

# Annexe 6 – Choix méthodologiques pour la modélisation des panaches

La modélisation des panaches consiste à mettre en œuvre un logiciel de dispersion atmosphérique. Un modèle de dispersion est un outil permettant de décrire de façon simplifiée des phénomènes complexes et de prévoir, diagnostiquer et cartographier l'impact d'une installation. Il permet de déterminer les concentrations dans l'air et les dépôts au sol engendrés par les émissions atmosphériques de chacun des sites. Les facteurs considérés ci-dessous ont été établis préalablement à la modélisation.

## Les facteurs liés à l'émission et aux caractéristiques du polluant

Plusieurs paramètres caractérisant les cheminées et leurs rejets sont indispensables pour la modélisation des panaches :

- la hauteur de la cheminée ;
- le diamètre interne de la cheminée, la vitesse et la température des gaz en sortie de cheminée : ces trois paramètres permettent d'estimer la surélévation du panache d'origine thermique et d'origine dynamique [Hug 1975]. Différentes formules existent dans la littérature pour déterminer la surélévation du panache et qui dépendent de la vitesse du vent et parfois de la stabilité atmosphérique : Briggs [Briggs 1975], Holland, Concawe... C'est la formule de Holland qui a été retenue dans cette étude.
- les flux de dioxines et leurs variations temporelles : les émissions peuvent fluctuer au cours du temps.

Ces paramètres ont été intégrés dans le modèle de dispersion.

Plusieurs paramètres caractérisant les polluants sont indispensables pour la modélisation des panaches [Seinfeld 1986] :

- la composition gaz/particule du polluant ;
- la taille des particules et la masse volumique : ces deux paramètres permettent de calculer la vitesse de chute gravitaire des particules ;
- la vitesse de dépôts : elle tient compte de la capacité du sol à retenir le polluant qui se dépose. Elle permet de calculer les **dépôts secs** sur le sol qui dépendent également de la concentration. Cette élimination est réalisée en absence de précipitation et se fait soit par absorption directe des gaz par le sol, les roches, la végétation, les océans..., soit par conversion en particules déposées sur le sol ou retenues par la végétation ;
- le coefficient de lessivage : c'est la proportion de polluant entraîné par la pluie pendant une unité de temps (seconde). Il permet de calculer les **dépôts humides** liés au lessivage du panache par la pluie, qui dépendent également du taux de pluie et de la quantité de dioxines émises en sortie de cheminée. Les polluants s'adsorbent sur des particules solides ou se solubilisent dans les nuages. Les pluies ou les chutes de neige déposent des gaz dissous et des particules sur le sol et la végétation.

La modélisation du dépôt total en polluant tient compte des dépôts secs et humides.

Plusieurs scénarios sont étudiés en fonction de la composition gaz/particules et de la taille des particules, et en fonction des sites étudiés (tableau 1).

TABLEAU 1		HYPOTHÈSES SUR LA RÉPARTITION ET LA TAILLE DES PARTICULES DANS LA MODÉLISATION DES DIOXINES		
Scénario	Composition gaz/particules	Taille des particules	Sites concernés	
Scénario 1	100 % particules	1 µm	Tous	
Scénario 2	100 % particules	5 µm	Tous	
Scénario 3	100 % particules	10 µm	Gilly-sur-Isère, Cluny, Senneville-sur-Fécamp, Vaux-le-Pénil	
Scénario 4	50 % gaz, 50 % particules	1 µm	Gilly-sur-Isère, Cluny, Senneville-sur-Fécamp, Vaux-le-Pénil, Dijon, Pluzunet, Bessières	
Scénario 5	50 % gaz, 50 % particules	5 µm	Gilly-sur-Isère, Cluny, Senneville-sur-Fécamp, Vaux-le-Pénil, Dijon, Pluzunet, Bessières	
Scénario 6	50 % gaz, 50 % particules	10 µm	Gilly-sur-Isère, Cluny, Senneville-sur-Fécamp, Vaux-le-Pénil	

Le choix des vitesses de dépôts et de coefficient de lessivage pour chaque taille de particules est basé sur des données de la littérature [Kaupp 1999 ; Koester 1992 ; Underwood 2001].

TABLEAU 2		VITESSES DE DÉPÔTS ET DE COEFFICIENT DE LESSIVAGE POUR CHAQUE TAILLE DE PARTICULES						
Site	Vitesse de dépôts (cm/s)				Coefficient de lessivage (s-1)			
	Particules 1 µm	5 µm	10 µm	Gaz	Particules 1 µm	5 µm	10 µm	Gaz
Bessières	0,05	0,54	-	0	1,00E-05	1,00E-05	-	1,00E-05
Pluzunet	0,05	0,54	-	0	1,00E-05	1,00E-05	-	1,00E-05
Cluny	0,05	0,54	1,3	0	1,00E-05	1,00E-05	4,00E-04	1,00E-05
Senneville-sur-Fécamp	0,05	0,54	1,3	0	1,00E-05	1,00E-05	4,00E-04	1,00E-05
Gilly-sur-Isère	0,05	0,54	1,3	0	1,00E-05	1,00E-05	4,00E-04	1,00E-05
Vaux-le-Pénil	0,05	0,54	1,3	0	1,00E-05	1,00E-05	4,00E-04	1,00E-05
Dijon	0,05	0,54	-	0	1,00E-05	1,00E-05	-	1,00E-05

## Les facteurs topographiques

Le domaine d'étude retenu pour la modélisation de la dispersion des polluants atmosphériques doit être suffisamment grand :

- pour que les obstacles (bâtiments, arbres, ...) puissent être considérés comme faisant partie de la rugosité du terrain ;
- pour contenir les panaches calculés.

Pour l'ensemble des sites étudiés, la rugosité caractérisant l'occupation des sols a été supposée constante sur l'ensemble du domaine d'étude. Les mailles de discrétisation ont été prises égales à 100 m, sauf pour Maubeuge où la maille de calcul était de 200 m.

Pour chacun des sites étudiés, les cartes de la figure ci-après présentent la topographie sur les domaines d'étude retenus.

La géographie d'un site est très importante pour la dispersion des polluants car elle peut influencer la circulation des masses d'air. Par exemple, les rues "canyon", les bords de mer et les vallées peuvent modifier la dispersion des polluants. En bord de mer, la nuit, les masses d'air ne se déplacent pas dans le même sens que de jour. En effet, durant la journée la brise de mer ramène les polluants sur les côtes. Mais de nuit, ce phénomène s'inverse car le sol se refroidit plus vite que la mer. La pollution est alors transportée sur la mer [Stull 1988].

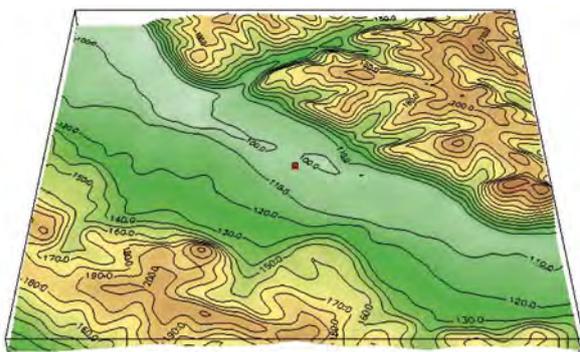
De même, dans les vallées montagneuses, le jour l'air s'échauffe sur les pentes et crée un courant qui remonte la vallée. Les polluants se

dispersent rapidement. Mais de nuit, ce phénomène s'inverse : l'air froid s'écoule le long des pentes et s'accumule au fond de la vallée, tout en la descendant. La pollution évacuée dans la journée est alors ramenée dans la vallée la nuit [Stull 1988].

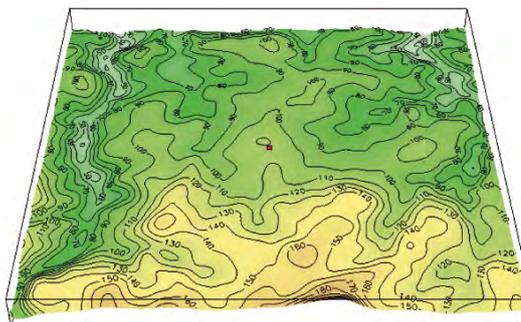
Pour la modélisation des panaches, deux approches ont été mises en place selon les sites étudiés :

- modélisation à l'aide d'un modèle gaussien pour les sites dont la topographie est peu marquée et dont la météorologie observée à la station Météo-France retenue est représentative du site. Le modèle gaussien utilisé est le logiciel Aria Impact ;
- modélisation à l'aide d'un modèle tridimensionnel à bouffées gaussiennes pour les sites dont la topographie est forte ou bien lorsque la climatologie du site est différente de celle observée par la station Météo-France retenue. Le logiciel Aria Industry a été mis en œuvre.

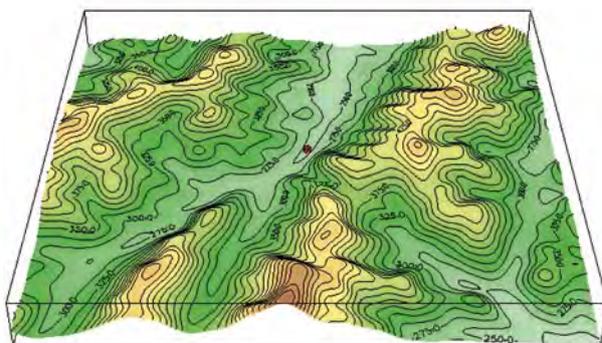
Le choix de l'approche retenue est donc principalement basé sur la complexité du site et la position de la station météorologique retenue. Le tableau 3 présente la différence d'altitude sur chacun des domaines d'étude et le choix de l'approche pour la modélisation des panaches. Ainsi, le modèle gaussien Aria impact a été utilisé pour les sites de Senneville-sur-Fécamp, Maubeuge, Pluzunet, Bessières, Dijon et Vaux-le-Pénit. Le modèle Aria Industry (modèle 3D à bouffées gaussiennes) a été utilisé pour les sites de Cluny et de Gilly-sur-Isère.



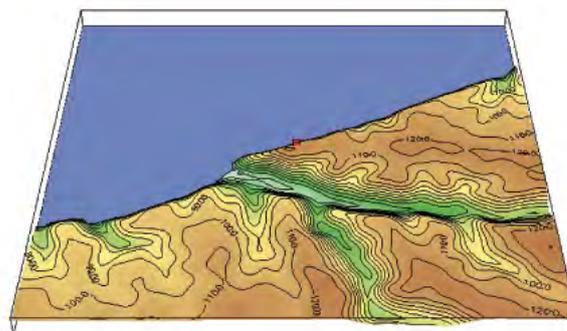
Bessières



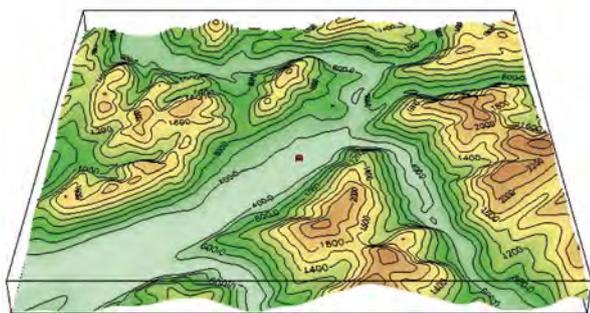
Pluzunet



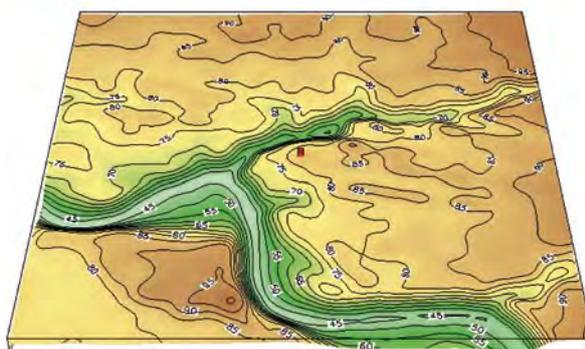
Cluny



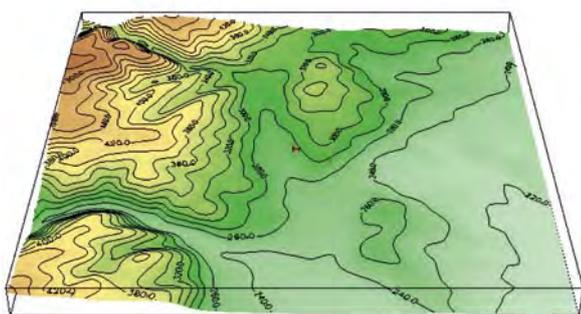
Senneville-sur-Fécamp



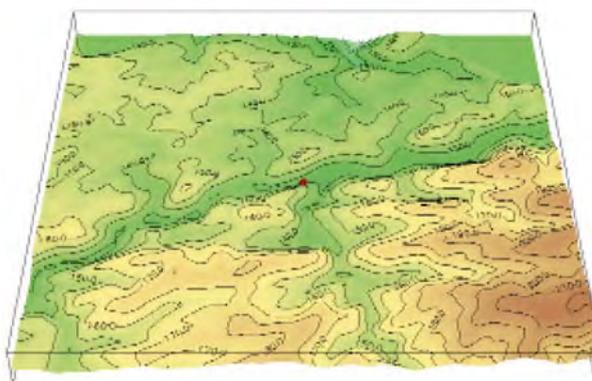
Gilly-sur-Isère



Vaux-le-Pénil



Dijon



Maubeuge

## Facteurs météorologiques

TABLEAU 3		ALTITUDES MINIMALES ET MAXIMALES SUR LES DOMAINES D'ÉTUDE RETENUS ET CHOIX DU MODÈLE			
UIOM	Altitude min. en mètres	Altitude max. en mètres	Différence	Choix du modèle de dispersion	
Bessières	92	227	135 m	Modèle gaussien	
Pluzunet	27	229	202 m	Modèle gaussien	
Cluny	212	697	485 m	Modèle à bouffées gaussiennes (3D)	
Senneville-sur-Fécamp	0	130	130 m	Modèle gaussien	
Gilly-sur-Isère	279	2533	2 254 m	Modèle à bouffées gaussiennes (3D)	
Vaux-le-Pénil	41	101	60 m	Modèle gaussien	
Dijon	210	532	322 m	Modèle gaussien	
Maubeuge	93	224	131 m	Modèle gaussien	

Les données nécessaires et leur rôle dans la modélisation ont été rappelés précédemment [Afssa-InVS 2003]. Conformément aux recommandations de l'Inéris la prise en compte des vents calmes (<1 m/s), ainsi que l'effet brise de mer sur Senneville-sur-Fécamp ont été considérés [Rouil 2004].

La stabilité de l'atmosphère a été estimée de la façon suivante : la stabilité de l'atmosphère est destinée à quantifier les propriétés turbulentes donc diffusives de l'air dans les basses couches de l'atmosphère. Elle est souvent associée à la structure thermique de l'atmosphère : on observe, par exemple, une "inversion" thermique lorsque l'atmosphère est stable (la température ne décroît pas suffisamment en fonction de l'altitude). De nombreuses méthodes existent pour caractériser la stabilité de l'atmosphère par les qualificatifs simples instable, stable ou neutre [Pasquill 1983]. En fonction des données météorologiques disponibles aux stations Météo-France, la stabilité atmosphérique a été déterminée à partir des mesures de vent et de nébulosité.

## Présentation des logiciels de dispersion

### › Modèle gaussien Aria Impact

Ce logiciel est un modèle gaussien qui permet d'élaborer des statistiques météorologiques et de déterminer l'impact statistique des émissions rejetées par une ou plusieurs sources ponctuelles, linéiques ou surfaciques. Il permet de simuler plusieurs années de fonctionnement en utilisant des chroniques météorologiques représentatives du site.

Plusieurs organismes de surveillance nationaux ou internationaux recommandent cette approche dans le cadre des études d'impact des installations industrielles [AIEA 1981 ; Inéris 2003].

Sans être un modèle tridimensionnel, Aria Impact peut prendre en compte la topographie de manière simplifiée. La prise en compte simplifiée du relief est une méthode qui permet au panache, en situation de vent stable (classes E et F de Pasquill) de se rapprocher

du sol [Hanna 1982]. Cette méthode est dite "simplifiée" car elle ne permet pas au panache de contourner un relief.

La dispersion du polluant autour de sa trajectoire est représentée par une forme gaussienne. Les distributions gaussiennes des polluants sont caractérisées par les "écarts-type" horizontaux et verticaux. Il existe plusieurs formulations possibles dans la littérature pour estimer ces écarts-type : Pasquill [Pasquill 1974], Briggs [Briggs 1973], Broohaven... Ils sont fonction de la distance parcourue par le polluant depuis la source d'émission et de la stabilité de l'atmosphère, et également parfois de la rugosité [Hanna 1982].

Le modèle gaussien Aria impact :

- permet la prise en compte de rejets gazeux et de retombées de poussières ;
- possède un module de calcul pour déterminer la dispersion des polluants pour les vents calmes (<1 m/s) ;
- prend en compte de manière simplifiée la topographie ;
- permet de calculer les dépôts au sol liés à la chute gravitaire des particules et au lessivage du panache par la pluie ;
- permet de calculer la surélévation du panache due à la vitesse d'éjection et à la température des fumées ;
- permet de prendre en compte l'influence de la côte pour le site de Senneville-sur-Fécamp, situé en bord de mer [Paine 1988].

Aria Impact est très souvent utilisé pour fournir les informations quantitatives nécessaires à une évaluation des risques sanitaires [Gaboriaud 2002, Eriksson 2005].

## › Modèle 3D Aria Industry

Deux mécanismes prépondérants dans la dispersion des polluants atmosphériques sont pris en compte par le logiciel Aria Industry :

- le transport du polluant par le vent : le logiciel Aria Industry met en œuvre le modèle numérique SWIFT permettant de calculer l'écoulement du vent en 3D en prenant en compte l'influence du relief. SWIFT traite le vecteur vent dans les trois directions x, y et z dans un système cartésien classique, et de manière optionnelle la température et la diffusivité turbulente. SWIFT permet donc de prendre en compte l'écoulement du vent autour des reliefs [Buty 1986], de respecter les règles de base de la mécanique des fluides notamment la conservation de la masse et d'être le plus proche possible des mesures éventuellement disponibles *in-situ* [Wendum 1985]. Ce modèle a fait l'objet de validations sur des mesures *in-situ* [Finardi 1993, 1998 et 2000 ; Sontowski 1995 a et b, 1996 et 2001 ; Geai 1987 ; Cox 1998 et 2000] ;
- la diffusion du polluant par la turbulence : le logiciel Aria Industry met en œuvre le modèle de dispersion TRAMES permettant de calculer les trajectoires du panache à partir du champ de vent tridimensionnel calculé par SWIFT, puis de déterminer la dispersion du polluant autour des trajectoires. TRAMES simule la dispersion du polluant par l'émission régulière de "bouffées" élémentaires partant de la source que l'on peut comparer aux bouffées issues de la pipe d'un fumeur. Les bouffées ont une taille qui évolue dans le temps en fonction de leur distance par rapport à la source et de la stabilité de l'atmosphère. Le centre de la bouffée est un point de la trajectoire du polluant. Autour de ce point, la concentration de la bouffée suit une répartition gaussienne qui est caractérisée par les écarts-type horizontaux et verticaux issus de la formulation de Pasquill [Hanna 1982]. Ce modèle a aussi fait l'objet de travaux de validations [Albergel 2000].