dans les différents médias environnementaux (air, sol, végétaux...) entrant en contact avec l'homme. Sont alors introduites les données de l'état initial dans l'air, dans le sol, et dans l'eau pour les concentrations des polluants étudiés,
- la définition des scénarios d'exposition précisant les populations cibles, les durées d'exposition, les hypothèses de ration alimentaire etc,
- le calcul, pour les populations cibles, des quantités de polluant absorbées sous la forme d'une dose d'exposition.

Ces différentes étapes nécessiteront le recours aux méthodes et aux outils précédemment mentionnés à savoir aux mesures analytiques lorsque cela s'avère possible, ou à la modélisation le plus souvent, voire aux deux simultanément.

### **2.2.1 Mesures par prélèvements et échantillonnage**

La métrologie nécessitera davantage le recours à l'identification de la source de pollution par :

- des prélèvements et analyses d'air, d'eau, de sol,
- la recherche de la concentration des polluants dans les différents compartiments d'exposition analyses dans les aliments, l'eau de distribution, à l'intérieur des habitations...),
- l'exposition personnelle des individus : port d'appareils de prélèvement par des sujets exposés,
- la recherche de bio-marqueurs dans les milieux biologiques.

Ces mesures directes, qu'elles soient environnementales ou biologiques, requièrent, outre la participation active des populations exposées, des moyens matériels et financiers importants, et sont plus spécifiquement réservées aux cas de pollution avérés ou aux situations de crise.

En terme d'ERSEI liée à un projet d'aménagement de site, il n'est pas possible de réaliser ces types de mesures puisque l'exposition imputable à la future installation n'existe pas encore. L'approche par modélisation est alors requise. Elle permet d'estimer les concentrations aux points d'exposition considérés.

### **2.2.2 La modélisation**

La modélisation constitue une approche simplifiée de la réalité. C'est la seule manière de prédire et d'étudier un impact avant la mise en fonctionnement d'une installation. Elle permet de représenter des phénomènes sur le long terme en prenant en compte l'évolution des concentrations (lorsque l'approche considérant les concentrations constantes au cours du temps n'est plus adaptée) et de tester des situations fictives. Elle permet également de prédire les concentrations faibles, inférieures aux limites de détection, mais qui peuvent néanmoins causer des effets toxiques.

Concernant le type d'émissions et les voies d'exposition retenues dans le cadre de ce mémoire, à savoir inhalation et ingestion (Cf conclusions de la partie 1 de ce mémoire), nous nous intéresserons plus particulièrement aux modèles de dispersion atmosphérique et, dans un deuxième temps, aux modèles multimédia d'exposition.

L'objectif de l'évaluateur étant de répondre à la demande du pétitionnaire en fonction du principe de proportionnalité et du degré d'approfondissement de l'étude nécessaire, il convient d'établir ici une présentation des différentes catégories de modèles disponibles sur le marché et permettant une quantification de l'exposition des populations adaptée.

### 2.2.2.1 *La modélisation de la dispersion atmosphérique : [1].*

La modélisation numérique relative aux phénomènes de dispersion atmosphérique peut se traduire par l'évaluation mathématique des équations physico-chimiques qui décrivent le transport et l'interaction des polluants selon les conditions météorologiques. Différents types de modèles existent, qui permettent de déterminer une concentration en un agent polluant et en un point précis d'une zone d'étude.

Il peut s'agir de simple formules empiriques, fondées sur les caractéristiques physiques de la source d'émissions (type de rejet, hauteur de cheminée, diamètre, vitesse d'éjection, sur-hauteur de panache...) et sur celles du polluant considéré (densité, forme gazeuse ou particulaire, réactivité chimique..) ou d'un ensemble de codes de calculs plus complexes intégré dans un logiciel prenant en compte les principales singularités des sites : complexité topographique, situation géographique, conditions météorologiques locales... Selon la situation, le contexte et l'enjeu sanitaire de l'étude considérée ainsi que le niveau de précision attendu des résultats, on décidera d'investir dans un modèle plus ou moins complexe à mettre en œuvre en considérant les besoins matériels et humains adéquats.

Il existe aujourd'hui une multitude d'outils de modélisation allant des plus simples (modèles gaussiens rectilignes) aux plus compliqués (simulation numérique 3D), du modèle « maison » ou « boîte noire » aux modèles disponibles gratuitement sur Internet et aux logiciels commercialisés. Il n'est pas toujours aisé de comparer et d'opter pour le choix d'un modèle par rapport à un autre sans au préalable avoir établi un certain nombre de critères de comparaison.

Pour ce faire, il convient de présenter les différentes catégories de modèles en précisant leurs avantages mais également leurs limites et avant tout leur domaine d'application.

Les principes généraux rappelant les mécanismes de la dispersion atmosphérique sont présentés en Annexe 1 afin de mieux comprendre les phénomènes sur lesquels ils reposent.

#### *a) Les différentes catégories de modèles :*

Les outils de modélisation numérique tentent de reproduire les différents mécanismes de la dispersion atmosphérique aux différentes échelles.

Il existe trois grandes catégories de modèles de dispersion : gaussiens, eulériens, lagrangiens. Ces modèles de dispersion sont dits déterministes. Ils établissent une chaîne de cause à effet entre les couples (émissions-météo) et les concentrations. Il est ainsi

possible de tester l'effet de différents scénarios pour lesquels on obtiendra, pour une maille donnée du domaine, une concentration donnée.

Les modèles déterministes s'appuient sur des équations physiques de conservation (masse, chaleur, mouvement) [4].

### ■ Les modèles gaussiens :

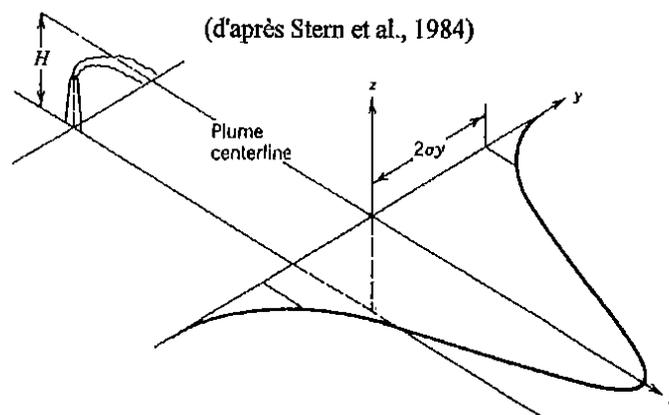


Fig 3 : schéma de principe des modèles gaussiens [5]

Historiquement ces modèles ont été développés pour les études de rejets industriels (hors sources diffuses) et sont plus adaptés aux sources canalisées [1].

Ils sont basés sur l'équation de transport-diffusion utilisée dans des conditions simplificatrices pour lesquelles il existe une solution analytique sous forme gaussienne.

Ces modèles supposent que la répartition du polluant suit une loi gaussienne dont les écart-types dépendent de la distance à la source (Pasquill, Turner,...) ou du temps écoulé depuis l'émission (temps de transfert, (Doury)) ainsi que des caractéristiques de la structure de l'atmosphère.

Ce type de modèle permet de prédire des concentrations au sol de rejets gazeux non réactifs ou de particules solides.

Ces modèles sont bien adaptés à des études opérationnelles (calculs en temps réel, étude d'impact) car ils nécessitent des temps de calcul limités (en général inférieurs à 15 minutes) et permettent ainsi l'étude d'un grand nombre de cas.

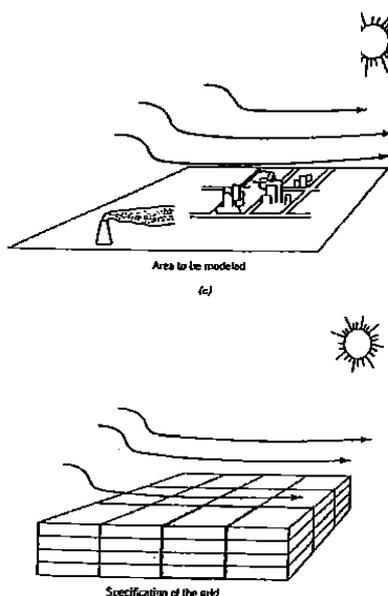
Le modèle gaussien est facile d'utilisation, demande peu de données d'entrée et offre une rapidité d'exécution [6]. Il convient à la gestion des situations d'urgence au cours desquelles il peut être un outil puissant d'aide à la décision.

Cependant, il n'est applicable que sur des rejets continus, en terrains homogènes et plats, pour des caractéristiques météorologiques constantes dans l'espace et pour des polluants ayant les mêmes propriétés que l'air (densité et température).

Il n'est pas non plus adapté en routine pour l'existence de vents faibles, ainsi que pour des concentrations du polluant évolutives dans le temps, et reste difficilement utilisable dans des situations d'écoulement très compliqué (relief, obstacles multiples) ou lorsqu'il est nécessaire de traiter des processus physico-chimiques complexes. Enfin, il ne permet pas le calcul en champ proche de la source (mais à plus de 100 m de celle-ci) et ne permet l'étude de la dispersion du polluant que sur des distances de l'ordre de la dizaine de kilomètres.

Les modèles de type gaussien et notamment ceux dits de deuxième génération (qui permettent la prise en compte d'un plus grand nombre de facteurs tels que l'orographie et les bâtiments) restent les modèles de références recommandés par l'US-EPA dans les situations « simples » [4].

#### ■ Les modèles eulériens (3D) :



Ces modèles sont basés sur une résolution numérique des équations de transport-dispersion et sur un maillage de l'espace. Ils se caractérisent par le fait que les phénomènes physiques sont étudiés par rapport à un repère fixe. Le domaine d'étude en 3D est découpé en volumes élémentaires (maille) et pour chaque volume, les équations de conservation (masse, quantité de mouvement, énergie) qui régissent la mécanique des fluides doivent être résolues [4].

Fig 4 : schéma de principe des modèles  
Eulériens [5]

Le modèle eulérien intègre un champ de vent calculé préalablement sur ce maillage. Puis, pour chaque élément de la grille, la concentration de chaque espèce de polluant est calculée selon des équations différentielles (Navier Stokes), les lois de conservation de la masse et de la diffusion moléculaire.

Ces modèles tridimensionnels prennent en compte les transformations chimiques et décrivent les phénomènes atmosphériques plus finement que les codes gaussiens puisqu'ils offrent la possibilité de définir une variabilité temporelle et spatiale des conditions météorologiques [6]. Ils peuvent ainsi tenir compte de situations plus complexes en terme de topographie et de météorologie, et constituent la seule alternative raisonnable pour le traitement numérique de certaines situations telles que :

- ✓ les zones de forts reliefs (montagnes...),
- ✓ les situations dans lesquelles on souhaite évaluer l'impact de la source en champ proche et en présence d'obstacles (bâti),
- ✓ la prise en compte des sources diffuses,
- ✓ l'existence de plusieurs sources à estimer.

Ces outils peuvent se révéler très performants si le domaine de calcul est suffisamment maillé. Il s'agit de trouver le bon compromis entre la résolution spatiale (à savoir le nombre de mailles que l'on s'autorise) et le prix que cela implique en temps de calcul.

Le domaine d'application de ce type de modèle sera différent de celui des modèles gaussiens précédemment décrits car ils sont lourds à mettre en œuvre (place mémoire et temps de calcul élevé) et ne peuvent être utilisés de manière pertinente que par des utilisateurs avisés.

Leur usage est ainsi limité à la simulation de situations ponctuelles (mise en évidence de caractéristiques d'un type de conditions météorologiques pour lesquelles le calcul est effectué, phénomènes locaux, dispersion autour des bâtis...). Le choix de ces situations est dicté par la prédominance de tel ou tel vent sur le site (après analyse de la rose des vents), la recherche de scénarios majorants et donc pénalisants du point de vue de la dispersion, la proximité des zones sensibles (villages, écoles, hôpitaux...).

Ces modèles ne sont pas adaptés pour des simulations en temps réel et leur utilisation pour des études d'impact doit être envisagée une fois que les autres approches ont montré leurs limites. En effet, les temps de calcul d'un modèle eulérien sont souvent très importants (de quelques heures à plusieurs jours) et difficilement compatibles avec des études opérationnelles [7].

## ■ Les modèles lagrangiens (3D) :

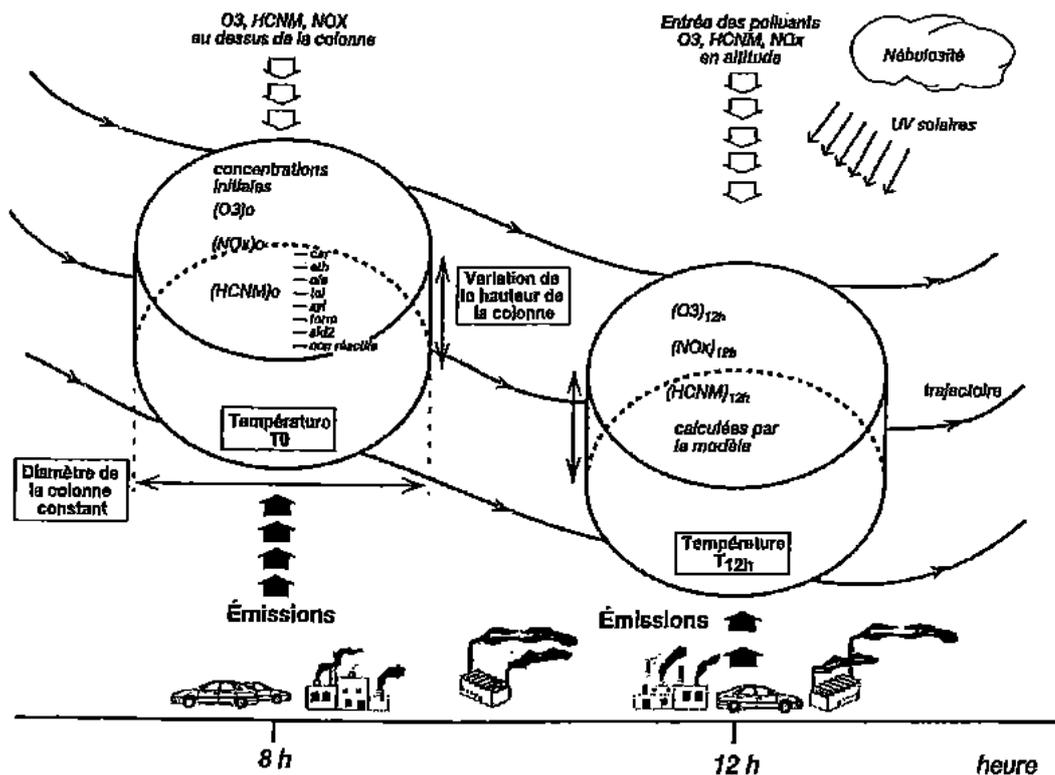


Fig 5 : schéma de principe des modèles lagrangiens [5]

Ces modèles sont basés sur le suivi des trajectoires d'un grand nombre de particules dans l'écoulement ; ils permettent de bien modéliser l'influence de la turbulence sur la dispersion [7].

Ils se caractérisent par le fait que le repère n'est plus fixe mais suit les particules étudiées. Les panaches sont discrétisés en particules et sont décrits par le déplacement d'éléments, particules ou bouffées que l'on peut suivre dans leurs mouvements. Les équations sur lesquelles ils reposent respectent le principe de conservation de la masse. Comme dans le cas des modèles eulériens, il faut définir un maillage.

Le modèle lagrangien permet de traiter des émissions non stationnaires, et de traiter le problème en tridimensionnel. Il est adapté au calcul de la dispersion de rejets de cheminées dans des environnements construits ou à fort relief [4].

Le modèle lagrangien est préféré au modèle eulérien lorsqu'on ne doit prendre en compte qu'une seule source et sa mise en œuvre est un peu plus aisée.

On distingue le modèle à particules et le modèle à bouffées (« puff models »).

- ✓ Dans le modèle à particules, chaque particule est traitée comme un point, effectuant un déplacement élémentaire soumis à un mouvement aléatoire déduit de la turbulence locale (vent + mouvement stochastique). La concentration est

définie comme la somme de tous les points se trouvant dans un volume donné. Plus le nombre de particules est grand, plus le calcul est lourd.

- ✓ Dans le modèle à bouffées, le rejet est décrit comme une succession de bouffées émises les unes à la suite des autres. La diffusion de ces bouffées s'opère dans toutes les directions et chaque bouffée, transportée par le vent, subit une diffusion gaussienne dans les 3 dimensions. Le centre de masse de chaque bouffée suit la trajectoire du vent de la maille concernée. La concentration du polluant est obtenue en chaque point par calcul de la contribution de chaque bouffée de chaque source. Ce type de modèle permet la prise en compte du relief et de la présence d'obstacles, la reproduction fidèle du champ de vent observé, la prise en compte d'une météorologie variable ainsi que l'évolution spatio-temporelle de la concentration. Il est utilisable pour des situations un peu plus simples que le modèle eulérien car la situation 3D est parfois approximée (ex : forme du panache simplifiée). Ses limites sont l'occupation des sols estimée à partir de la rugosité, sa moindre adaptation à des polluants de masse volumique proches de l'air et les difficultés calculatoires en présence de plusieurs sources.

*b) Qualité des résultats selon le type de modèle utilisé :*

La qualité des résultats d'un modèle de dispersion dépend de nombreux facteurs relatifs au modèle en lui-même, mais également à la façon dont il est mis en œuvre [7].

Ces différents facteurs sont :

- ✓ La qualité intrinsèque du modèle : à savoir sa capacité à simuler le phénomène pour lequel il a été développé. Cette aptitude dépend d'une part des hypothèses simplificatrices effectuées dans la constitution du modèle et d'autre part, des techniques utilisées pour résoudre le phénomène amplifié.
- ✓ L'adéquation entre le modèle et le problème à traiter : un modèle peut être excellent pour traiter une situation particulière et peut ne pas être adapté à d'autres situations. Ainsi, s'il est utilisé hors de son contexte, il donnera des résultats erronés. D'où l'importance de bien prendre en considération son domaine d'application lors du choix de modèle à utiliser.
- ✓ La qualité des données utilisées : un modèle utilise des paramètres d'entrées. Si ces derniers sont imprécis, le résultat de la simulation le sera également. Il n'est donc pas utile de mettre en œuvre un modèle très performant ou sophistiqué lorsqu'on ne dispose pas des données d'entrée suffisantes pour l'alimenter.

- ✓ L'expertise du modélisateur : elle est indispensable dans l'analyse du problème à traiter, dans le choix du modèle de dispersion, dans sa mise en œuvre ainsi que dans l'interprétation des résultats.

Une bonne adéquation de ces 4 facteurs permettra d'obtenir les meilleurs résultats.

c) *Etude comparative des différents modèles répertoriés :*

Le tableau suivant expose les principaux avantages et limites des deux grandes catégories de modèles de dispersion cités précédemment :

	<b>Modèle gaussien 2D</b>	<b>Modèles 3D (Eulériens / Lagrangiens)</b>
<b>Principaux avantages</b>	Facilité de mise en oeuvre Coût peu élevé	Champ d'application étendu Débits variables Relief Rendu pédagogique excellent
<b>Principales difficultés</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Conditions météorologiques qui jouent un rôle essentiel au moment d'un rejet</li> <li>- Caractéristique du terme source</li> <li>- Caractéristiques d'un éventuel jet (direction, présence d'obstacles, ...)</li> <li>- Conditions de perte de confinement</li> <li>- Débit à la brèche</li> <li>- Obstacles et relief en général non pris en compte / terrain plat</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Conditions météorologiques qui jouent un rôle essentiel au moment d'un rejet</li> <li>- Caractéristique du terme source</li> <li>- Caractéristiques d'un éventuel jet (direction, présence d'obstacles, ...)</li> <li>- Conditions de perte de confinement</li> <li>- Débit à la brèche</li> <li>- Coût élevé</li> <li>- Difficultés de mise en oeuvre, données détaillées à réunir nécessite des compétences (coût de main d'oeuvre)</li> <li>- Raccordement cartographique entre 2D/3D</li> </ul>
<b>Principales limitations</b>	Conditions météorologiques moyennes : <ul style="list-style-type: none"> <li>- champ lointain (distance de l'ordre de 100 m à une dizaine de km de la source) et terrain plat</li> <li>- aux nuages ne s'éloignant pas trop du sol (à cause du cisaillement vertical)</li> <li>- aux vents de direction constante et de vitesse non nulle</li> <li>- à partir d'une vitesse de vent supérieure à 1 m/s</li> </ul>	Dépendent de la qualité des données d'entrée liées aux conditions et aux limites du problème à traiter (topographie, profils verticaux de vents et de température, etc.).

*Tableau 2 : comparatif des modèles Gaussiens et tridimensionnels*

Il existe de nombreux modèles de dispersion atmosphérique commercialisés présents sur le marché actuellement. Ne pouvant en réaliser une étude particulièrement exhaustive au regard des contraintes de temps imposées ainsi que du sujet même de ce mémoire qui requiert un ensemble de données variées, nous ne considérerons dans cette étude que certains modèles gaussiens parmi les plus couramment utilisés au niveau national et ayant fait l'objet d'évaluation et de comparaison par des organismes scientifiquement reconnus (US-EPA, INERIS, Ecole Centrale de Lyon...).

Les **modèles tridimensionnels** (Eulériens et Lagrangiens), malgré leurs avantages techniques et le degré de précision qu'ils peuvent atteindre dans certaines situations (Cf tableau 2) sont associés à des coûts financiers plus importants et des exigences plus élevées tant en terme de qualification des utilisateurs qu'en ce qui concerne l'acquisition de données d'entrées. Enfin, leur utilisation est associée à des situations spécifiques (sources diffuses, relief important...). Par conséquent, ils ne feront pas l'objet d'une étude comparative dans ce mémoire. Ils pourront cependant, dans certains cas de figure spécifiques, être utilisés en faisant notamment appel à la sous-traitance.

Les **modèles gaussiens** de dispersion atmosphérique retenus comme outils potentiellement intéressants en terme d'investissement et adaptés aux ERSEI menées à SAFEGE sont présentés dans le tableau figurant en Annexe 2.

Ainsi, en terme de modèles de dispersion atmosphérique déclinés sous forme de logiciels, les 5 modèles gaussiens suivants : ADMS 4, ARIA impact, Screen3, ISC3, et AERMOD peuvent ainsi être comparés.

Les critères de comparaison de départ ont été les suivants :

- ✓ l'origine et l'année de mise sur le marché,
- ✓ les phénomènes pris en considération dans les équations,
- ✓ les données et paramètres d'entrées requis,
- ✓ la nature des sources d'émissions considérées,
- ✓ la période,
- ✓ les besoins matériels et humains,
- ✓ le domaine d'application,
- ✓ les avantages et limites du modèle,
- ✓ la forme présentée du résultat,
- ✓ l'investissement financier.

Tous n'ont pu être obtenus pour chacun des modèles, mais les informations recueillies ont permis de définir un certain nombre de spécificités quant à leur utilisation.

Le tableau suivant récapitule les conditions d'utilisation de chacun d'entre eux :

Modèle de dispersion atmosphérique	ADMS 4 (CERC)	ARIA impact (ARIA Technologie)	Screen3 (US-EPA)	ISC3 (US-EPA)	AERMOD (US-EPA)
<b>Année/Génération</b>	Modèle gaussien de seconde génération	Modèle gaussien de 1 <sup>ère</sup> génération	Modèle de 1 <sup>ère</sup> génération dit de criblage	Modèle gaussien de 1 <sup>ère</sup> génération complexe	Modèle gaussien de seconde génération
<b>Domaine d'utilisation : sources d'émission</b>	Sources multiples	Sources multiples	Source unique	Sources multiples	Sources multiples
<b>Degré d'approfondissement</b>	Modèle avancé, prise en compte de nombreux paramètres	Modèle avancé, prise en compte de nombreux paramètres	Modèle simple, utilisable en première approche de l'ERS	Modèle de référence largement utilisé par le passé	Modèle avancé, prise en compte de nombreux paramètres, amené à remplacer ISC3
<b>Coût – accessibilité (indicatif)</b>	5 à 10000 Euros suivant le type de licence (annuelle, permanente)	10 à 12000 Euros	Téléchargeable gratuitement sur le site de l'US-EPA	Téléchargeable gratuitement sur le site de l'US-EPA	Téléchargeable gratuitement sur le site de l'US-EPA
<b>Avantages - inconvénients</b>	Nombre de situations prises en compte plus large que les autres : Relief modéré, polluants multi-espèces, prise en compte dépôts secs/humides, temps de calcul très court, mises à jour régulières	Utilisables sur situations simples, prise en compte du relief de façon simplifiée, temps de calcul très court, requiert moins de données que les modèles plus sophistiqués Spectre d'étude moins large qu'ADMS4	Facile d'accès mais résultats obtenus = concentrations dans le pire des cas, pour 1 source unique et pendant 1 heure	Facile d'utilisation, constance des résultats obtenus, nombre de paramètres d'entrées relativement faible. Résultats obtenus = le pire état d'impact. Trouve aujourd'hui ses limites par rapport à l'amélioration des connaissances sur les mécanismes de la dispersion atmosphérique	Modes de calculs basés sur les mêmes algorithmes qu'ADMS Adapté au terrain simple et complexe. Utilisés avec des modules météo et topographique.

*Tableau 3 : comparatif des modèles de dispersion atmosphérique*

Tous ces modèles requièrent un certain nombre de paramètres d'entrée plus ou moins important, en fonction de leur degré de complexité. Une compilation exhaustive de ces données ne pouvant être réalisable dans le cadre de ce mémoire, le tableau en Annexe 3 synthétise les données susceptibles d'être le plus communément nécessaires.

*d) Conclusion sur les modèles de dispersion atmosphérique*

Il apparaît clairement qu'il n'existe pas d'outil « idéal » permettant de traiter tout type de situation (rejets, environnement, météorologie). A chaque contexte d'étude convient un type de modèle, dépendant de critères techniques, du degré de précision et d'approfondissement attendu ainsi que de l'investissement financier et matériel requis.

Toutefois, des propositions quant au choix éventuel d'un modèle pour SAFEGE, seront formulées dans la partie 4.2 « Perspectives et propositions pour le bureau d'études » de ce mémoire.

Rappelons que le choix d'un modèle sera fonction de différents critères : [7]

- Critères techniques : phénomènes considérés lors du phénomène de dispersion.
- Contraintes opérationnelles : temps de calculs formation de l'utilisateur, nombre de paramètres d'entrées requis, qualité, fiabilité et accessibilité de ces données d'entrée nécessaires.
- Contraintes financières : coût d'une licence (temporaire/définitive) d'utilisation d'un logiciel, de sa mise à jour, coûts des données météorologiques, topographiques requises.

La modélisation de la dispersion atmosphérique d'un rejet à partir d'une source émettrice permettra de déterminer une concentration moyenne à partir de laquelle il sera possible d'évaluer une dose d'exposition par inhalation.

L'objectif de ce mémoire étant de considérer les voies d'exposition par inhalation et ingestion, il semble judicieux de considérer les phénomènes de transfert via d'autres compartiments.

D'autres outils, les modèles multimédia, permettent de prendre en considération simultanément différentes voies d'exposition et de nombreux phénomènes ou sous phénomènes de transfert.

#### *2.2.2.2 Les modèles d'exposition multimédia :*

##### *a) Définition : [8]*

Contrairement aux modèles de transfert qui sont spécifiques à un milieu en particulier, tels les modèles de dispersion précédemment présentés, les modèles multimédias sont des modèles « tout en 1 », permettant le calcul des niveaux d'exposition, voire du risque par la prise en compte de l'intensité de la source, du comportement des substances dans l'environnement, des différentes voies d'expositions considérées ainsi que des variables humaines d'exposition.

Ces outils permettent le calcul des concentrations de polluants dans les milieux environnementaux en fonction d'une source définie par l'utilisateur ainsi que l'évaluation des doses d'exposition et/ou de risque pour la population.

Le développement de ce type d'outils correspond à la volonté de prendre en compte les expositions et donc les risques cumulés que subit un individu au travers des différentes voies d'exposition [8].

Dans le cadre d'un rejet atmosphérique, les concentrations en amont nécessaires aux calculs peuvent être déterminées soit par mesures, soit par modélisation.

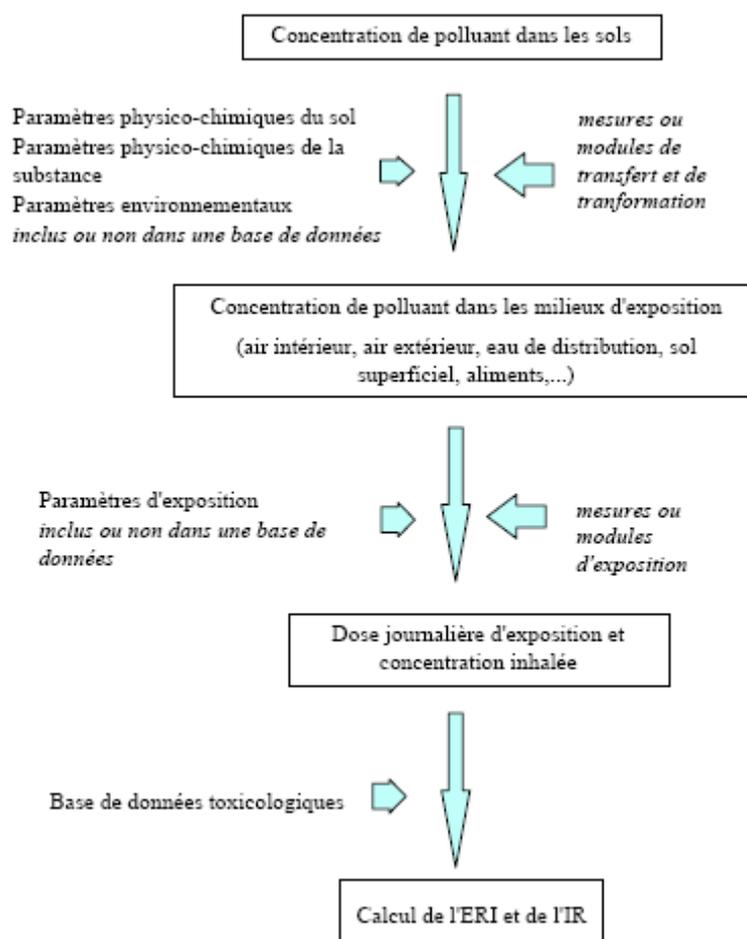


Fig 6 : Composition d'un « modèle d'exposition » [1]

*b) Principe :*

Dans les modèles, un milieu est représenté par un « compartiment » considéré comme un sous-ensemble homogène de l'environnement. Schématiquement, il est possible de définir un environnement en le décomposant en trois grands compartiments : l'air, l'eau et le sol.

De manière plus exhaustive, d'autres compartiments peuvent également être considérés : le sédiment, les particules dans l'air, les particules dans l'eau, les végétaux, les

organismes vivants...Il est possible de définir autant de compartiments que le demandent les objectifs du modèle et que le permettent les données disponibles. Chaque compartiment est défini par sa taille, ses propriétés physiques et chimiques et les relations qu'il entretient avec les autres compartiments vers lesquels les transferts de polluant sont possibles [9].

Les paramètres d'entrée concernant la substance étudiée, l'environnement du site et le comportement des populations cibles, à savoir les Variables Humaines d'Exposition (VHE) doivent être précisément renseignés. Ces dernières seront abordées plus précisément en partie « modalités d'exposition des populations de ce mémoire ».

*c) Les différents types de modèles multimédia [9] :*

Ce terme peut désigner des outils de natures très différentes. Il peut s'agir de logiciels permettant de modéliser les phénomènes de dispersion dans un milieu particulier, parfois d'équations présentées dans un guide méthodologique permettant de définir des valeurs d'alerte en fonction du risque pour la santé, ou encore de logiciels intégrant des bases de données sur les budgets espace-temps des populations et calculant l'exposition et/ou le risque en fonction des concentrations préalablement entrées par l'utilisateur ou calculées lors d'une première étape avant de décider de poursuivre ou non l'étude selon le degré d'approfondissement attendu.

Un certain nombre de ces modèles d'exposition prennent en compte l'ensemble des milieux d'exposition intéressant le cas d'étude, mais ils le font à partir de divers modules de transfert juxtaposés les uns aux autres et non couplés. Chaque module permet de calculer les transferts de polluants au sein d'un milieu. Les données de sorties alors obtenues servent à alimenter un autre module en aval, qui traite des transferts dans un autre milieu.

Par exemple, dans le cas d'une étude considérant la voie d'ingestion, la quantité de polluant s'accumulant dans les végétaux consommés n'est pas déduite de la quantité présente initialement dans le sol, les quantités de polluant déposées sur le sol à partir de l'atmosphère ne sont pas déduites de la concentration de celle-ci, et dans certains cas, la quantité de polluant émise dans l'atmosphère à partir du sol ou celle qui lixivie à partir du sol n'est pas déduite de la quantité initialement présente dans le sol.

Ces modèles sous-entendent en fait la recharge du sol en polluant de manière continue et n'intègrent donc pas le principe de conservation de la masse.

D'autre part, les transferts secondaires ne sont pas considérés de manière complète.

L'utilisation de ce type de modèles appelés modèles de criblage ou *screening models* peut suffire pour une première étape d'évaluation du risque.

D'autres modèles dits « de fugacité », permettent de pallier partiellement aux inconvénients décrits ci-dessus mais restent également des modèles de criblages. Ces modèles, pouvant servir à estimer les doses d'exposition des populations cibles, ou permettant de prendre en compte la distribution d'un polluant dans les divers compartiments, respectent le principe de conservation de la masse.

Ils peuvent se décliner en quatre niveaux de complexité successifs suivant l'état d'équilibre entre les différents compartiments.

Ces modèles de criblage peuvent être plus ou moins affinés en fonction du nombre de compartiments considérés. Notons que la plupart de ces modèles présentent des limites liées au type de substances (préférentiellement organiques) et à l'échelle spatiale auxquelles ils peuvent être appliqués.

Les modèles multimédia répertoriés et comparés dans le cadre de ce mémoire sont présentés dans le tableau figurant en Annexe 4. Le recensement des différents modèles présentés repose essentiellement sur une sélection à partir de l'Etude d'intercomparaison de modèles multimédia d'exposition publiée par l'INERIS en 2006 [10] et de l'adéquation possible de ces modèles au cas spécifique de l'exposition aux rejets atmosphériques industriels par inhalation et ingestion (élimination des modèles spécifiques aux sites et sols pollués).

#### *d) Conclusion sur les modèles multimédia :*

De même que pour les problématiques de dispersion atmosphérique, il apparaît là aussi qu'il n'existe pas d'outil « idéal » permettant de traiter tout type de situation. En revanche, le nombre de modèles multimédia réellement utilisables dans le cadre d'une ERSEI liée à une émission atmosphérique est beaucoup plus limité.

En ce qui concerne l'évaluation du risque liée à un rejet atmosphérique et considérant les voies par ingestion et inhalation, on constate que seuls quelques modèles multimédia peuvent convenir. Il conviendra alors de choisir le modèle à adopter selon le contexte de l'étude et au cas par cas. Ce choix peut s'effectuer selon plusieurs critères :

- l'élaboration du schéma conceptuel listant l'ensemble des voies de passage du polluant, les phénomènes physiques, chimiques et biologiques considérés,
- la définition des scénarios d'exposition,
- la nature des émissions à considérer (type de polluant) : mélanges, substances organiques ou non, gazeux ou particulaires,
- les moyens, la qualité et la quantité de données disponibles pour alimenter le modèle,

- l'objectif attendu en terme de précision de l'analyse et de degré d'approfondissement requis.

Dans le cadre d'une première approche, HHRAP ou MPE semblent intéressants, dans le respect de leurs domaines d'application. Ce sont en effet des guides méthodologiques qui fournissent un ensemble d'algorithmes pour évaluer les expositions humaines, adaptables à de nombreuses situations. Ils nécessiteront en revanche la création d'une feuille de calcul à partir des équations figurant dans les guides.

CALTOX est un logiciel plus complet, et est actuellement le plus utilisé. Il présente l'intérêt de respecter le principe de conservation de la masse (critère de choix scientifique). Cependant, il n'est adapté qu'aux substances organiques et nécessite l'utilisation d'un modèle de dispersion complémentaire dans le cas d'un rejet atmosphérique.

Rappelons enfin que, dans ce contexte, les concentrations en amont nécessaires aux calculs de transferts dans les autres compartiments, impliquent l'utilisation préalable d'un modèle de dispersion, ou la réalisation de mesures lorsque cela est possible.

#### *2.2.2.3 Les formules empiriques*

La notion de modélisation fait souvent implicitement référence à l'utilisation d'outils informatiques relativement élaborés. Cependant, rappelons que le terme « modèle » peut également désigner des formules empiriques plus simplifiées, sous formes d'équations mathématiques visant à schématiser les phénomènes et mécanismes physiques, chimiques ou biologiques considérés.

En ce qui concerne les phénomènes de dispersion atmosphérique qui entrent dans le cadre d'étude de ce mémoire, les formules empiriques existantes reposent sur les principes de la mécanique des fluides et de la thermodynamique.

Les paramètres à prendre en compte pour alimenter ces formules sont nombreux et du même ordre que ceux nécessaires à l'utilisation des modèles Gaussien parmi les plus simples proposés sous forme de logiciel. Ces formules sont souvent issues de modèles Gaussiens simples (Exemple : modèle de Turner et Pasquill). Ainsi, l'utilisation d'un modèle dit « de criblage », référencé, et dont l'analyse des incertitudes est possible (ex : Screen 3) peut paraître parfois plus judicieux.

En conséquence, il ne sera pas présenté ici de formules empiriques, compte tenu des incertitudes non évaluées liées à leur utilisation, et de la facilité d'accès à certains modèles simples.

Pour les modèles de transfert dans la chaîne alimentaire, des formules relativement simples sont exposées en annexes de guides reconnus [3]. On prendra pour exemple les formules empiriques exposées dans le modèle HHRAP de l'US-EPA et figurant dans le

guide ASTEE *pour l'évaluation du risque sanitaire dans le cadre de l'étude d'impact d'une U.I.O.M.*, [3]. Elles sont présentées en Annexe 6 de ce mémoire.

### **2.2.3 Les modalités d'exposition des populations**

Les outils de quantification de l'exposition permettent d'évaluer des concentrations en polluants dans l'environnement voire parfois, en ce qui concerne les modèles multimédia, d'intégrer les modalités d'exposition des populations pour aboutir à la quantification d'un risque final.

Il est donc important de disposer de données « populationnelles » les plus fiables et représentatives possibles puisque celles-ci permettent d'établir des scénarios d'exposition pour les voies considérées.

Ces modalités d'exposition peuvent se décliner en différentes catégories et concernent les activités et les modes de vie des populations potentiellement exposées.

En effet, les quantités de polluant ingérées ou inhalées, sont calculées à partir des hypothèses formulées sur les activités et le comportement des populations et l'établissement de différents scénarii d'expositions. Ces hypothèses feront appel aux variables humaines d'exposition (VHE) : caractéristiques démographiques, physiologiques, budgets espace-temps, enquêtes de consommation...

#### *2.2.3.1 Les caractéristiques démographiques :*

Les principales sources de données relatives aux caractéristiques démographiques en terme d'effectifs, de répartition par âge et par sexe sont disponibles auprès de l'Institut National Statistiques des Etudes Economiques (INSEE). Ainsi le site internet "Statistiques Locales" [11] met à disposition des données pour les zones géographiques suivantes : communes, cantons, départements, régions ... Ces données sont disponibles pour ces zones standards sous forme de tableaux, cartes, graphiques et bases de données téléchargeables.

D'autres part, l'INSEE propose pour certaines communes et arrondissements des « portraits de quartier » intégrant l'essentiel des informations sur un quartier en chiffres et en cartes : population (âges, composition des familles, personnes seules, population vivant en collectivité, activités, catégories socio-professionnelles), logements, équipements médicaux, scolaires et commerciaux. Ce type de données est payante (10€ de forfait et 60€ par quartier, livré sur support électronique).

### *2.2.3.2 Les caractéristiques physiologiques :*

Les caractéristiques physiologiques les plus communément utilisées pour évaluer l'exposition individuelle et établir différents types de scénario prenant en compte des groupes ou sous-groupes de population particulièrement sensibles en ce qui concerne les voies par ingestion et inhalation seront le poids corporel, le volume respiratoire inhalé....

#### *a) Poids corporel*

De nombreuses données sur le sujet sont disponibles au regard des études nutritionnelles menées ces dernières années, notamment auprès de l'INSEE.

En 2007, un article intitulé « Description du poids corporel en fonction du sexe et de l'âge dans la population française » a été rédigé par l'Institut de Veille Sanitaire [12]. Cet article, basé sur l'enquête décennale santé 2002-2003 menée par l'Institut National de la Statistique et des Etudes économiques (INSEE), met à disposition des données relatives aux poids corporels en fonction du sexe et de l'âge des individus.

L'INERIS recommande d'utiliser en première approche le poids moyen de la classe d'âge considérée [1].

#### *b) Volume respiratoire inhalé :*

Ce paramètre est souvent nécessaire notamment comme paramètre d'entrée dans les modèles multimédia. Il peut être exprimé en « taux de respiration », c'est à dire en quantité d'air inhalée par la cible par unité de temps rapporté au poids de celle-ci.

Il convient de différencier les périodes de repos des périodes d'activités, la quantité d'air inspirée n'étant pas la même dans les 2 cas.

Les modèles proposent parfois des valeurs par défaut mais celles-ci ne sont pas toujours référencées. En l'absence de données, il peut être fait appel aux valeurs utilisées dans les études réalisées par des organismes officiels [13].

### *2.2.3.3 La durée d'exposition via les durées de résidences :*

La durée d'exposition pour un scénario « vie entière » est classiquement considéré à 70 ans pour les adultes et 7 ans pour les enfants.

En revanche, il semble que la tendance actuelle de certaines études (exemple ERS de zone) se dirige vers la prise en compte de la durée de résidence réduisant ainsi la durée d'exposition.

Il existe des données disponibles sur la mobilité des populations qui permettent de prendre en compte les durées d'exposition via les durées de résidence :

- Distribution en percentiles des durées de résidence des populations basées sur les fichiers d'abonnements privés à EDF [14].
- Fichier FILOCOM (Fichier des Logements par Commune) : source statistiques issue de données fiscales et immobilières. Il s'agit d'un fichier élaboré par la Direction Générale des Impôts qui résulte du mariage de 4 fichiers : le fichier de la Taxe d'Habitation, auquel sont rapprochés le fichier foncier (propriétés bâties), le fichier des propriétaires et le fichier de l'Impôt sur les Revenus des Personnes Physiques. Il donne des durées d'occupation d'un logement suivant certaines caractéristiques (locatif privé, HLM, propriété privée) [15].

#### *2.2.3.4 La fréquence d'exposition via le budget espace-temps :*

Le budget espace-temps peut être défini comme la description des temps passés dans différents lieux d'exposition pour les différents récepteurs ou cibles. Il peut être exprimé en durée d'exposition journalière (heures ou minutes/jour) et/ou en fréquence d'exposition (nombre de jours/an et nombre d'année d'exposition).

Les temps d'exposition concernant les activités particulières définies dans les scénarios d'exposition doivent être estimés. Dans le cadre d'un scénario d'exposition par inhalation pour des populations habitant à proximité de la source, il s'agira de déterminer les temps passés au domicile à l'intérieur et à l'extérieur, de même que les temps passés pour toutes les activités réalisées dans la zone potentiellement impactée (loisirs, école, activité professionnelle...).

Des études concernant les activités-temps-lieux ont été réalisées en France ;

- Enquête « Emploi du Temps »: étude des activités de la vie quotidienne et des emplois du temps en quantifiant la durée des activités et la répartition dans la journée des 4 temps fondamentaux du quotidien : travail professionnel, travail domestique, temps libre et temps physiologique [16],
- Enquêtes « emploi » mise à jour tous les ans portant sur la durée hebdomadaire de travail différenciée par Catégorie Socio Professionnelle [17],
- Enquête CERTU « Compte National du Transport des Voyageurs » de 1998 consacrée au budget temps que les français consacrent à leur déplacement [18],
- Enquête ROY, MALARBET, COURTAY de 1993 portant sur les budgets de temps moyen pour chaque classe d'âge de 0 à 17 ans : temps passés à l'intérieur de l'habitat, à l'intérieur d'un autre lieu et à l'extérieur [19],

- Etude ROMMENS de 1999 intégrant des données sur le temps passé des populations (français moyens, agriculteur) à l'intérieur d'une habitation [20].

#### 2.2.3.5 Les données de consommations alimentaires :

Il existe un nombre important d'études relatives aux consommations alimentaires. En voici quelques exemples notables parmi les plus récentes :

- Enquête INSEE de 1991 portant sur les achats des ménages. Cette enquête intègre notamment des informations sur l'autoconsommation (consommation de produits issus de sa propre production). Une distinction est faite suivant le type de population étudiée (agricole, rurale, urbaine) [21],
- Enquêtes INCA 1 (1998-1999) [22] et INCA 2 (2006) [23] : enquêtes alimentaires individuelles et nationales sur les consommations alimentaires. Elles évaluent notamment les consommations par types d'aliments, sexe, catégorie d'âge, lieux de consommation...,
- Enquêtes Alliance 7 – Sofres – CHU de Dijon (1997) : consommation alimentaire quotidienne des enfants de 1 à 30 mois [24].

En dehors des consommations alimentaires, il est souvent nécessaire de prendre en compte l'ingestion de sol et poussière dans les scénarios d'exposition par voie orale. Les valeurs retenues par l'INERIS s'élèvent en moyenne à 150 mg/jour de sols et poussières pour un enfant et 50 mg/jour pour un adulte [25].

#### 2.2.3.6 Autres sources : *Exposure Factor Handbook* :

Ce manuel édité par l'US EPA et disponible sur internet regroupe un nombre de données important pouvant être utilisé dans les évaluations de risques : mobilité des population, données activités-temps-lieux des populations, consommations alimentaires...[26].

Il est important de souligner que ce manuel date de plus de 10 ans, que les données qu'il intègre sont celles de la population américaine qui ne présente pas forcément les mêmes caractéristiques (comportements alimentaires, mobilité, activités...) que la population française. Certaines de ses données sont donc à utiliser avec prudence. Le manuel peut néanmoins constituer une bonne base de renseignements pour définir certains paramètres tels que les propriétés physico-chimiques des substances ...

### 2.2.3.7 La banque de données CIBLEX :

La banque de données CIBLEX [27] compile les paramètres descriptifs de la population française : âge, sexe, budget espace temps et consommations alimentaires, en fonction de l'occupation des sols (zones continentales, surfaces en eaux) et de l'usage type (résidentiel, professionnel) au niveau national, par région, département et communes.

Deux modes de consultation sont possibles :

- ✓ accès aux données brutes par domaine pour chaque département, régions, ou au niveau national,
- ✓ assistant à la construction de scénarios qui, dans le cadre d'une ERS, permet à l'utilisateur de se focaliser sur un groupe de référence.

Les sources utilisées pour alimenter cette banque de données sont :

- ✓ Données alimentaires : enquêtes de consommation alimentaires INCA 1 [22] et INSEE 1991 [21],
- ✓ Budget espace-temps : enfants de moins de 12 ans : données ROY et AL [19] / pour les plus de 12 ans, enquête « emploi du temps » INSEE [16].

L'accès à cette banque de données disponible sous forme de cd-rom auprès de l'ADEME est payant (environ 100 Euros).

## 2.3 La nécessaire prise en compte du principe de proportionnalité

Pour rappel, le code de l'environnement, (L122-1 à 3 et R122-3) précise que le contenu des études d'impact doit être en relation avec l'importance des travaux et aménagements projetés, mais que l'étude des risques sanitaires doit être proportionnée :

- ✓ à la dangerosité des substances émises, et
- ✓ à l'importance et/ou à la fragilité de la population exposée à proximité des travaux et aménagements.

Le principe de proportionnalité veille à ce qu'il y ait cohérence entre le degré d'approfondissement de l'étude et l'importance de la pollution et son incidence prévisible en terme d'impact sanitaire [1].

Le guide INERIS établit que ce principe peut conduire à définir deux étapes successives dans l'évaluation des risques pour la santé :

1. une phase initiale qui doit correspondre à une évaluation dite de 1er niveau d'approche du risque sanitaire. L'évaluateur met en place les moyens qui lui semblent nécessaires pour évaluer le risque lié à l'ensemble des voies d'exposition et adopte une approche raisonnablement majorante, en prenant des hypothèses qualitatives et quantitatives pour évaluer l'exposition.

2. une seconde phase engagée dans le cas où la première étape a permis de déterminer que le risque encouru par les populations pourrait ne pas être considéré comme acceptable au regard de certaines valeurs repères données par des organismes de référence. Il s'agit d'une évaluation dite de 2ème niveau d'approche du risque sanitaire. Des moyens d'études supplémentaires sont mis en place pour réduire l'incertitude liée aux méthodes simplificatrices adoptées dans la première étape. Cette seconde étape a pour but d'affiner les conclusions de l'étude, de réduire les incertitudes sur le niveau de risque voire de limiter le caractère majorant des hypothèses par l'acquisition de données complémentaires (métrologie etc.) et l'utilisation éventuelle d'outils de modélisation plus performants.

Rappelons que l'étape d'exposition des populations qui nous intéresse dans le cadre de ce mémoire figure dans chacune de ces phases. En phase initiale, les éléments qui la composent seront limités et majorants. Dans une seconde phase, si elle est nécessaire, ils seront au contraire beaucoup plus développés. Il conviendra, selon les dossiers étudiés, de hiérarchiser le degré d'approfondissement nécessaire des études selon les critères suivants :

- Nature des émissions : toxicité des substances émises,
- Flux des émissions : quantité de substances émises,
- Proximité des populations : existantes et futures,
- Effectif des populations,
- Sensibilité des populations (groupe, sous groupe : enfants, personnes âgées ...),
- Existence de parcelles cultivées, maraîchage, ou d'élevage alentour (risque de contamination de la chaîne alimentaire),
- Usage de la zone d'influence (loisirs, zone d'activités ...),
- Existence de cours d'eau, de captage....,
- Type de dossier et contexte de l'étude :
  - o Sujet sensible : perceptions sociales du risque (dioxines, PCB),
  - o Enjeux économiques, politiques,
  - o Type d'activités projetées : amélioration des process existants (traitement des nuisances, performance plus importante, réduction des émissions ou de leur toxicité) ou à contrario, projet d'extension, demande d'exploitation...

Ces critères seront particulièrement examinés dans l'analyse critique des dossiers étudiés, et nous permettront ensuite de construire l'arbre décisionnel relatif au degré nécessaire d'approfondissement des études.

### **3 Analyse critique et attente des administrations**

#### **3.1 Attente des services instructeurs des dossiers**

Les services instructeurs des dossiers d'études d'impact délèguent le plus souvent l'étude de l'ERSEI aux ingénieurs d'études des DDASS lesquels sont donc amenés à apprécier le contenu méthodologique de l'étude en fonction du contexte dans lequel elle s'inscrit et du fameux principe de proportionnalité précédemment exposé. Ils sont alors susceptibles de rendre un avis favorable ou non sur la recevabilité de l'étude instruite, ce qui peut entraîner une demande de compléments d'information, voire remettre en question la réalisation du projet.

Pour évaluer et instruire ce type de dossiers, les services de l'Etat utilisent avant tout les textes réglementaires de référence, associés aux circulaires d'application si elles existent. Ils disposent également de différents supports méthodologiques aidant à la lecture et à l'analyse critique des ERS. Il s'agit essentiellement des guides nationaux référencés et spécifiques à un type d'activités (guides INERIS [1], ASTEE [3], [28], [29], [30] ...).

##### **3.1.1 Reprise d'éléments généraux des guide existants**

Le premier guide faisant référence quant à l'évaluation de l'ERSEI est *le guide pour l'analyse du volet sanitaire des études d'impact publié en 2000 par l'InVS* [2]. Il est constitué d'une grille de lecture qui se présente sous la forme d'un ensemble de questions permettant d'apprécier chaque étape de la démarche classique d'une ERS.

Concernant l'étape d'évaluation de l'exposition des populations, la grille de lecture est composée de trois sections :

- Le niveau potentiel de contamination des milieux (air, eau, sol, etc.).
- La définition des populations potentiellement exposées via l'étude des voies d'exposition possibles.
- L'estimation quantitative de l'exposition humaine.

Les éléments de la grille de lecture se rapportant à l'étape d'évaluation de l'exposition des populations sont reproduits en Annexe 7.

Ce guide est un outil de référence pour les personnes en charge d'instruire les dossiers, qui peuvent ainsi adapter leur lecture au contexte des études. Le guide souligne clairement qu'une réponse négative à l'une des questions précitée peut entraîner une demande de compléments d'information.

Au-delà du guide de référence INVS et de sa grille de lecture, il existe un certains nombres d'autres guides traitant des ERSEI concernant les rejets atmosphériques pour lesquels ce mémoire s'applique :

- *Le guide INERIS 2003 relatif aux ERSEI ICPE substances chimiques 2003* [1] est à l'usage à la fois des administrations et des pétitionnaires (industriels, bureaux d'études ...). Il rappelle les étapes fondamentales de l'évaluation des risques, décrit les grands principes d'approche progressive attendue selon le niveau d'approfondissement requis et propose le canevas du chapitre de synthèse de l'étude d'impact reprenant les 4 étapes de la démarche classique d'évaluation de risque.
- *Le guide ASTEE pour l'ERSEI d'une Unité d'Incinération des Ordures Ménagères* [3] : son objectif est de décliner les grandes étapes de l'évaluation des risques sanitaires pour les projet d'installations d'incinération. Il se limite à l'impact des rejets atmosphériques. Il propose une méthodologie relativement détaillée pour la réalisation des ERSEI s'inscrivant dans ce cadre.

Enfin, on pourra citer les guides suivants à simple titre d'information puisqu'ils ne traitent pas du contexte défini dans l'élaboration de ce mémoire. En revanche, ils intègrent des éléments pouvant permettre de répondre à certaines étapes de la quantification de l'exposition.

- Le guide ASTEE pour l'évaluation du risque sanitaire dans le cadre d'étude d'impact d'une installation de déchets ménagers et assimilés [28].
- Le guide ASTEE méthodologique pour l'ERSEI des installations de compostage soumises à autorisation [29].
- Guide ADEME / CYPREA / SPDE / INERIS relatif à l'application de la méthodologie relative aux substances chimiques a une filière de boues issues d'une STEP urbaine [30].

### **3.1.2 Observatoire des Pratiques de l'Evaluation des Risques Sanitaires dans les Etudes d'Impact (OPERSEI)**

L'objectif de l'observatoire est de permettre aux professionnels concernés par les études d'impact que ce soit pour leur réalisation (bureaux d'études, industriels) ou pour leur lecture critique (services de l'état, juristes de l'environnement, associations de protection de l'environnement ou/et de la santé) d'améliorer leurs pratiques.

L'observatoire rassemble des informations transmises par les acteurs de terrains, la réglementation, les connaissances scientifiques et d'expertise. Il s'organise autour d'un

groupe de travail composé de représentants de plusieurs administrations (Santé, Prévention des Pollutions et des Risques, Equipement, Travail ...). Ses objectifs sont de :

- dresser l'inventaire des difficultés méthodologiques et pratiques rencontrées sur le terrain pour évaluer l'impact sanitaire de projets d'aménagement ou d'installations classées,
- identifier les connaissances actuelles, utiles à la réalisation des études d'évaluation des risques sanitaires de projets d'aménagement ou d'installations classées,
- identifier les lacunes méthodologiques,
- stimuler la production de nouvelles connaissances.

Outre la mise à disposition d'outils méthodologique, l'observatoire offre la possibilité de poser des questions par voie de courrier électronique sur des interrogations spécifiques relatifs à certains contextes particuliers auxquels les guides n'apportent pas de réponses.

Le site internet de l'observatoire permet d'accéder à un dossier questions - réponses sur la réglementation ou les procédures administratives, la méthode d'évaluation des risques, ou des sujets plus spécifiques.

### **3.1.3 Résultats des entretiens des professionnels de la DDASS en charge de ces dossiers**

Dans le cadre de ce mémoire, des entretiens (4) avec des ingénieurs d'étude de la DDASS (DDASS 22, 35, 56 et 76) en charge de ces dossiers ont été menés afin d'évaluer la réalité des attentes des administrations. Il s'agissait d'entretiens ouverts se déroulant de la manière suivante :

- présentation du cadre du mémoire,
- retour d'expérience sur le traitement et la recevabilité des dossiers (de toutes origine, SAFEGE ou non) de contenu similaire au contexte de l'étude (ERSEI sur l'établissement du scénario par rejets atmosphérique pour les voies inhalation et ingestion),
- retour d'expérience éventuel sur le traitement et la recevabilité des dossiers SAFEGE en particulier,
- existence éventuelle de critères de hiérarchisation par rapport au degré d'approfondissement des études menées, notamment sur la dose et les modalités d'exposition.

Il ressort de ces entretiens les points suivants:

- Les échanges avec les ingénieurs d'étude et les réponses aux questions posées traduisent l'application des grands principes donnés par les guides méthodologiques (cf 3.1.1). Ainsi, le principe de proportionnalité pourra être appliqué en fonction de la nature et toxicité des substances émises et rejetées, présence et caractérisation des populations avoisinantes, nature et description de la zone d'étude, et en fonction de la disponibilité des données requises pour effectuer l'évaluation.
- Chaque ERSEI doit être considérée comme un cas particulier et adaptée à son contexte spécifique. Il n'y a donc pas de méthodologie standard visant à traiter les dossiers de manière uniforme.
- L'absence de schéma conceptuel est un frein à la recevabilité du dossier.
- La plupart d'entre eux ne maîtrisent pas l'utilisation des outils de quantification de l'exposition et notamment des modèles. Ils recherchent avant tout cohérence, logique et transparence (quelles sources, quels outils, l'adaptabilité au contexte, l'évaluation des incertitudes associés à la quantification).
- Tous ne sont pas favorables à l'utilisation systématique de modèles, considérant que mieux vaut parfois mener une évaluation qualitative complète qu'une évaluation quantitative avec des données inadaptées ou erronées, menant à des résultats aberrants.
- Ils constatent que l'investissement d'un bureau d'étude dans un modèle induit qu'il va l'utiliser de manière systématique et parfois inadaptée générant des problèmes de fiabilité des résultats. Ils comprennent toutefois la problématique associée au choix et à l'investissement dans ce type d'outils.
- Retour d'expérience plutôt positif sur les dossiers SAFEGE déposés localement, ils sont considérés comme documentés, clairement explicités et argumentés. La prise en compte des rejets diffus liés au transport (souvent écartée dans les études) serait une piste d'amélioration.

Concernant plus particulièrement l'existence des critères de hiérarchisation par rapport au degré d'approfondissement des études menées, notamment sur la dose et les modalités d'exposition, il n'est pas ressorti de faits saillants qui n'aient été cités précédemment (fonction de la nature et toxicité des substances émises et rejetées, présence et caractérisation des populations avoisinantes, nature et description de la zone d'étude, et en fonction de la disponibilité des données requises pour effectuer l'évaluation ...).

### 3.2 Analyse critique des dossiers SAFEGE retenus

Les études retenues en partie 1.3 font l'objet dans cette partie d'une analyse critique permettant d'évaluer les pratiques méthodologiques actuelles relatives à l'étape d'exposition des populations. Elle vise à déterminer plus précisément les manques, les difficultés rencontrées et à contrario, les étapes les mieux maîtrisées concernant la méthodologie adoptée en fonction du contexte et au regard des attentes de l'administration en charge des dossiers.

L'analyse détaillée des études figure dans le tableau de l'Annexe 5. Chaque dossier a été examiné sur la base des éléments suivants :

- Méthodologie : utilisation d'un modèle, d'une formule empirique ?,
- Caractérisation de l'exposition : utilisation de variable humaine d'exposition, de scénarios d'exposition ?,
- Réponses des administrations sur la recevabilité des dossiers,
- Critique générale.

Cette analyse a permis de mettre en avant un certain nombre de conclusions présentées ci-après :

#### **Les voies d'exposition :**

Rappelons que l'on a sélectionné des dossiers traitant des rejets atmosphériques et que de ce fait, la voie par inhalation y est principalement développée.

- A contrario, les voies d'exposition par ingestion sont quasiment inexistantes sauf cas particulier. Ces voies sont très souvent écartées en premier lieu soit en l'absence de données sur les concentrations au sol, soit en raison des très faibles concentrations obtenues (calcul ou mesures) issues des rejets.

- La prise en compte de la voie par ingestion est souvent mieux appréhendée lorsqu'une demande de complément est effectuée par la DDASS. En revanche, cela n'induit pas qu'un risque soit mis en avant du fait des conclusions de ce complément.

D'autre part, la plupart des études examinées sont acceptées par l'administration en l'état. Ceci est un élément qui pourrait être pris en compte dans le degré d'approfondissement apporté aux études, mais qui mérite une réflexion plus approfondie (Cf 4.1).

## Les doses d'exposition

- L'estimation de la dose d'exposition est souvent très majorante et ce d'autant plus qu'il n'existe ni mesures, ni modélisation. En effet, dans ce cas, le bureau d'étude choisit par exemple, d'assimiler les concentrations maximales de rejets aux concentrations inhalées.

- Dans certains cas, ces concentrations sont assorties d'un facteur de dilution attribué selon certains retours d'expériences peu documentés.

- Dans de nombreux cas, ces hypothèses pourtant très majorantes n'aboutissent pas à la détermination de niveaux de risques inacceptables. Il s'agit clairement là d'un autre degré d'approfondissement à prendre à compte pour la suite de ce mémoire.

Dans le cas contraire d'études aboutissant à un niveau de risque dit inacceptable, le caractère très majorant initial des hypothèses peut servir à minimiser les résultats obtenus. Cette situation s'est présentée dans un cas particulier, notamment du fait du refus d'investir dans un degré d'approfondissement supérieur de la part du pétitionnaire et ainsi, du manque de moyens supplémentaires permettant d'affiner l'évaluation. Le danger de ce type de situation est la tendance à déformer la conclusion, ce qui est contraire aux principes énoncés dans les guides. Rappelons les deux points suivants s'y rapportant :

1 - l'ERSEI se doit de produire une conclusion claire (aboutissant à la mise en place de mesures compensatoires) ce qui semble ne pas être le cas systématiquement.

2 - le principe de proportionnalité (Cf 2.3) établit dans ce cas la nécessité d'un 2ème niveau d'approche du risque sanitaire, par la mise en place de moyens d'études supplémentaires pour réduire l'incertitude liée aux méthodes simplificatrices adoptées dans la première étape.

- Il existe un lien évident dans les études menées entre les résultats obtenus dans la phase d'évaluation de l'exposition par voie inhalation, et ceux obtenus par la voie ingestion. Il est important de rappeler que ce lien ne peut être retenu de manière systématique. En effet, le caractère physico-chimique d'une substance peut lui donner la propriété d'être toxique par ingestion (bio accumulation) alors qu'elle peut l'être moins par inhalation.

- La question du bruit de fond existant est rarement abordée, soit par manque de données, soit par choix de non polémiquer. En effet, dans le cadre de rejets atmosphériques industriels, cette question peut engendrer des polémiques liées à la recherche de responsabilités susceptibles de générer des problèmes de gestion et qui ne sont plus du ressort des ERSEI mais qui relèvent davantage des études de zone.

Parmi les études analysées, lorsque le bruit de fond est utilisé, il permet de relativiser l'émission due à l'installation (considérée bien moindre), sans prise en compte de l'apport supplémentaire de celle-ci d'un point de vue sanitaire.

### **Les modalités d'exposition**

- Les scénarios d'exposition sont très peu développés. Ceci est lié au caractère très majorant des expositions prises en considération. A titre d'exemple, on considère qu'une cible est exposée 100% du temps, 24h/24h.
- Il y a donc rarement prise en compte des Variables Humaines d'Exposition : budgets espace-temps, effectif et sensibilité des populations, données de consommation.

Il est important de souligner que les dossiers traités n'ont pas montré en premier lieu ou même après apport des compléments à l'administration, de risques importants nécessitant la prise en compte de ces facteurs. Il s'agit d'évaluation dite de 1er niveau d'approche du risque sanitaire.

### **Les outils utilisés**

- Les mesures in situ sont utilisées lorsqu'elles sont disponibles mais n'existent pas dans la majorité des cas rencontrés, sauf sur demande spécifique des autorités administratives.
- Il y a peu de modélisation. Lorsqu'il y en a une, il s'agit essentiellement de modèles de dispersion atmosphérique de type gaussiens. Aucun modèle tridimensionnel n'a été utilisé dans les cas rencontrés.
- On relève 2 cas d'utilisation de modèles multimédia. Le premier dans le cadre d'une sous-traitance, le deuxième par une agence du groupe. Dans le premier cas, les équations de transferts sont clairement explicitées. Le second cas manque, quant à lui, d'éléments discutant de la validité de la méthode adoptée.
- Lorsque des modèles sont utilisés, leur niveau d'incertitude n'est pas systématiquement évoqué.
- Le cas de la sous-traitance à une autre société pour une modélisation (dispersion atmosphérique + multimédia) semble donner des résultats satisfaisants et complets.

Ces conclusions vont permettre de prendre en considération les éléments à intégrer lors de la construction de l'arbre décisionnel permettant d'élaborer une stratégie opérationnelle pour le bureau d'études.

## **4 Stratégie opérationnelle et discussion**

### **4.1 Arbre décisionnel**

L'objet de cette partie est l'élaboration d'un arbre hiérarchisant les niveaux de précision de l'étape d'évaluation des expositions, et permettant de statuer sur la suite à donner à une caractérisation des risques.

La construction de cet arbre est basée sur la prise en compte des paramètres considérés dans la phase d'exposition des populations, de même que des résultats de l'analyse critique des études SAFEGE étudiées.

Rappelons en premier lieu la définition de l'étape d'exposition : déterminer les émissions, les voies de transfert et les vitesses de déplacement des substances et leur transformation ou leur dégradation afin d'évaluer les concentrations ou les doses auxquelles les populations humaines sont exposées ou susceptibles de l'être [1].

Tous les paramètres cités ci-après sont des conditions nécessaires à l'écriture des scénarii d'exposition même simplistes, au calcul des doses journalières d'exposition (DJE) et à la caractérisation du risque sanitaire pour les populations riveraines d'une ICPE :

- ✓ Définir la zone d'influence du site,
- ✓ Décrire les populations présentes autour du site,
- ✓ Décrire les activités présentes autour du site,
- ✓ Préciser toute utilisation des ressources naturelles locales,
- ✓ Décrire les voies d'exposition possibles,
- ✓ Décrire les concentrations des substances identifiées dans les compartiments environnementaux pertinents sous la zone d'influence du site,
- ✓ Recenser qualitativement et quantitativement les paramètres d'exposition (durée, fréquence et autres variables humaines d'exposition).

Ainsi pour certains de ces paramètres, le tableau ci après (tableau 4) propose des degrés de précision (de 3 à 4 suivant les cas de figures) issus des réflexions menées à partir des éléments des parties précédentes de ce mémoire :

Paramètres	Degrés de précision
<b>Populations/Zones d'influence/Activités autour du site (POP)</b>	<p><b>POP1</b> Population considérée = en limite de site quelle que soit la situation</p> <p><b>POP2</b> Evaluation globale des populations/activités présentes potentiellement impactées, sans prise en compte de sous groupe – base = données de l'état initial de l'étude d'impact</p> <p><b>POP3</b> Evaluation précise des populations/activités présentes potentiellement impactées, prise en compte des sous groupe – recherche données INSEE + prise en compte de l'évolution potentielle à 5 ans (PLU)</p>
<b>Concentrations des substances identifiées dans les compartiments environnementaux pertinents sous la zone d'influence du site (CS)</b>	<p><b>A – Compartiment Air (CSA)</b></p> <p><b>CSA1</b> Concentrations assimilées à la celles de la source = mesurées à la source (autosurveillance ou autres), ou performances théoriques de l'installation, ou valeurs maximum réglementaires autorisés pour ce type de rejets</p> <p><b>CSA2</b> Concentrations modélisées avec modèle Gaussien simple de type criblage</p> <p><b>CSA3</b> Concentrations mesurées en limite de site dans la zone d'influence</p> <p><b>CSA4</b> Concentrations modélisées avec modèle Gaussien plus complexe</p> <p><b>B – Compartiment dits de « transferts » (CST) = sols, végétaux, animaux, homme ...</b> Attention, il conviendra de mener systématiquement une réflexion quant aux compartiments impactés en fonction des polluants et de leur actions, de leurs modalités de transferts (dépôts végétaux, dépôts sols, transferts sols – végétaux – animaux - homme ...)</p> <p><b>CST1</b> Concentrations assimilées à celles du compartiment air dans le sol et les dépôts</p> <p><b>CST2</b> Concentrations modélisées à partir de celles du compartiment air. Utilisation des équations du guide méthodologique HHRAP pour estimer les transferts</p> <p><b>CST3</b> Concentrations mesurées dans le sol et/ou dans les végétaux plantes de la zone d'influence</p> <p><b>CST4</b> Concentrations modélisées avec modèle multimédia avancé</p>
<b>Scénarios d'exposition (PE)</b>	<p><b>A – Voie inhalation</b></p> <p><b>PEH1</b> Exposition simplifiée maximale = 24h/24 pour substances à effets seuils, 30/70 ans pour substances à effets sans seuil</p> <p><b>PEH2</b> Evaluation global d'exposition = scénario adulte rural (40% temps à l'extérieur) [20]</p> <p><b>PEH3</b> Utilisation de VHE plus précises avec scénarios à affiner suivant le cas : budget espace temps plus fins, scénario adulte/enfants ...</p> <p><b>B – Voie ingestion</b> : pour cette voie, le niveau d'approfondissement requis sera directement lié aux concentrations des substances dans les compartiments dits de « transferts »</p> <p><b>PEG1</b> : Scénario rural, autoconsommation maximale</p> <p><b>PEG 2</b> : Utilisation de VHE plus précises avec scénarios à affiner suivant le cas : budget espace temps plus fins, scénario adulte/enfants, consommation ...</p>

Tableau 4 : degrés de précision des paramètres d'exposition

On peut observer que les paramètres « activités autour du site », « populations » et « zone d'influence » ont été regroupés. Ceci s'explique par le fait qu'ils sont extrêmement liés.

Les paramètres associés aux voies d'exposition, et à l'utilisation des ressources naturelles ne sont pas repris dans ce tableau puisqu'ils sont définis préalablement à

l'étape d'exposition des populations, lors de l'établissement du schéma conceptuel et de l'état initial de l'étude d'impact.

Au regard des degrés de précision décrits, on peut déduire que l'utilisation des degrés 1 à 2 (sauf exception) des paramètres d'exposition correspond au premier niveau d'approche d'une ERS tel que défini dans le guide INERIS [1]. En effet, les conclusions de l'analyse critique des études SAFEGE ont montré que peu d'études atteignent le 2<sup>ème</sup> niveau d'approche. Il est donc logique que les degrés de précision soient plus nombreux pour le premier niveau d'approche. Le second demande un niveau d'étude beaucoup plus poussé, correspondant directement au degré le plus important de précision des critères précités (sauf exception).

L'utilisation des degrés de précision proposés pourra permettre d'effectuer progressivement l'ERS (Cf figure 7), en partant d'abord d'hypothèses très majorantes dans les paramètres d'exposition, qui en fonction des résultats obtenus (calcul d'indice de risque et d'excès de risque individuels) pourront être affinés ou recadrés, en utilisant les degrés de précision supérieurs. La variété des degrés de précisions offre à l'évaluateur la possibilité de composer le scénario d'exposition de son choix, mais également d'ajuster les études en fonction des moyens disponibles, avant leur remise officielle auprès des autorités et des clients.

L'arbre décisionnel ci-après (Cf figure 7), construit à partir des degrés de précision exposés précédemment, représente les cas de figure majoritairement rencontrés et les rattache au niveau d'approche, ou degré d'approfondissement de l'ERS.

En tête de cet arbre, figurent des éléments non rattachés à l'étape d'évaluation de l'exposition. Il s'agit de l'inventaire qualitatif des substances émises par le site, par catégorie de rejets canalisés, diffus ou fugitifs, ainsi que du choix de polluants traceurs / données suffisantes sur : toxicité, quantité, spécificité... En effet, ces étapes sont essentielles dans la détermination du niveau d'exposition, ainsi que du degré d'approfondissement qui pourra être apporté à l'étude.

L'arbre présente 2 branches principales représentant les voies d'exposition par inhalation et ingestion qu'il conviendra de cumuler ou de dissocier suivant le choix de l'évaluateur.

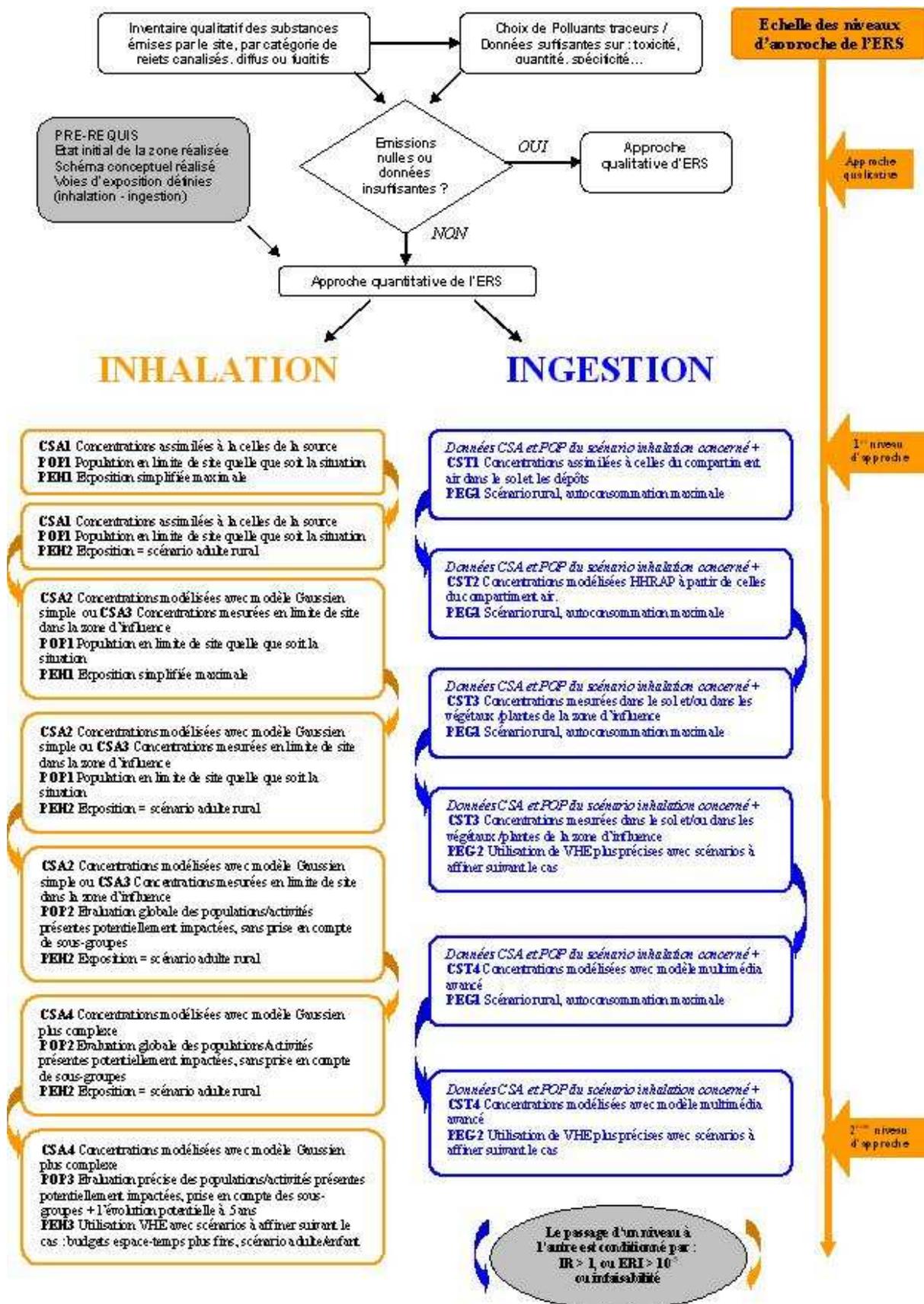


Figure 7 : arbre de décision hiérarchisant les niveaux de précision de l'étape d'évaluation des expositions suite à un rejet dans l'atmosphère

## 4.2 Perspectives et propositions pour le bureau d'étude

L'ensemble des réflexions menées précédemment ainsi que l'élaboration de l'arbre décisionnel permettent d'envisager dès lors quelques propositions à l'intention du bureau d'études en terme d'acquisition, tant d'un point de vue matériel qu'organisationnel.

### Investissement matériel :

#### 1) modèle dispersion atmosphérique

A chaque contexte d'étude convient un type de modèle, dépendant de critères techniques, des données d'entrées disponibles et de leur accessibilité, tant en terme du degré de précision et d'approfondissement du résultat attendu que de l'investissement financier et matériel requis.

Au regard des besoins de SAFEGE, un modèle de type Gaussien semble plus adapté au contexte des études réalisées : pour l'essentiel, les sources d'émissions sont de type canalisées, en terrains plutôt homogènes et plats (caractéristiques géographiques locales). Les modèles de 2<sup>ème</sup> génération, nous l'avons vu précédemment (Cf 2.2.2), se sont beaucoup affinés. ADMS 4, reconnu pour ses performances, est un outil séduisant. Il est, par ailleurs, utilisé au sein d'une autre agence du groupe. Son utilisation en interne peut ainsi être envisageable lorsque le contexte s'y prête. L'acquisition d'un modèle de dispersion atmosphérique gaussien de 2<sup>ème</sup> génération ne semble donc pas pertinente pour l'agence de Saint Grégoire.

En revanche, le téléchargement d'un modèle de criblage (SCREEN 3) peut s'avérer judicieux pour estimer les concentrations atmosphériques dues à un rejet en premier niveau d'approche, d'autant que ce modèle est téléchargeable gratuitement à partir du site internet de l'US-EPA.

Rappelons ici que le danger, pour un bureau d'étude, est d'utiliser le modèle dans lequel il a investi de manière systématique et parfois complètement inadaptée. Il conviendra donc, dans la pratique, de considérer avant tout l'adéquation entre le domaine d'application du modèle et le contexte précis de l'étude.

#### 2) modèle multimédia :

Concernant la modélisation des voies de transferts dans les différents compartiments environnementaux visant à évaluer les doses d'exposition par ingestion, il serait pertinent,

dans un premier temps, de se procurer le guide méthodologique HHRAP, également téléchargeable gratuitement sur le site internet de l'US-EPA afin de se familiariser avec les différents calculs de transfert en fonction des compartiments considérés. Ceci offrirait l'avantage à l'évaluateur d'adapter les scénarios d'exposition au cas par cas et en fonction du degré d'approfondissement requis.

A ce propos, notons qu'un projet est actuellement en cours de réalisation, sur initiative du Ministère de l'Environnement et du Développement Durable, visant à concevoir à terme, un outil modulaire permettant d'adopter une ou plusieurs approches possible pour chaque type de transfert dans l'environnement. L'objectif initial était de concevoir un outil modulable et adaptable sous forme de logiciel d'ici 2010 mais cette finalité semble aujourd'hui compromise.

La première phase du projet, quant à elle, arrive à échéance et consiste à mettre à disposition des utilisateurs (et notamment des évaluateurs) un document faisant état de l'art sur la modélisation des transferts. Il devrait être finalisé d'ici la fin de l'année. Sous forme papier, ce document a pour objet d'explicitier les équations de transfert et leurs paramétrages, les approches possibles, leurs limites et avantages. Cela pourrait constituer un outil très intéressant pour le bureau d'études, en terme de support méthodologique, d'autant que ce serait le premier document de ce type référencé au niveau national.

Enfin, l'acquisition d'un modèle multimédia d'exposition, sous forme de logiciel, est également envisageable à plus long terme. Selon le contexte défini dans le cadre de ce mémoire et considérant les voies d'exposition par inhalation et ingestion à partir d'un rejet atmosphérique, l'utilisation du logiciel Caltox 4.0 semble adéquate lorsque ce dernier peut être couplé à un modèle de dispersion atmosphérique [9]. Il est par ailleurs, téléchargeable gratuitement. Il nécessitera toutefois un investissement à considérer en terme de temps passé, alloué à sa maîtrise et à son exploitation (auto-formation).

### 3) paramètres d'exposition

L'établissement des scénarios d'exposition, que ce soit via l'utilisation d'outils informatisés ou non, nécessitera l'acquisition de paramètres définissant les modalités d'exposition dont les Variables Humaines d'Exposition. La banque de données Ciblex [27], éditée par l'ADEME et l'IRSN, constitue une source référencée et offre l'avantage de proposer des données nationales ou locales. Elle constitue, de ce fait un outil particulièrement pertinent pour un bureau d'études, lors de la construction de scénarios d'exposition. Elle est disponible sur CD-Rom, au prix de 100 euros.

### **Sous - traitance :**

Elle peut se révéler nécessaire lorsqu'un contexte particulier ou très spécifique d'une ERSEI requiert l'utilisation d'outils plus sophistiqués (exemple : utilisation d'un modèle de dispersion atmosphérique tridimensionnel lors de la prise en compte de sources diffuses).

### **Organisation :**

En terme de politique interne, une approche commune des problématiques liées à l'étape d'exposition des populations dans les ERSEI pourrait être développée entre les différentes agences du groupe. Il s'agirait alors d'effectuer des sessions inter-agences permettant les échanges et retours d'expérience sur les différents types de dossier traités.

## **4.3 Discussion**

Les notions d'incertitude et de variabilité n'ont pas été abordées de manière spécifique dans ce mémoire. Elles font l'objet de discussions obligatoires dans la démarche d'évaluation du risque et sont fortement associées à l'étape d'exposition des populations, qu'il s'agisse de la quantification des doses d'exposition ou du choix des modalités d'exposition (outils de quantification, choix des paramètres d'exposition ou lors de la construction de scénarios...). Elles pourraient, à juste titre, faire l'objet d'une analyse spécifique et donner ainsi lieu à de nouvelles pistes de réflexion.

Par ailleurs, l'arbre décisionnel proposé en dernière partie ne constitue en aucun cas un cadre méthodologique unique et restrictif mais offre l'avantage de mettre en parallèle les paramètres d'exposition à inclure aux degrés d'approfondissement proposés guidant l'évaluateur dans la construction de son scénario et dans le choix de ses outils. Il est par ailleurs adapté au contexte défini dans le cadre de ce mémoire et issu des réflexions menées propre à SAFEGE.

Rappelons ici que le compromis financier, bien que peu évoqué lors de la définition des degrés d'approfondissement de l'évaluation et non considéré, par rigueur scientifique, dans la construction de l'arbre, est un facteur susceptible d'interrompre le déroulement de la démarche à tout niveau. En effet, l'approfondissement du scénario d'exposition induit

un coût que les pétitionnaires ne souhaitent pas forcément engager, générant ainsi des contraintes pour l'évaluateur en terme de moyens.

L'analyse de l'étape de l'exposition des populations dans le cadre de ce mémoire ne prétend pas être exhaustive, mais ouvre la réflexion sur la définition des degrés d'approfondissement des études en respect du principe de proportionnalité.

## Conclusion

L'étape d'évaluation de l'exposition des populations dans les ERSEI, suscite de nombreuses interrogations quant à l'estimation de la dose d'exposition mais également quant à la caractérisation des modalités d'exposition. Ceci peut mener à la construction de scénarios d'exposition s'avérant inadaptés au degré d'approfondissement requis. Ce dernier sera fonction du contexte dans lequel l'évaluation s'inscrit, en respect du principe de proportionnalité mais également des exigences du client (et de ses moyens), et de celles des autorités administratives en charge d'instruire ces ERSEI.

Ce mémoire vise à proposer une stratégie opérationnelle d'évaluation de l'exposition des populations pour SAFEGE en partant du constat des pratiques actuelles. Il ne s'agit en aucun cas d'élaborer un cadre méthodologique unique et restrictif mais davantage, d'orienter l'évaluateur dans l'élaboration des scénarios d'exposition en fonction du degré d'approfondissement défini par le contexte de l'ERSEI.

Afin de répondre à cet objectif, l'étude de différents dossiers a permis de définir les pratiques actuelles, de sélectionner un cadre d'étude spécifique à l'exposition aux rejets atmosphériques et aux voies par inhalation et ingestion ainsi que d'identifier les manques et les besoins.

Des critères permettant la hiérarchisation des degrés d'approfondissement de l'évaluation de l'exposition des populations ont été définis et ont permis d'élaborer un arbre décisionnel. Ce dernier permet de répondre à la problématique initialement définie en proposant des orientations concernant les choix méthodologiques relatifs à l'étape d'exposition des populations en fonction du degré d'approfondissement requis ou nécessaire, dans les ERSEI propres à SAFEGE.

L'arbre décisionnel élaboré offre à SAFEGE une trame méthodologique permettant la visualisation de différents niveaux d'approfondissements en fonction du contexte de l'étude, précisant également les moyens à mettre en œuvre à chaque niveau (outils, données...). L'idéal, à court terme, serait de le tester par des essais permettant de le valider et d'évaluer sa pertinence et son opérationnalité.

Enfin, rappelons qu'en terme d'enjeu sanitaire, l'objectif des ERSEI n'est pas tant de quantifier un risque attribuable en tant que tel, mais reste avant tout d'évaluer la contribution des différentes voies d'exposition à un risque potentiel ou futur afin de mettre en place les mesures compensatoires les plus adaptées pour le réduire.

---

## Bibliographie

---

- [1] Guide pour l'évaluation des risques sanitaires dans les études d'impact des ICPE - substances chimiques, INERIS, 2003.
- [2] Guide pour l'analyse du volet sanitaire des études d'impact, InVS, 2000.
- [3] Guide pour l'évaluation du risque sanitaire dans le cadre de l'étude d'impact d'une U.I.O.M, ASTEE, 2003.
- [4] Guide méthodologique, Rapport « Incinérateurs et santé ; Exposition aux dioxines de la population vivant à proximité des UIOM. Etat des connaissances et protocole d'une étude d'exposition », AFSSA - InVS, 2003.
- [5] D.BARD, M.LEGEAS, P.GLORENNEC, Session « Modèles », ENSP Rennes, 2002.
- [6] F. JOURDAIN, "Phénoménologie et modélisation des transferts de polluants dans l'atmosphère", CEA Cadarache, Journées de modélisation, 2008.
- [7] R. PERKINS, L. SOULHAC, P.MEJEAN, I.RIOS, Etude RECORD, "Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel. Vers un guide l'utilisateur. Phase 1 : Etat de l'art ; Phase 2 : Evaluation des modèles », Ecole Centrale de Lyon, 2005.
- [8] R. BONNARD « Les modèles multimédia pour l'évaluation des expositions liées aux émissions atmosphériques des installations classées », Rapport final, INERIS, 2001.
- [9] AL.VOUILLOUX, « Proposition d'utilisation du modèle d'évaluation des risques sanitaires CALTOX à une échelle locale », *Mémoire de l'Ecole Nationale de la Santé Publique*, 2007.
- [10] R. BONNARD, « Etude d'intercomparaison de modèles multimédia d'exposition » Rapport d'étude, INERIS, 2006.
- [11] Site internet "Statistiques Locales" accessible depuis le site [www.insee.fr](http://www.insee.fr) onglet « base de données ».
- [12] J.TANGUY, A.ZEGHNOUN, F.DOR – « Description du poids corporel en fonction du sexe et de l'âge dans la population française » - Environnement, Risques et Santé, Vol 6, n°3 , 179-87, Mai Juin 2007 – InVS.
- [13] AFSSA, « Evaluation des risques sanitaires liés au dépassement de la limite de qualité du Tétrachloroéthylène dans les eaux destinées à la consommation humaine » 2006.
- [14] V.NEDELLEC, D.COURGEAU, P.EMPEREUR-BISSONNET – « La durée de résidence des Français et l'évaluation des risques liés aux sols pollués »,1998
- [15] G.CURCI. « Le parc des logements et son occupation au travers des fichiers fiscaux », note de synthèse, SES 2000.

- [16] INSEE, enquête « emploi du temps 1998-1999 », Paris ; INSEE, Division conditions de vie de ménages.
- [17] Enquêtes « emploi » mise à jour tous les ans portant sur la durée hebdomadaire de travail différenciée par Catégorie Socio Professionnelle - [www.insee.fr](http://www.insee.fr).
- [18] C. QUIN. F. DUPREZ., N. BOURGIS, « Compte national du transport de voyageurs » (1998) CERTU, SYSTRA, Rapport au ministre de l'équipement, des Transports et du Logement 2001 – Tome 3 Transport et Logement.
- [19] ROY, MALARBET, COURTAY, « Débits respiratoires et activités quotidiennes, paramètres de l'exposition aux substances inhalées » – Radioprotection, vol 34, n°3, 1993.
- [20] C. ROMMENS, « Etude d'impact radiologique autour des sites nucléaires : une revue des données de mode de vie ; les budgets temps et autres paramètres (hors alimentaires) », Radioprotection, Vol. 34, n°2, pp. 177-193, 1999.
- [21] M. BERTRAND, « Consommation et lieux d'achats des produits alimentaires en 1991 », INSEE RESULTATS, 1993, n°262-263, consommations et modes de vie n°54-55.
- [22] JL. VOLATIER, « Enquête INCA : enquête individuelle et nationale sur les consommations alimentaires ». Paris, Editions TEC & DOC, 2000.
- [23] AFSSA, « Enquête INCA 2 : Enquête individuelle et nationale sur les consommations alimentaires » – 2006.
- [24] Enquêtes Alliance 7 – Sofres – CHU de Dijon : « consommation alimentaire quotidienne des enfants de 1 à 30 mois », 1997.
- [25] R.BONNARD, C.HULOT, S.LEVEQUE, « Méthode de calcul des valeurs de constat d'impact dans les sols », INERIS, 2001.
- [26] US EPA, « Exposure factors handbook », review Draft. Washington DC : US Environmental Protection Agency, Office of research and development, National Center for Environmental Assessment, 1996.
- [27] ADEME / IRSN : banque de données CIBLEX, 2003.
- [28] ASTEE, Guide pour l'évaluation du risque sanitaire dans le cadre de l'étude d'impact d'une installation de stockage de déchets ménagers et assimilés, 2005.
- [29] ASTEE, Guide méthodologique pour l'évaluation du risque sanitaire de l'étude d'impact des installations de compostage soumises à autorisation, 2006.
- [30] ADEME /SYPREA/SPDE/INERIS, « Application de la méthodologie relative aux substances chimiques à une filière de boues issues d'une STEP urbaine », Evaluation des risques sanitaires des filières d'épandage des boues de stations d'épuration, Convention 03 75 C 0093, 2005.
- [31] S. URBAN, « Etude comparative des données d'exposition et de mode de vie disponibles en France et dans d'autres pays développés en vue de l'évaluation de l'exposition humaine », *Mémoire de l'Ecole Nationale de la Santé Publique*, 2003.

[32] S.R. HANNA, BA. EGAN, J. PURDUM, and J. WAGLER, "Evaluation of the ADMS, AERMOD, and ISC3 Dispersion models with the Optex, Duke forest, Kincaid, Indianapolis, and Lovett Field data sets", 1999.

[33] Cambridge Environmental Research Consultants, Ltd, "The Advantages of ADMS 3 Over Other Models", CERC, 2001.

[34] R.BONNARD, « Le logiciel de calcul CalTOX 4.0 », Rapport d'étude, INERIS, 2007.

**Sites internet consultés :**

OPERSEI : site internet « [www.sante.gouv.fr/htm/dossiers/etud\\_impact/sommaire.htm](http://www.sante.gouv.fr/htm/dossiers/etud_impact/sommaire.htm) »

US-EPA : site internet « [www.epa.gov](http://www.epa.gov) »

INSEE : site internet « [www.insee.fr](http://www.insee.fr) »

INERIS : site internet « [www.ineris.fr](http://www.ineris.fr) »

ADEME : site internet « [www.ademe.fr](http://www.ademe.fr) »

AFSSA : site internet « [www.afssa.fr](http://www.afssa.fr) »

---

## Liste des Tableaux et figures

---

<b>Tableau 1</b> : présentation des dossiers SAFEGE étudiés	10
<b>Tableau 2</b> : comparatif des modèles Gaussiens et tridimensionnels	27
<b>Tableau 3</b> : comparatif des modèles de dispersion atmosphérique	29
<b>Tableau 4</b> : degrés de précision des paramètres d'exposition	50
<b>Figure 1</b> : Représentation des principales voies d'exposition considérées à partir d'un rejet atmosphérique	12
<b>Figure 2</b> : schéma de principe de la démarche de quantification de l'exposition	15
<b>Figure 3</b> : schéma de principe des modèles gaussiens [5]	22
<b>Figure 4</b> : schéma de principe des modèles Eulériens [5]	23
<b>Figure 5</b> : schéma de principe des modèles lagrangiens [5]	25
<b>Figure 6</b> : Composition d'un « modèle d'exposition » [1]	31
<b>Figure 7</b> : arbre de décision hiérarchisant les niveaux de précision de l'étape d'évaluation des expositions	52

---

## Liste des annexes

---

**ANNEXE 1** : RAPPEL SUR LES PHENOMENES DE DISPERSION ATMOSPHERIQUE

**ANNEXE 2** : TABLEAU COMPARATIF DES PRINCIPAUX MODELES GAUSSIENS DE DISPERSION ATMOSPHERIQUE

**ANNEXE 3** : TABLEAU RECAPITULANT LES DONNEES LES PLUS SOUVENT REQUISES A LA MODELISATION DE LA DISPERSION AERIENNE

**ANNEXE 4** : TABLEAU COMPARATIF DES MODELES MULTIMEDIA ADAPTABLES A UNE ERSEI AVEC REJETS ATMOSPHERIQUES

**ANNEXE 5** : TABLEAU D'ANALYSE CRITIQUE DES DOSSIERS SAFEGE

**ANNEXE 6** : EQUATIONS DE TRANFERT HHRAP

**ANNEXE 7** : EXTRAIT DE LA GRILLE DE LECTURE SE RAPPORTANT A L'ETAPE D'EVALUATION DE L'EXPOSITION DES POPULATIONS DU GUIDE INVS (2000)

## **ANNEXE 1 : RAPPEL SUR LES PHENOMENES DE DISPERSION ATMOSPHERIQUE [6]**

La dispersion atmosphérique caractérise le devenir dans le temps et l'espace des espèces relâchées dans l'atmosphère

Les principales conditions de la dispersion de polluants dans l'atmosphère sont :

- ✓ Les conditions de rejet : la nature des espèces rejetées, le mode d'émission (instantané ou continu, ponctuel ou étendu)
- ✓ Les conditions météorologiques : la structure verticale de l'atmosphère, le champ de vent, de température... (stabilité /instabilité)
- ✓ L'environnement : la nature du sol (rugosité), la présence d'obstacles (bâtiments), l'orographie (prise en compte des effets de relief).

Un polluant rejeté dans l'atmosphère est soumis aux différents mécanismes qui régissent les écoulements de l'atmosphère. Les 3 processus principaux sont :

1. **le transport** : qui correspond au déplacement essentiellement horizontal par le champ des vents des polluants les plus stables sur de longues distances.
2. **la diffusion** : qui traduit le brassage tridimensionnel par la turbulence d'origine mécanique (cisaillement du vent en contact avec le sol) ou thermique (gradient vertical de température) de l'atmosphère associée à la couche limite atmosphérique (CLA). La CLA est définie comme la partie de la troposphère qui interagit directement avec le sol. Pour la majorité des risques de pollutions industrielles, le suivi du nuage de pollution se fait dans les basses couches de la troposphère qui définit par la CLA. Selon le rapport entre les effets mécaniques et les effets thermiques, on peut schématiquement caractériser l'atmosphère d'instable, neutre ou stable selon que le mouvement d'une particule d'air soumise à une impulsion sur la verticale se voit amplifié ou amorti.
3. **la dispersion** : La dispersion atmosphérique caractérise le devenir, dans le temps et dans l'espace d'un ensemble de particules (aérosols, gaz, poussières) rejetées dans l'atmosphère. Elle caractérise donc la façon dont le nuage est transporté et dilué (effets de turbulence, gravité, ...).

### **Les phénomènes météorologiques :**

La dispersion d'une pollution par voie atmosphérique est très dépendante des conditions météorologiques dont les paramètres interviennent au sein même de ces 3 processus.

En effet, les phénomènes climatiques constituent le vecteur des polluants transportés dans l'atmosphère. Il apparaît essentiel de les rappeler pour comprendre la modélisation de la dispersion atmosphérique.

Les variables météorologiques couramment utilisées pour décrire l'atmosphère sont :

- ✓ La vitesse du vent : dans l'atmosphère, l'écoulement du vent est turbulent, se caractérisant par une fluctuation désordonnée de la vitesse dans l'espace et dans le temps.
- ✓ La pression : elle décroît avec l'altitude sous l'effet de la gravité
- ✓ La température : elle décroît avec l'altitude. Le gradient vertical de température permet de caractériser l'état de stabilité thermique de l'atmosphère (dans un état stable, le mouvement et la turbulence dans la direction verticale sont atténués ; dans un état instable, ils sont au contraire amplifiés ; dans un état neutre, il n'y a pas d'actions sur le mouvement vertical de l'air.).

### **L'influence de l'environnement :**

L'environnement influence également la dispersion des polluants dans l'atmosphère.

On distingue des perturbations mécaniques liées à la nature des sols, la présence d'obstacles ou la topographie, des perturbations liées à de fortes discontinuités du sol conduisant à des effets thermiques. : brise de mer, brise de pente...

- ✓ La rugosité : La longueur de rugosité (en mètres), caractérise l'influence globale de la sous-couche rugueuse (couche de surface) sur le profil de vent (ou la taille caractéristique des tourbillons au niveau du sol). Cette rugosité est corrélée à la hauteur des obstacles du sol.
- ✓ La présence d'obstacles : L'écoulement autour d'un bâtiment ou d'un ensemble de bâtiments est un phénomène très complexe. La présence d'un obstacle modifie de manière importante le champ de vitesses à l'aval et à l'amont de l'obstacle (Cf schéma ci-dessous).
- ✓ La topographie (l'orographie) : Les reliefs accidentés (vallées, falaises, collines etc...) canalisent les écoulements atmosphériques modifiant ses caractéristiques physiques (grandeurs moyennes et turbulentes). L'importance de ces modifications est liée à la taille et à la forme de l'obstacle.
- ✓ Les effets thermiques : brise de mer /de terre. La brise thermique se définit comme un vent à caractère local ou régional et à alternance diurne, qui s'établit à proximité des lacs, mers, montagnes,... et qui résulte des différences de température dans les basses couches de l'atmosphère.

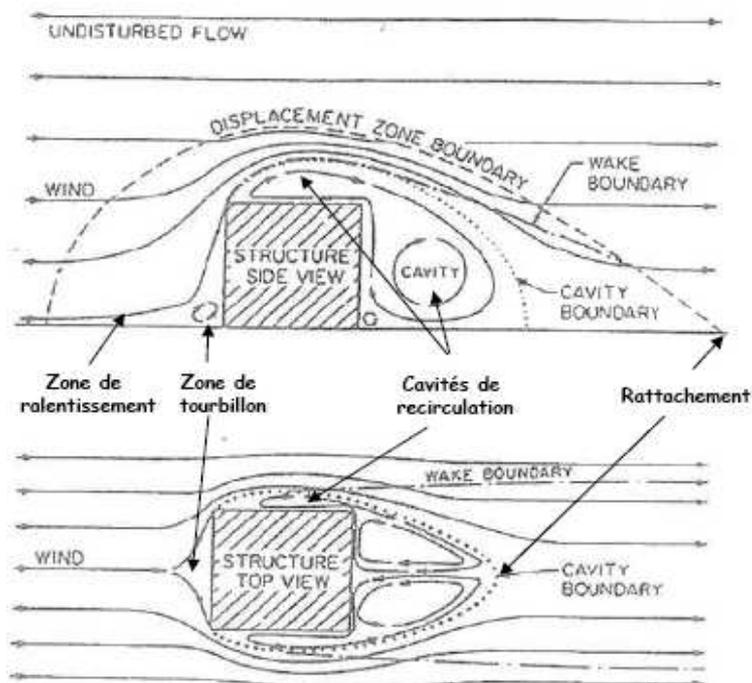
## Influences des obstacles sur la dispersion atmosphérique

### La présence d'obstacles

L'écoulement autour d'un bâtiment ou d'un groupe de bâtiments est un phénomène très complexe. La présence d'un obstacle modifie de manière importante le champ de vitesses à l'aval ET à l'amont de l'obstacle.

#### En amont :

- Accroissement des concentrations
- Augmentation du temps d'exposition
- Présence de zones de recirculation



#### En aval :

- Décroissement des concentrations
- Augmentation du temps d'exposition
- Diminution de la largeur du panache
- Homogénéité verticale des concentrations

## **ANNEXE 2 : TABLEAU COMPARATIF DES PRINCIPAUX MODELES GAUSSIENS DE DISPERSION ATMOSPHERIQUE**

	<b>ADMS</b> <i>(Advanced Dispersion Modeling System)</i>	<b>ARIA-IMPACT</b>	<b>SCREEN 3 (EPA)</b>	<b>ISC3 (EPA)</b> <i>(Industrial Source Complex Model - V3-)</i>	<b>AERMOD (EPA)</b>
<b>SOURCE / ANNEE</b>	CERC, 1998 (UK) : Cambridge Environmental Research Center. www.cerc.co.uk	Développé par ARIA technologies : www.aria.fr	développé par l'US-EPA.	ISC3, 1995 (US-EPA). Recommandé par le guide de l'EPA sur la modélisation de la qualité de l'air. Disponible gratuitement sur Internet.	(Cimorelli et al, 1998) Vise à remplacer ISC3 (fondé sur les classes de stabilité de Pasquill-Gifford). Téléchargeable gratuitement sur le site de l'US-EPA.
<b>TYPE DE MODELE</b>	Modèle de dispersion atmosphérique avancé de type gaussien de 2ème génération. (bidimensionnel)	Modèle de dispersion atmosphérique de type gaussien traditionnel (bidimensionnel)	Modèle de dispersion atmosphérique - Modèle gaussien simple (niveau 1)	Modèle de dispersion atmosphérique - Modèle gaussien complexe largement utilisé par le passé.	Modèle de dispersion atmosphérique - Modèle gaussien complexe de 2ème génération
<b>DESCRIPTION</b>	<p>Modèle permettant de simuler des panaches en continu et des rejets ponctuels. Il détermine la trajectoire précise des panaches.</p> <p>Il quantifie la redistribution des effluents autour d'installations industrielles. ADMS est unique en ce sens qu'il peut traiter du transport et de la dispersion de rejets instantanés (ponctuels). Il y a quelques différences concernant les besoins des données d'entrée.</p> <p>Le modèle tient compte :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* des dimensions et propriétés des sources émettrices (hauteur des émissaires, débit, température des émissions)</li> <li>* des reliefs complexes, de l'occupation des sols (rugosité)</li> <li>* de la présence de bâtiments sur le site ou de l'environnement proche pouvant perturber la dispersion des polluants.</li> <li>* météo : ADMS ne requiert qu'un seul niveau de données issues des observations de terrains</li> </ul>	<p>Objectifs</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* Impact statistique à court et long terme des émissions d'origine industrielle ou automobile</li> <li>* Comparaison des concentrations calculées avec les valeurs réglementaires (moyenne annuelle, percentile)</li> <li>* Analyse statistique de données météorologiques (séries chronologiques, roses des vents)</li> <li>* Modèle météorologique : Profils météorologiques uniformes horizontalement construits à partir des mesures sol, variables dans le temps.</li> <li>* Modèle de dispersion : Modèle de dispersion de type gaussien rectiligne APC, Surélévation des panaches industriels, Prise en compte simplifiée du relief, Vitesse de sédimentation des poussières, pas de réactions chimiques complexes .</li> </ul> <p>Pour le calcul des retombées au sol de polluants il permet de prendre en compte les effluents passifs, les poussières sensibles aux effets de la gravité.</p>	<p>C'est le plus simple modèle de dépistage d'une source unique. Ce type de modèle repose sur plusieurs hypothèses et a habituellement recours à un tableau de recherche ou à un graphique pour l'entrée des données.</p>	<p>Il est souvent utilisé avec un certain nombre de paramètres d'entrée météorologiques minimum :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* vitesse et directions des vents de l'aéroport le plus proche,</li> <li>* hauteur du plafond,</li> <li>* couverture nuageuse,</li> <li>* les classes de stabilité horaires de Pasquill-Gifford</li> </ul> <p>ISC3 tourne avec une séquence de données météo horaires pour évaluer les concentrations dans les milieux récepteurs pour une période moyenne (de 1 heure à 1 jour).</p> <p>Pour certaines applications, des données horaires sur plusieurs années sont incluses dans les paramètres d'entrée pour une meilleure fiabilité des données (ou meilleure interprétation des stats concernant les "pics" horaires ou les moyennes sur des durées plus importantes.</p> <p>Le modèle perfectionné tient compte des effets de sillage produits par les bâtiments.</p>	<p>Comprend les mêmes ensembles d'algorithmes basés sur l'état des connaissances qu' ADMS (ex : les 2 modèles comprennent la distribution bimodale pour les vitesses verticales turbulentes pour des conditions convectives).</p> <p>Les algorithmes d'AERMOD ont été conçu (ex : caractéristiques des terrains) pour que le modèle tourne relativement rapidement comparé à ADMS.</p> <p>L'algorithme "downwash" ds AERMOD est le même que dans ISC3 alors que dans ADMS, il est basé sur les expérimentations récentes (wind tunnel) et sur le développement de modèles.</p> <p>Ce modèle, perfectionné, tient compte des effets de sillage produits par les bâtiments.</p>

	<b>ADMS</b> <i>(Advanced Dispersion Modeling System)</i>	<b>ARIA-IMPACT</b>	<b>SCREEN 3 (EPA)</b>	<b>ISC3 (EPA)</b> <i>(Industrial Source Complex Model - V3-)</i>	<b>AERMOD (EPA)</b>
<b>Données requises paramètres d'entrée</b>	<p>Approche différente de l'estimation de la turbulence et de l'écart-type. Eviter leur utilisation quand l'analyse doit être faite en 3 D.</p> <p>* conditions météorologiques locales : vitesse et direction du vent, structure de l'atmosphère (stabilité, ascendance, inversion de température), température de l'air, rayonnement solaire, flux de chaleur, nébulosité...</p> <p>* site et domaine d'étude</p> <p>* topographie et nature des sols : plateau (altitude homogène) paramètres de rugosité.</p> <p>* présence ou non de bâtiments susceptibles d'entraîner une recirculation du flux principal...</p> <p>*Le modèle doit être renseigné sur le débit de la source, sur la température et la vitesse du rejet pour calculer la hauteur du panache.</p> <p>* Pour chaque source, il convient de préciser la surface d'émission, le débit minimal et la hauteur par rapport au sol...</p>	<p>* Entrées météorologiques: Séries de mesures horaires ou tri-horaires provenant d'une station météorologique ou situation météorologique particulière.</p> <p>* Entrées émissions : Description des espèces émises (gaz et particules). Émissions et caractéristiques des sources ponctuelles (industrielles), linéiques (segments de trafic), surfaciques (chauffage domestique, émissions diffuses COV...) ou volumiques. Modulations temporelles mensuelles, hebdomadaires et horaires pour chaque source.</p>	<p>Ne nécessite pas de données météorologiques spécifiques puisqu'elles sont générées par le modèle lui-même.</p> <p>IL faut tenir compte des paramètres suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* l'effet des bâtiments</li> <li>* la topographie</li> <li>* les autres sources</li> <li>* le niveau de contamination dans l'air ambiant</li> <li>* la direction (cas d'une source de surface)</li> </ul>	<p>* Vitesse du vent</p> <p>* Direction du vent</p> <p>* La détermination de la classe de stabilité</p> <p>* La profondeur supposée</p> <p>* Les altitudes des terrains aux points d'impact</p> <p>* Les dimensions des bâtiments en plus des émissions</p> <p>* Les paramètres "stacks"</p> <p>SC3 nécessite de préciser si la zone d'étude entourant une installation est davantage rurale ou urbaine pour ensuite établir l'ensemble des courbes de dispersion horizontales et verticales (celles de pasquill-Gifford pour le rural, celles de Mc Elroy-Pooler pour l'urbain).</p> <p>Données météo synthétiques. Il n'y a pas de taux de dispersion autres ou intermédiaires</p>	<p>AERMOD permet d'entrer des données relatives au vent et aux températures (profil vertical). Conditions météo mises à jour... Données météo synthétiques</p>
<b>SOURCES D'EMISSIONS</b>	<p>émissions atmosphériques, ponctuelles (cheminées), surfaciques/volumiques (sources diffuses, ateliers émetteurs, stockage), linéiques (jets) et variables dans le temps</p>	<p>émissions atmosphériques - sources multiples.</p> <p>Sources ponctuelles, linéiques, surfaciques</p>	<p>émissions atmosphériques - Source unique</p>	<p>Pour des sources ponctuelles, diffuses, linéaires, volumiques et minières</p> <p>souterraines dans les régions rurales ou urbaines.</p> <p>Adaptation limitée aux terrains plats ou élevés.</p>	<p>Emissions atmosphériques - Sources multiples ponctuelles, diffuses et volumiques</p>

	<b>ADMS</b> <i>(Advanced Dispersion Modeling System)</i>	<b>ARIA-IMPACT</b>	<b>SCREEN 3 (EPA)</b>	<b>ISC3 (EPA)</b> <i>(Industrial Source Complex Model - V3-)</i>	<b>AERMOD (EPA)</b>
<b>PERIODE</b>	Court et long terme	Court et long terme	Court terme	Court terme ou long terme suivant la version	Court terme ou long terme
<b>BESOINS MATERIELS ET HUMAINS</b>	Informatique bureautique classique (PC sous environnement windows) + formation du personnel utilisant le logiciel	Informatique bureautique classique (PC sous environnement windows) + formation du personnel utilisant le logiciel	Informatique bureautique classique (PC sous environnement windows) + formation du personnel utilisant le logiciel	Informatique bureautique classique (PC sous environnement windows) + formation du personnel utilisant le logiciel	Informatique bureautique classique (PC sous environnement windows) + formation du personnel utilisant le logiciel
<b>DOMAINE D'UTILISATION / APPLICATION</b>	<p>* Il peut être appliqué pour des sources ponctuelles, linéaires, surfaciques et volumiques.</p> <p>* Il possède un module applicable aux émissions des véhicules à moteurs (rues encaissées).</p> <p>* Pour les sources localisées en terrains compliqués, l'algorithme utilisé a été développé pour simuler le panache du vent et la turbulence pour différents scénarios relatifs aux zones montagneuses et aux vallées.</p>	<p>Objectifs</p> <p>* Impact statistique à long terme des émissions d'origine industrielle ou automobile</p> <p>* Comparaison des concentrations calculées avec les valeurs réglementaires (moyenne annuelle, percentile)</p> <p>* Analyse statistique de données météorologiques (séries chronologiques, roses des vents)</p>	L'utilisation de SCREEN dans un cas topographique complexe n'est pas permis. Ne permet pas de déterminer précisément les impacts maximum en cas de sources multiples	S'applique à des sources type raffineries ou à toute autre source industrielle en terrain simple. Modèle gaussien basé sur une trajectoire rectiligne ayant évolué sur 2 décennies.	AERMOD comme ADMS peut inclure des conditions de surface tels que : <p>* l'humidité du dol (ratio Bowen ou paramètre Priestley),</p> <p>* l'albedo de surface (estimation des radiations),</p> <p>* la rugosité de surface (variable importante à considérer dans l'estimation de la dispersion au voisinage de raffineries et d'autres sites industriels, qui peut impacter sur les caractéristiques verticales du vent et de la température et sur le taux de dispersion sur la couche de surface</p>

	<b>ADMS</b> <i>(Advanced Dispersion Modeling System)</i>	<b>ARIA-IMPACT</b>	<b>SCREEN 3 (EPA)</b>	<b>ISC3 (EPA)</b> <i>(Industrial Source Complex Model - V3-)</i>	<b>AERMOD (EPA)</b>
<b>LIMITES DU MODELE</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Ne permet pas de prendre en compte les vents &lt;à 0,75 m/s à 10 m de hauteur (phénomènes de vent calme).</li> <li>* Module de relief limité aux reliefs modérés.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Hypothèses de calcul assez restrictives,</li> <li>* Météo homogène, considérée comme uniforme sur le domaine d'étude (vent et stabilité uniforme),</li> <li>* Modèle gaussien rectiligne non applicable lors de vents faibles ,</li> <li>* Ne permet pas la prise en compte des bâtiments et des écoulements cisaillés,</li> <li>* Limité à des reliefs peu accidentés,</li> <li>* Ne permet pas la prise en compte de la réactivité chimique,</li> <li>* Ne convient pas aux phénomènes non stationnaires,</li> <li>* Domaine d'étude de 2 à 30 Km : ne convient pas aux études à proximité immédiate de la source,</li> <li>* Ne représente pas le panache en 3D,</li> <li>* Résultats disponibles uniquement au niveau du sol</li> </ul>	<p>Ce type de modèle se limite à fournir les concentrations dans le pire des cas et pendant une heure à un récepteur.</p> <p>Ne peut donc prédire des concentrations moyennes à long terme (pendant 8 h, pour la journée, la saison ou l'année...).</p> <p>L'utilisation de SCREEN dans un cas topographique complexe n'est pas adaptée.</p>	<p>Principales limites associées à l'amélioration des connaissances sur la couche limite atmosphérique et du fait des estimations résultant des procédés de dispersion turbulents qui ne peuvent être adaptés au modèle.</p>	Non déterminées

	<b>ADMS</b> <i>(Advanced Dispersion Modeling System)</i>	<b>ARIA-IMPACT</b>	<b>SCREEN 3 (EPA)</b>	<b>ISC3 (EPA)</b> <i>(Industrial Source Complex Model - V3-)</i>	<b>AERMOD (EPA)</b>
<b>AVANTAGES / POINTS FORTS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Traitement des variations du taux de dispersion dans la couche limite atmosphérique.</li> <li>* Prise en compte des reliefs modérés (pentes &lt;20 degrés)</li> <li>* Permet de modéliser des situations complexes comme des changements de rugosité dans le domaine d'étude ou la présence de bâtiments autour de la source.</li> <li>* Temps de calcul très courts qui permettent de réaliser des études statistiques à long terme dans un temps raisonnable (2 à 3 min pour une source avec 1 an de données météo).</li> <li>* Polluants considérés : gaz inertes ou actifs, particules ou éléments radioactifs.</li> <li>* Prise en compte des dépôts secs ou humides possible;</li> <li>* Modèle complet avec "background" sérieux, régulièrement mise à jour et convivial.</li> <li>* Permet de répondre à un grand nombre de problématiques de liées à la dispersion atmosphérique (particules, relief, bâtiments..) dans un temps raisonnable.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Rapide et facile à mettre en oeuvre sur des situations où l'écoulement est simple,</li> <li>* permet de prendre en compte l'influence du relief de façon très simplifiée,</li> <li>* Temps de calcul très courts (2 à 3 min),</li> <li>* Calcul de l'impact à long terme,</li> <li>* Prend en compte des données météo réelles sur plusieurs années ou à partir de la rose des vents,</li> <li>* Requier moins de données que les modèles plus sophistiqués,</li> <li>* Multi - espèces : gaz inertes et particules,</li> <li>* Multi - sources : ponctuelles, linéiques, surfaciques, volumiques,</li> <li>* Pratique courante, reconnue dans plusieurs réglementations.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nécessite que peu de données d'entrée</li> <li>Exemple : ne nécessite pas de données météo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>*Simplicité d'utilisation</li> <li>*Constance des résultats obtenus : st les mêmes pour différents utilisateurs et pour le même scénario</li> <li>* Le nombre de données d'entrée de type météorologiques requis est relativement faible.</li> <li>*</li> </ul>	Non déterminées
<b>COUT/PRIX</b>	5 à 10000 Euros suivant le type de licence (annuelle, permanente)	10 à 12000 Euros	Gratuit	Gratuit	Gratuit

	<b>ADMS</b> <i>(Advanced Dispersion Modeling System)</i>	<b>ARIA-IMPACT</b>	<b>SCREEN 3 (EPA)</b>	<b>ISC3 (EPA)</b> <i>(Industrial Source Complex Model - V3-)</i>	<b>AERMOD (EPA)</b>
<b>FORME PRESENTEE DU RESULTAT</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* moyennes annuelles de concentrations en polluant</li> <li>* analyses statistiques pour estimation des percentiles</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Calcul unitaire correspondant à une configuration de rejet et à une situation météo particulière</li> <li>* Module statistique permettant d'évaluer l'impact à long terme des émissions d'origine industrielle ou automobile.</li> <li>* Comparaison des concentrations calculées avec les valeurs réglementaires (moyennes annuelles, mensuelles, journalières, percentile) : fréquence de dépassement.</li> </ul>	Estime la concentration dans le pire des cas partout dans le domaine.	Calcule la concentration maximum ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) à la distance correspondante, détermine le pire cas d'impact. Calcule les dimensions du panache en m	Non déterminées

**ANNEXE 3 : TABLEAU RECAPITULANT LES DONNEES LES PLUS SOUVENT REQUISES A LA  
MODELISATION DE LA DISPERSION AERIENNE [4]**

Type de données nécessaires	Description des paramètres à renseigner
Les caractéristiques de la source d'émission	la hauteur et le diamètre intérieur de(s) cheminée(s) de l'installation la température et la vitesse des gaz à l'émission la distribution de taille des particules émises la partition gaz/particules le débit des fumées (Nm <sup>3</sup> /h) les variations de fonctionnement au cours du temps la prise en compte d'autres sources (suivant le modèle)
Les caractéristiques spécifiques au polluant	les concentrations à l'émission (mg/Nm <sup>3</sup> ) le débit massique (g/h) le processus de transformation chimique dans l'air et/ ou le sol la taille, la masse, les caractéristiques d'affinités
Les caractéristiques de la topographie	le choix du domaine d'étude (carré de x m ou km de côté) la détermination du maillage souhaité : 50, 100, 200,300 m le relief du site (données IGN) la cartographie de l'occupation des sols, des constructions humaines (IGN) l'estimation de la rugosité des sols la présence d'une ligne de côte
Les caractéristiques météorologiques sur une période définie	le choix d'une station représentative du site la vitesse et la direction des vents la nébulosité / l'ensoleillement la température les précipitations (pluviométrie pour calcul de dépôt humide/sec) les fréquences de mesures tri horaire les caractéristiques de stabilité de l'atmosphère (mesure de la turbulence, prise en compte de la stratification verticale de la température de l'air...)

## ANNEXE 4 : TABLEAU COMPARATIF DES MODELES MULTIMEDIA ADAPTABLES A UNE ERSEI AVEC REJETS ATMOSPHERIQUES

<b>Modèle Multimédia</b>	<b>CalTOX 4.0</b>	<b>HHRAP (Human Health Risk Assessment Protocol for hazardous waste combustion facilities)</b>	<b>EUSES (European Union System for the Evaluation of Substances)</b>	<b>MEPAS (Multimedia Environmental Pollutant Assessment System)</b>	<b>TRIM (Total Risk Integrated Methodology)</b>	<b>MPE (Methodology For Assessing health risks associated with multiple pathways of exposure to combustor)</b>
<b>Type de modèle</b>	Logiciel (excel) modèle de fugacité, à 2 parties (modèle de transfert des polluants dans l'environnement, et modèle d'exposition), multi-compartiments	Guide méthodologique (méthode de calcul) développé dans le but d'évaluer les risques liés aux émissions d'incinérateurs de déchets dangereux.  multi-compartiments  Fournit l'ensemble des équations nécessaires à la quantification de l'exposition ainsi que les données d'entrée.	Logiciel ensemble d'équations simples, estimer l'exposition de l'homme à partir de l'environnement	Logiciel dont l'objectif est de classer les sites présentant les risques potentiels chimiques et radiologiques pour la population environnante.	Logiciel conçu pour couvrir l'ensemble des besoins induits par la charge de l'évaluation des risques liés aux substances émises dans l'air ambiant. Modèle multimédia de nouvelle génération. Outil composé de 3 modules de calcul : transfert dans l'environnement, exposition humaine et caractérisation du risque.	Guide méthodologique qui fournit un ensemble d'algorithmes pour évaluer les expositions humaines aux polluants atmosphériques émis par des unités de combustion fixes.
<b>Source / année</b>	Université de Californie - dernière version = 2002  Disponible sur Internet, gratuit.	US EPA (office of Solid Waste) 1998  Disponible sur Internet, gratuit.	European Commission, 2004.  Disponible sur Internet, gratuit.	US-Department of energy's pacific northwest laboratory Disponible sur Internet, gratuit.	US-EPA, 2002  Disponible sur Internet, gratuit.	1998, guide publié par le NCEA (National Center for Environmental Assessment) Disponible sur Internet, gratuit.
<b>Voies d'expositions considérées</b>	- Ingestion sol, eau (robinet, baignade), viande, œuf, lait, lait maternel - inhalation particules et gaz - absorption cutanée (sol, eau)	- Inhalation - ingestion sol, végétaux, viande de bœuf, porc, volaille, lait, œuf, poisson	- Ingestion d'eau, de viandes de produits laitiers, de poisson - Inhalation d'air	- Ingestion d'eau, de sol, de sédiments, de produits d'origine végétale, animale et aquatique - Inhalation - absorption cutanée (sol, eau)	- Ingestion de sol, d'eau, de végétaux, de viande, de lait, de lait maternel - Inhalation de particules et de gaz -La prise en compte des voies concernant l'absorption cutanée est envisagée à plus longue échéance	- Ingestion de sol, aliments (poisson, crustacés), eau, lait maternel - Inhalation dont poussières remises en suspension - Absorption cutanée par contact avec sol et eau

Modèle Multimédia	CalTOX 4.0	HHRAP	EUSES	MEPAS	TRIM	MPE
<b>Avantages</b>	Intégration nombreux phénomènes et voies d'exposition, respect du principe de conservation de la masse, accessibilité code de calcul, adaptabilité aux contexte local (environnement exposition)	Possède 1 base de donnée complète concernant les paramètres d'exposition, et les paramètres physicochimiques des substances (facteur de bioconcentration ou de transfert)  Polluants pris en compte : organiques et métaux	Méthodes de calculs simples, approche intéressante de certaines équations (accumulations sols et contamination partie foliaire des végétaux)  Polluants pris en compte : organiques et métaux	Outil semblant complet car prenant en compte différents milieux et voies d'exposition pouvant résulter des émissions d'une installation classée Intègre un module d'analyse de l'incertitude et de la variabilité Polluants pris en compte : organiques, métaux et radionucléide	outil performant. respect du principe de conservation de la masse Intègre 1 bibliothèque d'algorithmes (choix d'équations pour représenter 1 type de transfert de polluants) Accessibilité aux codes de calcul. architecture modulaire permettant d'utiliser des modèles et des données extérieures	Document faisant la synthèse d'éléments de modélisation simples, modèles de criblage ("screening-level models"). Ensemble de modèles simples qui peuvent être utilisés les uns après les autres en fonction des voies d'exposition identifiées. Polluants pris en compte : organiques et métaux
<b>Limites</b>	Pas très adapté à la prise en compte des milieux aquatiques Ne permet pas de prendre en compte la dimension spatiale Inutilisable pour durée d'exposition < 1 an Adapté uniquement pour les substances organiques Adaptée aux superficies > 1000 m2 (sol)	Exposition par voie cutanée non évaluée Transfert entre compartiments source et récepteur dans un seul sens (Caltox intègre les 2 sens)	Méthode de calcul s'applique à un environnement standardisé. Nombreux phénomènes non considérés (érosion, ruissellement...). Non adapté pour 1 ERS pour 1 site spécifique	Ne respecte pas le principe de conservation de la masse : les modules qu'il intègre ne sont pas couplés mais juxtaposés les uns aux autres  Ne prend pas en compte l'évolution des concentrations de polluants dans le temps et l'espace.  Concrètement, pose des difficultés pour y accéder...	Outil très sophistiqué qui de ce fait limite son usage à des utilisateurs très expérimentés réduisant ainsi son intérêt comme outil de référence.  Il n'existe que peu de base de données permettant son utilisation  Concrètement, il n'apparaît pas aussi fonctionnel que Caltox.	Les modèles sont liés entre eux par la concentration de polluant dans le milieu amont. Il ne s'agit pas des modèles couplés = le bilan massique du polluant dans l'environnement n'est pas respecté.
<b>Domaine d'application</b>	Adapté à l'évaluation des risques liée aux émissions industrielles si couplé à un modèle de dispersion atmosphérique. Zone terrestre, durée d'exposition > 1 an, substances organiques	Adapté à l'évaluation des risques liée aux émissions industrielles Exposition par voie inhalation-ingestion uniquement  Quantification de l'exposition à partir de concentrations préalablement obtenues par modélisation atmosphérique (ISC3)	Environnement standardisé, permet de comparer les risques potentiels liés à différentes substances	C'est un outil de screening constitué d'algorithmes simples, qui permet de calculer les concentrations sur le long terme, liées à une émission atmosphérique	Peut s'appliquer aux risques liés à un site spécifique comme au niveau d'une agglomération.  Le module TRIM-expo évalue l'exposition de cohortes de population (ou sous-groupes)	Approches de modélisation pour prendre en compte les expositions indirectes liées à une pollution de l'air. Adaptée aux sources de pollution de type chronique et stationnaire. Fournit outils nécessaires à la réalisation d'une évaluation de risque moyenne ou majorante pour scénarios d'exposition spécifiques dans le cas d'une pollution chronique de l'air. Quantification de l'exposition à partir de concentrations préalablement obtenues par modélisation atmosphérique

**EXTRAITS DES TABLEAUX COMPARATIFS DES FONCTIONNALITES OFFERTES PAR LES OUTILS DE MODELISATION LES PLUS INTERESSANTS IDENTIFIES POUR LE CALCUL DES EXPOSITIONS LIEES AUX EMISSIONS ATMOSPHERIQUES DES INSTALLATIONS INDUSTRIELLES EN ANNEXE DU RAPPORT INERIS SUR LES MODELES MULTIMEDIA POUR L'EVALUATION DES EXPOSITIONS LIEES AUX EMISSIONS ATMOSPHERIQUES DES INSTALLATIONS CLASSEES [8]**

Tableau 2 : Calcul des concentrations environnementales - Compartiments pris en compte

<b>Compartiments</b>	<b>MPE</b>	<b>HHRAP</b>	<b>EUSES</b>	<b>CALTOX</b>	<b>MEPAS</b>
sol	X	X	X	3 couches	X
air	X	X	X	X	X
eau superficielle	X	X	X	X	X
eau de pluie	X				
eau souterraine			assimilée à l'eau du sol	X	X
sédiments		X		X	
végétation				X	

Tableau 3 : Calcul des concentrations des aliments d'origine végétale - Phénomènes pris en compte

	<b>MPE</b>	<b>HHRAP</b>	<b>EUSES</b>	<b>CALTOX</b>	<b>MEPAS</b>
<b>partie souterraine</b>					
à partir du sol : prélèvement par les racines	X	X	X	X	
à partir de l'air : dépôt de particules diffusion gazeuse					
à partir de l'eau d'arrosage				X	
<b>partie aérienne</b>					
à partir du sol : prélèvement par les racines par dépôt de sol	X	X	X	X X	X
à partir de l'air : dépôt de particules diffusion gazeuse	X X	X X	X	X X	X
à partir de l'eau d'arrosage				X	X
Dilution par croissance			X		
Photodégradation			X		
Métabolisation			X		

Tableau 4 : Types de transfert considérés

Compartiments	MPE	HHRAP	EUSES	CALTOX	MEPAS
à partir du sol					
remise en suspension de particules	X			X	X
lixiviation	X	X	X	X	X
volatilisation	X		X	X	X
érosion	X			X	X
ruissellement	X	X		X	X
dégradation	X	X	X	X	X
à partir de l'air					
diffusion vers le sol	X			X	
diffusion vers les eaux superficielles	X	X		X	
dépôts de gaz		X	X		X
dépôts de particules		X	X	X	X
dégradation				X	X
à partir des eaux superficielles					
volatilisation vers l'air	X	X	X	X	
sédimentation	X	X	X		
diffusion vers les sédiments			X		
dégradation	X		X	X	
à partir des sédiments					
diffusion vers les eaux superficielles				X	
remise en suspension				X	
dégradation	X			X	

## ANNEXE 5 : TABLEAU D'ANALYSE CRITIQUE DES DOSSIERS SAFEGE

Dossiers SAFEGE - type d'installation et contexte - année	Méthodologie : modèle, formule empirique, VHE, scénario d'exposition	Discussion concernant les paramètres d'exposition ?	Recevabilité du dossier	Avis critique : DJE obtenue ? Quels outils (modélisation...) ? Qualité discussion ?
<b>1- STEP A : Déplacement de la Station d'épuration des eaux usées - Etude SAFEGE ST GREGOIRE - Février 2007</b>	Utilisation du modèle Seamer (Safège)-dispersion en milieu aquatique-évaluation de la contamination du milieu Evaluation des risques liés au rejet actuel versus situation future (rejet la population exposée en terme de lieux (fréquentation plages) et d'effectifs (estimation du nombre de baigneurs) : caractérisation des risques à l'aide des formules INVS)	Hypothèse majorante concernant l'estimation des baigneurs selon l'estimation de la fréquentation des plages. Extrapolation du nombre de consommateurs de coquillage d'après l'étude "coquillages et santé"	Instruction non débutée - Modification du projet (du lieu d'implantation)	ERSEI / rejet aqueux maîtrisée mais pas de prise ne compte des voie par inhalation et des nuisances sonores... Pas de discussion / au modèle utilisé..?
<b>2- Incinérateur B : combustion des boues de la station d'épuration - Etude SAFEGE EVRY - Août 2006</b>	Approche selon le guide ASTEE "Guide pour l'évaluation du risque sanitaire dans l'étude d'impact d'une UIOM, 2003" Pour chaque substance retenue, recueil / risque de type qualitatif et choix d'une VTR ou ERU. Choix : concentrations maximales des polluants au niveau du sol. Etude dispersion atmosphérique / logiciel « Drag & Fly Gauss » par Siriatech : modèle gaussien prenant en compte la topographie du site. Les concentrations à l'émission des polluants retenus pour les calculs de risque sont les maximas autorisés par l'arrêté préfectoral. Résultats : les concentrations maximales attendues se situent dans une zone non habitée. Quantification du risque selon 3 approches : 1) IR seuls rejets de l'installation puis IR avec prise en compte du bruit de fond (mesures locales, zones périurbaines et urbaines) 2) ERI seuls rejets de l'installation puis ERI cumulé de tous les polluants  Etude en deuxième partie de la contamination des ressources alimentaires : seules les ressources issues des jardins alentours (légumes et fruits cultivés) ont été considérées * contamination aérienne des polluants choisis (Dioxine, plomb...) évaluée à partir du modèle puis comparée au bruit de fond * contamination du sol par calcul d'un taux de dépôt (modélisation non précisée) rapporté à 30 ans de fonctionnement, avec hypothèse de mélange homogène => Q accumulée en mg/kg de sol comparée aux concentrations normales des polluants dans le sol	Aucun paramètre d'exposition pris en compte : Cmax = dose pour l'inhalation Pas de scénario Pas de VHE Très majorant  Idem pour la voie ingestion - comparaison de quantité cumulée à des concentrations de référence des milieux. Aucun scénario d'exposition	Dossier instruit non validé par la DDASS en premier lieu. La demande de complément d'information de la DDASS n'a pas été réalisée.	* Voie Inhalation : Pas de données sur le modèle Gaussien utilisé, pas d'utilisation de VHE, pas de scénario d'exposition, pas de DJE..., utilisation de la Cmax obtenue à partir du modèle dans les calculs IR et ERI => hypothèse majorante Substances à effet seuil = approche par cumul au bruit de fond. A noter erreur de concentration = résultat aberrant Substances Cancérogène = calcul ERI par substance puis cumul * Voie Contamination ressources alimentaires : Seul prise en compte de contamination sur jardin potager car milieu urbain, par voie aérienne ou par contamination du sol Contamination aérienne écartée car Cmax (obtenue ac modèle Gaussien précité) est comparée aux valeurs ambiante dans l'air, avec des valeurs très inférieurs => pas de prise en compte de l'apport des rejets en plus du bruit de fond. Contamination sol obtenu par modélisation non précisée. Durée de vie de l'installation = 30 ans (justification ?), calcul d'un quantité accumulée en mg/kg de sol comparée aux valeurs ambiante dans le sol. Si valeur similaire ou inférieur, conclusion sur absence de risque, si valeur supérieur, pas de conclusion => pas de prise en compte de l'apport des rejets en plus du bruit de fond Pas de prise en compte des VHE, pas ou peu de scénario d'exposition Pas de conclusions ni de discussions sur le risque sanitaire globale, simple comparatif de concentrations obtenues.

<p><b>3- Site Industriel C : Activité : stockage et transit de déchets (liquides : acides, huiles, solvants, bases), lavage citernes routières suite à des plaintes de voisinage, ERSEI donc évaluation des risques existants (site ayant autorisation d'exploiter depuis 2003). Etude SAFEGE EVRY - Mai 2007</b></p>	<p>- Recensement des sources d'émissions du site :  - Mesures atmosphériques sur site pendant une dizaine de jours de fonctionnement sur certaines sources  - Calcul des émissions (modélisation) en l'absence de mesures pour les autres source : modèles (formules empiriques) d'émissions par mouvement et d'émissions par respiration.  - Utilisation d'un modèle de dispersion atmosphérique (ADMS3) pour estimer l'exposition par inhalation (Concentrations maximales rencontrées à hauteur d'homme et au niveau de chacune des cibles particulières définies)  - Calcul IR à partir de la Cmax des substances à effets avec seuil + cumul des IR pour chaque cible, pour les résultats obtenus par modélisation et par mesure  - Calcul ERI pour les polluants cancérigène, Fréquence d'exposition = 30/70 en 24/24 + cumul des ERI pour chaque cible, pour les résultats obtenus par modélisation et par mesure</p>	<p>Données, référence, domaine de validité du modèle précisé  Pas de scénario d'exposition dans le calcul des IR (aucune VHE)  Scénario d'exposition majorant dans le calcul des ERI (exposition 24/24), sans prise en compte de VHE alors que site/population sensible identifiés au départ sauf pour le calcul des ERI à partir des concentrations mesurés. Dans ce dernier cas, scénario d'exposition = travailleurs (8 hres/jr, 5jr/7 et 40 ans)</p>	<p>Validée l'administration en charge d'instruire</p>	<p>Application modèle semble adaptée (ADMS)  Peu de prise en compte de scénario d'exposition : population = 24/24 pendant 30 ans // travailleurs 5/7, 8h/j et 40 ans ...  Calcul IR et ERI sans prise en compte du cumul avec bruit de fond</p>
<p><b>4- Site industriel D - agroalimentaire, projet de récupération des graisses : création d'une filière de récupération des graisses issues de l'assainissement biocombustible : évaluation du risque lié à l'oxydeur thermique et au four d'incinération des boues - Etude SAFEGE ST GREGOIRE - décembre 2006</b></p>	<p>Etude VERITAS - Modèle de dispersion atmosphérique (ARIA impact)  Utilisation guide UIOM  Pas de scénario d'exposition pour la voie inhalation (C inhalée = C obtenue par modélisation)  Voie ingestion : 3 scénarios d'exposition (ingestion + inhalation)  - dépôt modélisé dans une ferme habitée par 1 famille 24/24 - autoconsommation ?  - valeur max de dépôt sur 1 famille 24/24 - consommation produits ferme + potager  - valeur max par inhalation modélisée sur 1 famille 24/24</p>	<p>Voie inhalation = pas de VHE, pas de scénario d'exposition  Voie ingestion = plusieurs scénarios intéressants  VHE = autoconsommation  HHRAP = Utilisation valeurs BCF - formule de dépôt de particule sur les plantes - transfert sol/plante vers viande  Prise en compte transfert dépôt aériens vers plante,  Prise en compte transfert vers viandes-volailles-oeufs  Prise en compte ingestion direct sol (enfant/adulte sources ASTEE)</p>	<p>Validée l'administration en charge d'instruire</p>	<p>Modélisation bien décrite, calculs documentés  Incertitudes explicités, documentés  Scénarios voie ingestion = multiples, avec VHE pertinentes  Pas de prise en compte de bruit de fond</p>
<p><b>5- Site industriel E : agroalimentaire, fabrication de produits surgelés, plaintes relatives aux odeurs (projet de masquage d'odeurs par des composés odorants) - Etude SAFEGE ST GREGOIRE - Juillet 2007 (V 1) ; Fév 2008 - Mars 2008 (V 2)</b></p>	<p>Impact sanitaire lié aux rejets liquides, au bruit et aux émissions atmo des chaudières et du condenseur évaporatif déjà étudiés (EI initiale)  V 1 ER liée aux émissions de vapeurs grasses (process SAG)  Absence de modélisation des émissions atmosphériques. Mesures des émissions sur le site réalisées en 2005 par SODAE. Les doses inhalées considérées sont celles émises en sortie de traitement (pas de dilution atmosphérique).  Estimation des concentrations atmosphériques émises après traitement des odeurs (abattement de 90%).  Pas de prise en compte de la brumatisation des huiles essentielles masquantes puisqu'elle est destinée à être abandonnée au profit du traitement d'oxydation par photolyse (UV-Ozone).  Pour la voie par inhalation, scénario d'exposition pour expo vie entière, 10h/24h et 6j/7 pendant 52 semaines/an.</p>	<p>V 1 - Voie par inhalation :  Pas de modèle utilisé pour la dispersion atmosphérique : dose inhalée = dose rejetée =&gt; scénario très majorant  Scénario adulte rural (temps passé à l'extérieur = BET (VHE, étude ROMMENS 1999), Durée exposition définie pour 6 jr/7 pendant 1 an. Utilisation d'un facteur de dilution mais pas de précision quant à la source d'extrapolation de ces données.  Voie par ingestion non prise en compte du fait du manque de données sur le dépôt au sol...pas de VHE, pas de scénario d'exposition...</p>	<p>ERSEI déposée début 2007 non validée ("non construite conformément aux références méthodologiques et réglementaires en vigueur en ce qui concerne les émissions atmosphériques") + demande d'ERS sur les dangers liés à la brumatisation de composés masquants  Eléments complémentaires demandés par la DDASS : mesures physico-chimiques / rejets</p>	<p>V 1 - Formules du guide ERS INERIS 2003 pour calcul des CI  Scénario d'exposition mais peu d'élément caractérisant les populations exposées  Scénario très majorant concernant la voie par inhalation puis affectation d'un facteur de dilution sans source précise argumentée pour relativiser les IR calculés (retour d'expérience non justifié).  Scénario rural adulte seul considéré (majorant ?), or le contexte de l'étude décrit un lotissement exposé sous les vents dominants : scénario urbain plus réaliste.  Aucun scénario d'exposition par ingestion : or les substances considérées dangereuses (formaldéhydes, acroléine et toluène) sont cancérigènes  V2 - Scénario d'exposition plus plausible</p>

	<p>Calcul des CI selon la formule du guide ERS, INERIS 2003 :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* Pour les polluants à seuil : prise en compte du temps passé à l'extérieur : adultes ruraux : 40%.</li> <li>* Pour les polluants sans seuil : période d'expo de 30 ans sur 70ans</li> </ul> <p>Calcul des IR et des ERI par inhalation :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* Conclusion sur IR&gt;1 et somme des IR = 3,9 mais hypothèse majorante d'où attribution d'un facteur de dilution de 1000 à 10000 (retour d'expérience en modélisation sur d'autres sites)</li> <li>* Conclusion sur ERI : acceptable, d'autant plus avec facteur de dilution...</li> </ul> <p>Conclusion : demande de complément de la DDASS</p> <p><b>V2</b> Sur demande de l'administration, analyses effectuées en limite de propriétés des habitations pour les composés traceurs précédemment identifiés</p> <p>Scénario d'exposition par inhalation pour les polluants à seuil et pour les polluants sans seuil</p> <p>Scénario d'exposition par ingestion pour 3 composés spécifiques : Formaldéhyde, Acroléine, Toluène, benzène</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* Voie inhalation : Pour les polluants à seuil, prise en compte de 100% du temps</li> <li>Pour les polluants sans seuil : période d'expo de 30 ans sur 70ans</li> <li>Pour IR et ERI, risques acceptables</li> <li>* Voie ingestion : analyse montre l'absence d'acroléine ds l'air : cette substance ne sera donc pas considérée (sols ...)</li> </ul> <p>Les concentrations en formaldéhyde sont inférieures au seuil de détection analytique = pas considérée</p> <p>Concentration en Toluène non prise en compte (pas de lien avec activité de l'entreprise, biodégradation ...)</p> <p>=&gt; risque dit négligeable</p>	<p>V2 - Voie par inhalation : C utilisées = estimation à partir d'une nouvelle campagne de mesure mais pb de seuil de détection = application d'un facteur de dilution pour obtenir la C retenue en limite de propriété.</p> <p>Scénario d'expo = 100% du temps pour les polluants avec seuil (majorant) et 30/70 ans pour les polluants sans seuil</p> <p>Voie par <b>ingestion</b> : risque écarté du fait des résultats des mesures ou biodégradabilité/sources autres que le site</p>	<p>atmosphériques canalisés d'où V2 en 2008</p> <p>V2 - ERSEI validée</p>	<p>(riverains en lotissement) et fondé sur des mesures dans le sol...</p> <p>Scénario d'exposition : C obtenue en limite de propriété, 100% du temps, ou 30/70 pour ERI =&gt; Concentrations obtenues ont permis d'écartier les scénarios par ingestion</p>
<p><b>6- STEP F - Station d'épuration des eaux usées (Activité de traitement des boues -Utilisation de Biogaz) - Etude SAFEGE ST GREGOIRE -Avril 2005-(V 1) ; Septembre 2007 (V 2)</b></p>	<p>Voie par inhalation : Pas de modélisation atmosphérique utilisée. Flux émis par le moteur de cogénération pour les substances retenues = concentrations émises en sortie de cheminée (bonne représentativité du fonctionnement futur de l'installation). Les doses inhalées sont ici les doses émises en sortie auxquelles on a attribué un facteur de dilution de 1000. (Hypothèse majorante car retours d'expérience/autres sites ? montrent que la dilution atteint au mini 10000 à 50000 dans la masse d'air pour les retombées max au sol)</p> <p>Formule utilisée pour Calcul CI (guide ERS, INERIS 2003)</p> <p>Scénario d'exposition : adulte rural (40 % du temps passé dehors)</p> <p>Voie par ingestion : pas d'estimations de quantités déposées au sol donc pas de calcul de DJE</p> <p>Calcul des IR et IR cumulés (somme) &lt;1 or scénario</p>	<p>Utilisation formule empirique guide ERS INERIS, 2003 pour Ci.</p> <p>Utilisation d'un facteur de dilution.</p> <p>Scénario d'exposition pour adulte rural (BET : temps passé à l'extérieur).</p> <p>Pas de scénario établi pour la voie d'exposition par ingestion</p>	<p>Validée par l'administration</p>	<p>Pas de modélisation des rejets mais au regard du projet, hypothèse majorante qui montre que le risque sanitaire est largement acceptable pour la voie par inhalation.</p> <p>L'attribution du facteur de dilution n'est pas bien référencée (quelles sources biblio ou retours d'expérience, existent-il des mesures, des études ?où? quand? pour quel type d'installation ?)</p> <p>Pas de scénario d'exposition par ingestion au regard des valeurs obtenues pour la voie par inhalation (est-ce un argument pertinent notamment pour les substances bioaccumulables) ?</p> <p>Dans le cadre d'un projet d'amélioration de l'installation existante, ce niveau d'approfondissement peut suffire</p>

	<p>majorant (dilution et concentrations prises en compte issues de la biblio sur d'anciennes installations) et non de l'installation neuve.</p> <p>Calcul des ERI et somme &lt; 10-9 d'où conclusion sur risque sanitaire pour la voie par inhalation très acceptable concernant le rejet issu de la combustion du biogaz de la nouvelle installation.</p>			
<p><b>7- STEP G : reconstruction de la station d'épuration - ERS, Communauté Urbaine - Etude SAFEGE ST GREGOIRE -Décembre 2005</b></p>	<p>Exposition par baignade : estimation du nombre de baigneurs/jr en hypothèse majorante (= fréquentation de la plage et non de la mer !)</p> <p>Niveau de contamination bactériologique des eaux de baignades estimé à partir des résultats des analyses DDASS</p> <p>Exposition par consommation de coquillages : estimation du nombre de pêcheurs à pied pour caractériser la population exposée.</p> <p>Estimation du nombre de cas attendus de troubles gastro-intestinaux attribuables à la baignade sur les plages.</p> <p>Extrapolation de la relation dose-réponse établie sur le site de la petite mer de gâvre .</p> <p>Conclusion sur le risque lié au rejet du système actuel d'assainissement acceptable donc situation future encore meilleure.</p> <p>Exposition aux rejets atmosphériques : composés gazeux et aérosols : évaluation qualitative. Etude olfactométrique réalisée en 2004 sur la station servant de référence quant à la dispersion des composés volatils.</p>	<p>Estimation fréquentation des plages, du nombre de baigneurs, de pêcheurs à pied. (consommation de coquillages).</p> <p>Analyses DDASS pour évaluer la qualité des eaux.</p> <p>Utilisation de la relation dose-réponse effectuée sur le site de la petite mer de gâvres...</p>	<p>Validée par l'administration en charge d'instruire les dossiers</p>	<p>ERSEI / rejet aqueux maîtrisée mais pas de prise ne compte des rejets atmosphériques voie par inhalation</p>
<p><b>8- Site industriel H : agroalimentaire : fabrication de produits alimentaires à base de poissons. Demande d'autorisation ICPE - ERSEI en raison de l'insuffisance du volet sanitaire de l'étude d'impact - Etude SAFEGE ST GREGOIRE Février 2004</b></p>	<p>Aucune mesure de rejets atmo et d'analyse, principe de proportionnalité/combustion au propane (chaudière).</p> <p>Diagnostic acoustique (pré-audit) réalisé par le cabinet JLBI Conseils (mesures des niveaux sonores en limite de propriété)</p>	<p>Pas de paramètres d'exposition utilisés, pas de scénario ...</p>	<p>Avis favorable de la DDASS</p>	<p>ERSEI de type qualitative pour toutes les émissions. Pas de quantification de risque (hors mis les mesures des niveaux sonores)</p> <p>Rejet atmosphérique = chaudières : émissions maîtrisées =&gt; pas de nécessité</p>

<b>9- STEP I : Aménagements visant à l'amélioration de la collecte, du traitement des effluents, des performances épuratoires –Actualisation du dossier (ERS). - Etude SAFEGE ST GREGOIRE Novembre 2004</b>	Estimation de l'exposition par contact : calcul de l'excès de risque attribuable au rejet de la station dans la Loire (Troubles digestifs hautement crédibles) Evaluation de l'exposition par inhalation : retours d'expérience de la station de Châteauroux (étude odeurs) + caractérisation de l'expo des populations : ici pas d'habitations à proximité.	Pas de paramètres d'exposition utilisés, pas de scénario...	Validée par l'administration en charge d'instruire les dossiers	ERSEI suffisante au regard de l'aménagement prévu . ERSEI / rejet aqueux et au risque microbiologique complète et cohérente.
<b>10- STEP J : extension de la station d'épuration - ERS - Etude SAFEGE ST GREGOIRE - Juin 2004 (V 1 : sans irrigation, V 2 : avec irrigation)</b>	V1 : Mesures dans les boues comparées aux teneurs ds la biblio Etude Olfactométrique autour de la station réalisée par la Société EOG (permettant de quantifier la dispersion des composés volatils) V2 : Prise en compte du risque lié à l'irrigation	Pas de paramètres d'exposition utilisés, pas de scénario...	V1 : non validée, dde de complément de la DDASS V2 : validé	ERSEI / rejets aqueux et usages prévisibles complète et cohérente.

## **ANNEXE 6 : EQUATIONS DE TRANSFERT HHRAP [3]**

### **EQUATIONS DE TRANSFERT POUR LA DETERMINATION DES CONCENTRATIONS DANS LES DIFFERENTS MILIEUX**

Cette méthode reprend principalement la méthodologie présentée par l'EPA pour réaliser une évaluation du risque pour les installations de combustion de déchets dangereux (Human Health Risk Assessment Protocol for Hazardous Waste Combustion Facilities, Peer Review Draft, July 1998, disponible sur internet : <http://www.epa.gov/epaoswer/hazwaste/combust/risk.htm>). Les travaux du groupe radioécologie Nord Cotentin (Groupe Radioécologie Nord-Cotentin, Sous-groupe n°3, Modèles de transfert des radionucléides dans l'environnement, rapport final détaillé, Volume 3, Juillet 1999) ont également été utilisés. Les évaluateurs sont donc invités à consulter ces documents s'ils souhaitent affiner les hypothèses. Précisons également que les valeurs des paramètres présentés dans les chapitres suivants sont définies dans les deux documents précités.

### **LE SOL**

A partir des dépôts calculés par le logiciel de modélisation de la dispersion atmosphérique, on détermine la quantité de polluants qui se retrouve dans le sol. Pour cela, l'hypothèse majorante que l'ensemble des dépôts vont s'accumuler sans aucunes pertes (telles que lixiviation, érosion, etc) est posée. De plus nous considérerons que l'incinérateur fonctionnera 30 ans avec les mêmes flux rejetés, ce qui correspond à la période de fonctionnement prévu de l'unité industrielle sans modification importante des rejets. On obtient ainsi la quantité de polluant qui se dépose en 30 ans. Dans le cadre des installations d'incinération, la contamination du sol attribuable à l'installation, vient du dépôt des particules. Il paraît donc légitime de considérer deux types de sols [US-EPA 1998]<sup>9</sup> :

- Un sol non labouré qui peut servir de terrain de jeu à des enfants. Dans ce cas, les particules vont s'accumuler à la surface, dans le premier centimètre [US-EPA 1998].
- Un sol bêché ou labouré prospecté par les racines de légumes cultivés et d'herbe de prairie. La couche de sol considérée est 0-20 cm [US-EPA 1998].

Ensuite on considère que la quantité de polluant qui s'est accumulée pendant 30 ans sur 1 m<sup>2</sup> va se mélanger de façon homogène dans 0,01 m<sup>3</sup> de sol (cas d'un terrain l'incinérateur de jeu) ou dans 0,20 m<sup>3</sup> (cas d'un sol bêché). En utilisant la densité apparente du sol, on obtient les concentrations dans les sols dues au fonctionnement de l'incinérateur.

### **LES VEGETAUX**

Les teneurs en polluants présentes dans les légumes proviennent :

- 1) du dépôt des particules sur les feuilles
- 2) du transfert du sol aux végétaux
- 3) du transfert de l'air à la plante (absorption foliaire)

#### **Concentration due aux dépôts**

Pour déterminer la concentration dans les légumes due aux dépôts des particules, l'EPA préconise l'équation suivante [EPA 1998] :

$$C_{id} = 1000 \times Q \times (1-F_v) \times (D_{ydp} + F_w \times D_{ywp}) \times R_p \times (1-\exp(-k_p \times T_p)) / (Y_p \times k_p)$$

*Équation 1*

---

<sup>9</sup> US-EPA (1998) Human Health Risk Assessment Protocol for Hazardous Waste Combustion Facilities, Peer Review Draft, July 1998, disponible sur internet : <http://www.epa.gov/epaoswer/hazwaste/combust/risk.htm>

Avec:

$C_{ld}$  : Concentration dans les légumes due au dépôt (mg/kg MS<sup>10</sup>)

$Q$  : Flux d'émission (g/s)

$F_v$  : Fraction de polluant présent dans l'atmosphère sous forme vapeur

$D_{ydp}$  : Dépôt sec annuel (s/m<sup>2</sup>.an)

$F_w$  : Fraction de polluant déposé par la pluie qui adhère à la plante

$D_{ywp}$  : Dépôt humide annuel (s/m<sup>2</sup>.an)

$R_p$  : Fraction interceptée par les cultures

$k_p$  : Coefficient de perte sur la surface de la plante (année<sup>-1</sup>)

$T_p$  : Durée de culture (année)

$Y_p$  : Rendement de production (kg MS/m<sup>2</sup>)

Nota : tous les coefficients ci-dessus sont définis dans les documents cités dans l'introduction de cette annexe.

Dans cette équation, le terme  $1000 \times Q \times (1-F_v) \times (D_{ydp} + F_w \times D_{ywp})$  permet de déterminer le dépôt annuel dû au dépôt sec et au dépôt humide. Le dépôt total est souvent déterminé directement lors de la modélisation de la dispersion atmosphérique et s'exprime en µg/m<sup>2</sup>.an. L'équation 1 devient donc :

$$C_{ld} = \text{Dépot}_{total} \times R_p \times (1 - \exp(-k_p \times T_p)) / (Y_p \times k_p)$$

Equation 1-bis

Pour déterminer la concentration dans les légumes due uniquement à la contribution de l'incinérateur, il convient de prendre comme valeur de  $\text{Dépot}_{total}$  les dépôts modélisés pour l'incinérateur.

Pour connaître la concentration dans les légumes due à l'état initial, la valeur de  $\text{Dépot}_{total}$  sera celle déterminée lors de l'état initial.

Enfin, la concentration dans les légumes due à l'état initial et au fonctionnement de l'incinérateur sera obtenue en attribuant à  $\text{Dépot}_{total}$  la valeur de la somme des dépôts dus à l'état initial et des dépôts dus à l'incinérateur.

### Concentration due au sol

On détermine les teneurs en polluant présentes dans les légumes, à partir des concentrations dans les sols, à l'aide de facteurs de transfert sol-végétaux ( $K_{ps-veg}$ ) :

$$C_{ls} = K_{ps-veg} \times C_{sol}$$

Les valeurs de  $K_{ps-veg}$  vont dépendre du type de légume et des teneurs dans les sols.

De même que pour les dépôts, pour déterminer la concentration dans les légumes due à l'état initial,  $C_{sol}$  devra prendre la valeur de la concentration dans le sol déterminée pour l'état initial (cf. § 6.2.2.1).

Pour la concentration due au fonctionnement de l'incinérateur,  $C_{sol}$  sera assimilé à la concentration due à l'incinérateur dans les sols labourés (cf. § paragraphe « SOL » ci-dessus).

Et enfin, la concentration dans les légumes due à l'état initial et au fonctionnement de l'incinérateur sera obtenue en attribuant à  $C_{sol}$  la valeur de la concentration dans le sol due à la contribution de ces deux sources (cf. § 6.2.2.3).

### Concentration due à l'absorption foliaire

On détermine les teneurs en polluant présentes dans les légumes, à partir des concentrations dans l'air avec la formule :

$$C_{lf} = B_v \times C_a \times F_v$$

avec  $B_v$  : Coefficient de biotransfert air-plante (L<sup>3</sup> d'air/M de plante fraîche),

$C_a$  : Concentration de polluant dans l'air (sous forme particulaire et gazeuse) (M/L<sup>3</sup>),

$F_v$  : Fraction de polluant sous forme gazeuse (-),

---

<sup>10</sup> MS : Matière Sèche

$$F_v = 1 - \frac{c \times S_T}{P_L^\circ + c \times S_T}$$

avec  $c$  : Constante de Junge ( $1,7 \cdot 10^{-4}$  atm-cm),  
 $S_T$  : Surface moyenne des particules d'aérosols ,  
 $P_L^\circ$  : Pression de vapeur du polluant en phase liquide (atm).

Si le polluant est solide à température ambiante, alors  $P_L^\circ$  est donné par :

$$\ln\left(\frac{P_L^\circ}{P_S^\circ}\right) = \frac{\Delta S_f}{R} \times \frac{(T_m - T)}{T}$$

avec  $P_S^\circ$  : Pression de vapeur du polluant en phase solide (atm),  
 $R$  : Constante de gaz parfaits,  
 $\Delta S_f$  : Entropie de fusion ,  
 $T_m$  : Température de fusion du polluant (°K),  
 $T$  : Température ambiante (°K).

### Concentration totale

La concentration totale dans le légume est ensuite déterminée en sommant les contributions des dépôts, du sol et de l'absorption foliaire:

$$C_{lt} = C_{ld} + C_{ls} + C_{lf}$$

$C_{lt}$  : Concentration totale dans le légume  
 $C_{ld}$  : Concentration dans le légume due aux dépôts  
 $C_{ls}$  : Concentration dans le légume due au sol  
 $C_{lf}$  : Concentration dans le légume due à l'absorption foliaire

### LES PRODUITS ANIMAUX

Les concentrations dans la viande (bœuf, porc, volaille...), le lait et les œufs sont estimées à partir de la quantité de polluant ingérée par l'animal. Il convient donc dans un premier temps de déterminer les concentrations dans les aliments ingérés par l'animal. La démarche utilisée est la même que pour les légumes (cf. § VEGETAUX), seules les valeurs des paramètres utilisés peuvent être différentes.

La concentration dans la viande, le lait ou les œufs ( $C_{\text{produit\_animal}}$ ) est ensuite obtenue à l'aide de l'équation suivante [EPA 1998] :

$$C_{\text{produit\_animal}} = \left\{ \sum (F_i \cdot Q_{pi} \cdot C_{vi}) + Q_s \cdot C_s \cdot B_s \right\} \times B_a_{\text{produit\_animal}} \times \text{MeF}$$

*Équation 2*

Avec

$C_{\text{produit\_animal}}$  : Concentration dans le produit animal ( $\mu\text{g}/\text{kg}$  pour la viande et les oeufs,  $\mu\text{g}/\text{L}$  pour le lait)

$F_i$  : Fraction de la plante de type  $i$  ingérée par l'animal ayant été cultivée dans la zone de retombée des dépôts du site

$Q_{pi}$  : Quantité totale de plante  $i$  ingérée par l'animal par jour (kg MS/j)

$C_{vi}$  : Concentration en polluant dans la plante de type  $i$  ingérée par l'animal ( $\mu\text{g}/\text{kgMS}$ )

$Q_s$  : Quantité de sol ingéré par l'animal par jour (kg/j)

$C_s$  : Concentration en polluant dans le sol ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )

$B_s$  : Facteur de bio disponibilité

$B_a_{\text{produit\_animal}}$  : Facteur de bio transfert pour le produit animal (j/kg pour la viande et les oeufs, j/L pour le lait)

MeF : Facteur lié au métabolisme

Nota : tous les coefficients ci-dessus sont définis dans les documents cités dans l'introduction de cette annexe.

## **ANNEXE 7 : EXTRAIT DE LA GRILLE DE LECTURE SE RAPPORTANT A L'ETAPE D'EVALUATION DE L'EXPOSITION DES POPULATIONS DU GUIDE INVS (2000)**

### **Evaluation de l'exposition des populations**

La grille de lecture relative à la qualité de l'évaluation des expositions est composée de trois sections. La première doit permettre au lecteur de situer dans l'étude d'impact les éléments nécessaires ayant permis de juger du **niveau potentiel de contamination des milieux** (air, eau, sol, etc.) en rapport avec les activités de l'installation. La deuxième se rapporte à la définition des **populations potentiellement exposées** via l'étude des **voies d'exposition\* possibles**. La dernière concerne à proprement parler l'estimation quantitative de l'exposition humaine.

#### ● **Potentiel de contamination des milieux**

- La cartographie et les documents présentés permettent-ils de localiser le projet par rapport aux milieux et aux équipements environnants ?
  - *insertion dans le Plan d'Occupation des Sols (POS) ou d'autres documents d'urbanisme (ex : SDAU, schéma d'aménagement et d'urbanisme, etc.) ;*
  - *proximité du réseau routier, de cours d'eau, de nappes souterraines, d'autres sources de pollutions, d'habitations, de zones protégées (protection des captages d'eau destinée à l'alimentation) ;*
  - *conditions climatiques et météorologiques, notamment sens et vitesse des vents dominants, pluviométrie (proximité d'une station météorologique ?).*
- L'impact sur le milieu hydrique est-il suffisamment détaillé ?
  - *description et qualité initiale des milieux récepteurs ;*
  - *utilisations du milieu : alimentation en eau potable ou industrie agro alimentaire, loisirs (baignades, sports, chasse, pêche, conchyliculture), abreuvement des animaux, irrigation, culture alimentaire ;*
  - *composition et volume des rejets prévus ;*
  - *nature des traitements (filtres et protections permettant d'y aboutir) ;*
  - *composition et volume des rejets consécutifs à : des fuites, des dysfonctionnements, un stockage de produits ou de déchets ;*
  - *composition et volume des rejets entraînés par des eaux pluviales ;*
  - *nature des protections du réseau public d'eau potable.*
- L'impact sur l'air est-il suffisamment détaillé ?
  - *utilisation du milieu (air intérieur, ventilation de locaux, etc.) ;*
  - *description et qualité initiale des milieux récepteurs ;*
  - *nature et volume des rejets prévus ;*
  - *nature des traitements (filtres et protections permettant d'y aboutir) ;*
  - *rejets susceptibles d'être produits par des fuites, des dysfonctionnements, un stockage de produits ou de déchets ;*
  - *nature des protections de l'air ambiant.*
- L'impact sur les sols est-il suffisamment détaillé ?
  - *utilisation du milieu (loisirs, sport, détente, jardins potagers, forêts, agriculture) ;*
  - *description et qualité initiale des milieux récepteurs ;*
  - *nature et volume des rejets prévus ;*
  - *nature des traitements (filtres et protections permettant d'y aboutir) ;*
  - *composition et volume des rejets consécutifs à : des fuites, des dysfonctionnements, un stockage de produits ou de déchets ;*
  - *nature des protections des sols et des ressources en eaux (superficielles ou souterraines).*

*Une réponse négative à l'une des questions peut entraîner une demande de complément d'information.*

## ● Définition de la population exposée aux nuisances

- La population potentiellement en contact avec l'un des milieux pollués par l'installation est-elle correctement identifiée ?
  - communes concernées par les émissions atmosphériques ;
  - description des unités de production et de distribution d'alimentation en eau potable (secteurs et populations approvisionnés) ;
  - puits privés (déclarés) ;
  - estimation de la fréquentation des baignades ;
  - pratiques de jardinage domestique sur les terrains concernés ;
  - utilisation agricole des terrains concernés, destination de la production ;
  - présence de structures d'accueil particulières (écoles, hôpitaux, maisons de retraite, campings etc.) et nombre de personnes accueillies.
- Est-il tenu compte de l'évolution prévisible dans le temps de ces populations (justification des hypothèses) ?

*Une réponse négative à l'une des questions peut entraîner une demande de complément d'information.*

## ● Evaluation de l'exposition

### Caractérisation du type d'étude

- Les données d'émission utilisées sont-elles spécifiques de l'installation ?
- Les transferts des agents dans les milieux sont-ils mesurés et / ou modélisés ?
- Les résultats expriment-ils l'excès d'exposition imputable au projet ?

*Une réponse négative signifie que l'étude n'est pas suffisamment spécifique au projet.*

### L'étude est-elle complète ?

- Les autres sources d'exposition et le bruit de fond sont-ils pris en compte ?
- Les méthodes de calcul de l'exposition sont-elles décrites et justifiées ?
- Les phénomènes de transfert susceptibles d'amener les polluants au contact de l'homme sont-ils décrits ?
- Les paramètres physico-chimiques des milieux susceptibles d'influencer les niveaux d'exposition sont-ils pris en compte ?
- Les propriétés physico-chimiques des substances susceptibles d'influencer les niveaux d'exposition sont-ils pris en compte ?
- Les scénarios d'exposition pour chaque groupe de population sont-ils définis en terme de budget espace-temps, de caractéristiques physiologiques ou d'habitude de vie et de consommation ?
- Les incertitudes des estimations sont-elles quantifiées et leurs effets discutés ?

*Une réponse négative à l'une des questions peut entraîner une demande de complément d'information.*

### Qualité méthodologique

- La provenance des informations et des données utilisées est-elle précisée ?
- Le choix des modèles de transfert d'un milieu à l'autre ou de dispersion dans un milieu donné est-il discuté ?
- Les données d'émission utilisées sont-elles analysées en termes de représentativité spatio-temporelle ?
- Les résultats sont-ils fournis sous forme d'unités opérationnelles (par exemple, dose moyenne journalière etc.) ?
- La validité et la fiabilité des indicateurs d'exposition sont-elles discutées ?

*Une réponse négative à l'une des questions peut entraîner une demande de complément d'information.*

---

# Abstract

---

According to French environmental regulation, Environmental Impact Assessment (EIA) procedures have to be conducted for industrial project, factories ... to show proof of evidence that their forthcoming activity will be environmentally suitable and will not negatively affect public health.

While speaking of EIA procedures, the appraisal of population exposure is surely the most intricate part of health risks assessment, as it consists of estimating the magnitude, frequency, duration and conditions of exposure to an agent, along with the number and characteristics of the population exposed.

But depending on the way exposure conditions are considered, the potential risk might be under/over estimated, just as well as the mitigation strategies that need to be implemented.

To avoid those uncertainties, exposure scenario must be defined and adapted to the expected level of focus (various for each EIA).

This level of focus will surely depend on the context of the assessment, in respect with the principle of proportionality, but also on the requirements (and the financial capacities) of the applicant and of the authorities & decision-makers.

The purpose of this document is to provide SAFEGE with an effective strategic tool for population exposure appraisal. More than giving an extensive methodological framework, the main idea is to lead the user within exposure scenarios design, depending on the required focus, proper to each EIA.

For that, several criteria have been defined, leading to a comprehensive decision tree. This tool will allow the user to visualize different levels of focus with the appropriate means to apply.