
	<p>OPERATION BIOSAV</p> <p><b>Rapport de Dispersion atmosphérique des Odeurs</b></p>	<p>Ref : 42-MCA-DEN-00000-12- 1003-02</p> <p>Révision : A</p> <p>Date : 03/07/2013</p> <p>Statut : AVS</p> <p>Page : 1</p>
---	---	--	--

# Rapport de dispersion atmosphérique des Odeurs

## Mise à jour des résultats de modélisation 3D (Phase 1)

2	03/07/2013	Mise à jour suite aux FOB	V. Rochas / S. Cougoulic	N. Mahieux	
1	12/12/2012	Version initiale	V. Rochas / S. Cougoulic	N. Mahieux	R. Natali
Rev.	Date	Intitulé révision / Libellé des modifications depuis la révision précédente	Rédacteur / Visa	Vérificateur / Visa	Approbateur / visa

**BIOSAV – ACHERES (78)**  
**REFONTE DE LA FILIÈRE BIOLOGIQUE DE L'USINE**  
**D'ÉPURATION DE SAV\_ACHÈRES**

**MODELISATION 3D – STADE CONCEPTION**

**RAPPORT DE DISPERSION**



***SIEGE***

1 rue des Vanniers

ZA La Forge

35830 BETTON

Tel : 02 99 55 14 14 - Fax : 02 99 55 14 15

Mail : [aroma@aromaconsult.fr](mailto:aroma@aromaconsult.fr)

**N° de rapport : RD 2012-198**

<b>Ind</b>	<b>Etabli par</b>	<b>Approuvé par</b>	<b>Date</b>	<b>Objet de la révision</b>
2	V. ROCHAS/ P. CORROYER	S. COUGOULIC	02/07/2013	Modifications de forme

---

Titre : **Modélisation 3D des nuisances olfactives relatives à la refonte de la filière biologique de l'usine d'épuration de SAV Achères.**

Référence du rapport : RD 2012-198  
Version : 2  
En date du : 2 juillet 2013

Mots clés : Odeur, étude de dispersion

Client : Cabinet Merlin

Contact : Vincent CROUZOULON (01 34 01 32 58)  
Nicolas MAHIEUX (06 11 39 59 82)

Lieu d'intervention : Usine BIOSAV - Achères (78)

Prestataire : AROMA CONSULT  
1 rue des Vanniers – ZA La Forge  
35830 BETTON

Rédaction : Vincent ROCHAS – Ingénieur Consultant  
Téléphone : 06-20-91-44-68  
vrochas@aromaconsult.fr

Approuvé par : Sébastien COUGOULIC – Directeur  
Téléphone : 06-10-09-53-99  
scougoulic@aromaconsult.fr

---

# Sommaire

<b>CHAPITRE 1 - OBJET .....</b>	<b>5</b>
<b>CHAPITRE 2 - DESCRIPTION DE L'ÉTUDE.....</b>	<b>6</b>
ARTICLE 1 : Position géographique du site .....	6
ARTICLE 2 : Description du site et des sources d'émission - termes sources .....	7
ARTICLE 3 : Topographie .....	12
ARTICLE 4 : Conditions météorologiques .....	12
ARTICLE 5 : Domaine de l'étude .....	12
<b>CHAPITRE 3 - DESCRIPTION DES MÉTHODES DE RÉOLUTION .....</b>	<b>13</b>
ARTICLE 6 : Équations résolues .....	13
ARTICLE 7 : Phénomènes pris en compte.....	13
7.1 La turbulence .....	13
7.2 L'inversion thermique .....	13
7.3 La stabilité atmosphérique.....	14
7.4 Le gradient de température .....	15
<b>CHAPITRE 4 - Description des modélisations .....</b>	<b>16</b>
ARTICLE 8 : Géométrie et maillage 3D .....	16
ARTICLE 9 : Paramètres de la modélisation .....	17
9.1 Émission des sources .....	17
9.2 Modélisation de la météorologie - Vent atmosphérique.....	17
1.1.1.1 Analyse de la condition F2 .....	20
9.3 Conditions au sol .....	21
9.4 Profil de température .....	21
<b>CHAPITRE 5 - PRÉSENTATION et ANALYSE DES RÉSULTATS.....</b>	<b>22</b>
ARTICLE 10 : Scénario de vent: F2, 360°N .....	23
ARTICLE 11 : Percentiles 98 .....	26
11.1 Mode Normal.....	27
11.2 Mode Dégradé .....	35
ARTICLE 12 : Percentiles 99,5 .....	36
12.1 Mode Normal.....	38
12.2 Mode Dégradé .....	46
ARTICLE 13 : Analyse des résultats.....	48
<b>CHAPITRE 6 - CONCLUSION.....</b>	<b>49</b>
<b>ANNEXE 1 : Plans de masse .....</b>	<b>50</b>
<b>ANNEXE 2 : Formulation mathématique.....</b>	<b>57</b>
<b>ANNEXE 3 : Méthodologie pour la modélisation de la dispersion atmosphérique .....</b>	<b>59</b>

---

## CHAPITRE 1 - OBJET

---

Cette étude fait suite à l'étude précédente *Rapport\_AROMA-Acheres-01* concernant une étude de dispersion globale au **98 et 100 percentile** (sur la base de **6 sources**) et un scénario spécifique (données météo particulières) sur l'usine d'épuration Sav à Achères (**78**).

Les prestations suivantes sont demandées :

- **Etude de dispersion atmosphérique par modélisation 3D**, pour évaluer l'impact olfactif en mode **normal et dégradé** au percentile 98 et 99,5, sur la base de flux d'odeurs mesurés ou extrapolés (données AROMA CONSULT) dans un rayon proche de 100 m et jusqu'à 3 km à partir de chaque source,
- **Visualisation en 3D** de l'effet des bâtiments selon des directions de vents particuliers sur la dispersion des odeurs,
- **Analyse météorologique** pour les conditions F2.

L'étude permettra de quantifier les valeurs seuils de dépassement (percentiles) des odeurs par une simulation numérique 3D transitoire sur une année météorologique représentative.

Elle permettra notamment de s'assurer de la bonne prise en compte de la démarche du SIAAP vers le « zéro nuisances » pour les riverains des installations, à travers la vérification du respect des objectifs d'urgence des nuisances olfactives, garantis pour les nouvelles installations inférieurs ou égaux aux seuils suivants, en limite de propriété\*:

- **5 uoE/m3**, au percentile 98 (c'est-à-dire moins de 175h/an) ;
- **10 uoE/m3** au percentile 99 (c'est-à-dire moins de 87 h/an). »

*\*en rive droite de la Seine côté riverains de La Frette-sur-Seine et d'Herblay*

Rev. 2

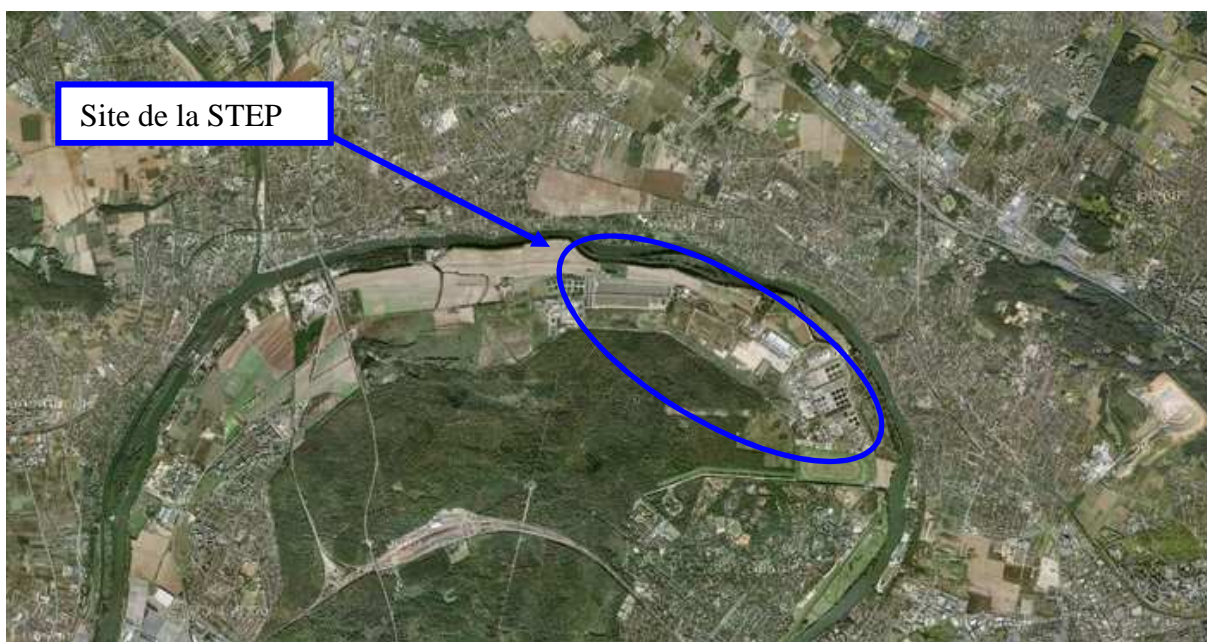
---

## CHAPITRE 2 - DESCRIPTION DE L'ÉTUDE

---

### ARTICLE 1 : POSITION GEOGRAPHIQUE DU SITE

Les figures ci-dessous présentent la position géographique de la STEP de Seine aval. Le site (cercle Bleu) est à proximité de la rivière la Seine.



*Figure 1: Localisation de l'usine d'épuration Sav à Achères (78)*

Commune d'appartenance : Achères (78 260)

Coordonnées géographiques\* (nouvelles installations) : lat 48.977768°/ long 2.155746°

Rev. 2

*\*Système géodésique français 1993, en degrés décimaux*

---

## ARTICLE 2 : DESCRIPTION DU SITE ET DES SOURCES D'EMISSION - TERMES SOURCES

Les bâtiments principaux du site, dont l'influence sur la dispersion est du premier ordre\*, sont considérés.

*\*La hauteur de bâtiment considérée, fonction de la configuration de la source environnante, de sa hauteur de rejet, etc..., n'est pas fixée.*

Rev. 2

Leur géométrie est modélisée en accord avec les plans de masse joints en annexe 1.

Les bâtiments dans un champ proche du site pouvant avoir une incidence sur la dispersion des odeurs, sont modélisés également sur la base de données de GEOPORTAIL.

Les sources d'émission considérées pour cette étude sont au nombre de 7 et sont présentées ci-dessous :

### Mode normal :

- Source 1 : Poste P5: 2 filtres CAG en marche normal (+ 1 en secours)
- Source 2 : Biostyr sans bullage (majorité de la surface) + 1/40 biostyr en nettoyage (bullage)
- Source 3 : 2 sortie désodo (bât boues biostyr) qui fonctionne en parallèle et en permanence
- Source 4 : Désodo tamis zone membrane: 4 filtres CAG en parallèle (+1 en secours)
- Source 5 : Répartiteur (Attention possibilité chute d'eau donc strippage) eaux usées (préalablement décanté et tamisé)
- Source 6 : Bassin d'aération: 2 X 3 bassins. 6 bassins dotés chacun d'une zone anoxie, anaérobie, aération
- Source 7 : Zone membranaire: 2 X 14 cuves membranaire dont 1 en nettoyage 1 jour/semaine (avec eau chlorée).

### Mode dégradé:

- Source 1 : idem mode normal : Poste P5: 2 filtres CAG en marche normal (+ 1 en secours)
- Source 2 : idem mode normal : Biostyr sans bullage (majorité de la surface) + 1/40 biostyr en nettoyage (bullage)
- Source 3: 1 désodo qui récupère toute la charge (maxi uo/m3 = 750)
- Source 4 idem mode normal : Désodo tamis zone membrane: 4 filtre CAG en parallèle (+1 en secours)
- Source 5 : idem mode normal : Répartiteur (Attention possibilité chute d'eau donc strippage) eaux usées (préalablement décanté et tamisé)
- Source 6 : idem mode normal : Bassin d'aération: 2 X 3 bassins. 6 bassins dotés chacun d'une zone anoxie, anaérobie, aération
- Source 7 : idem mode normal : Zone membranaire: 2 X 14 cuves membranaire dont 1 en nettoyage 1 jour/semaine (avec eau chlorée).

Les figures ci-dessous présentent, en 3D, les bâtiments de l'usine d'épuration Sav à Achères (78) et l'emplacement des sources d'émission d'odeurs.



Figure 2 : Usine d'épuration Sav à Achères (78) – Vue 3D du site et alentours

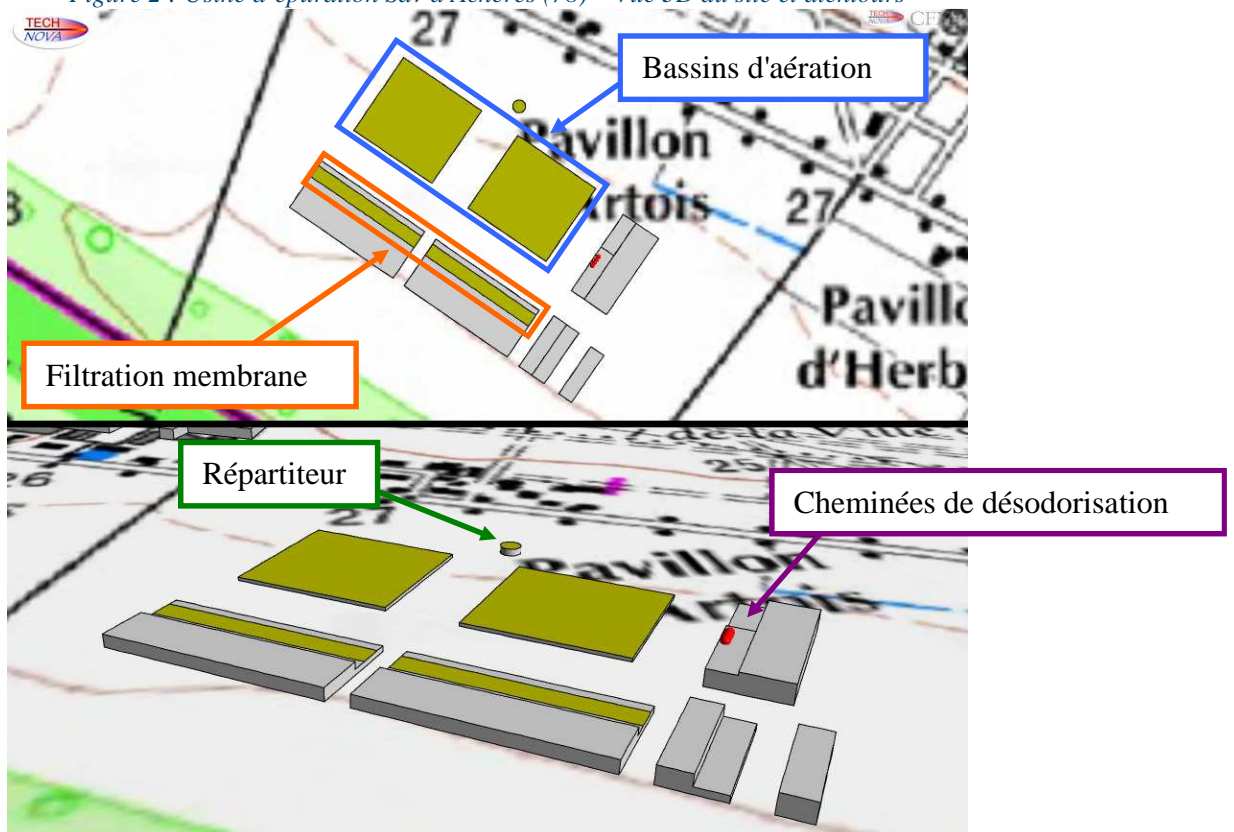


Figure 3 : Usine d'épuration Sav à Achères (78) – Zone Membrane



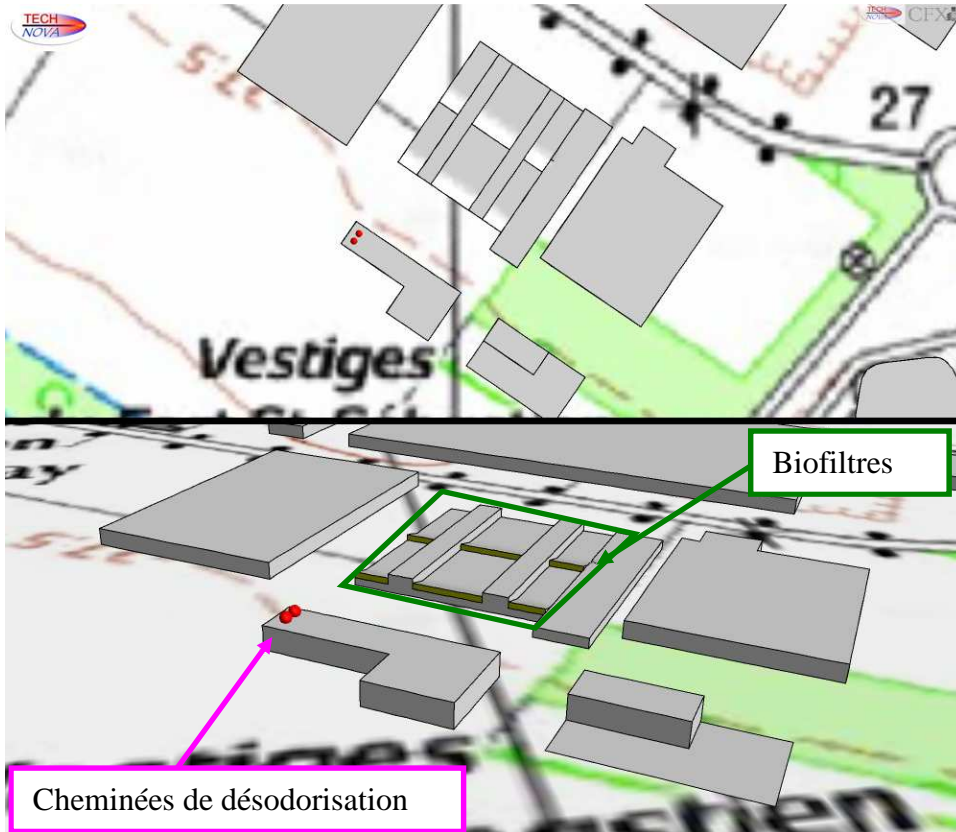


Figure 4 : Usine d'épuration Sav à Achères (78) – Zone Biofiltre

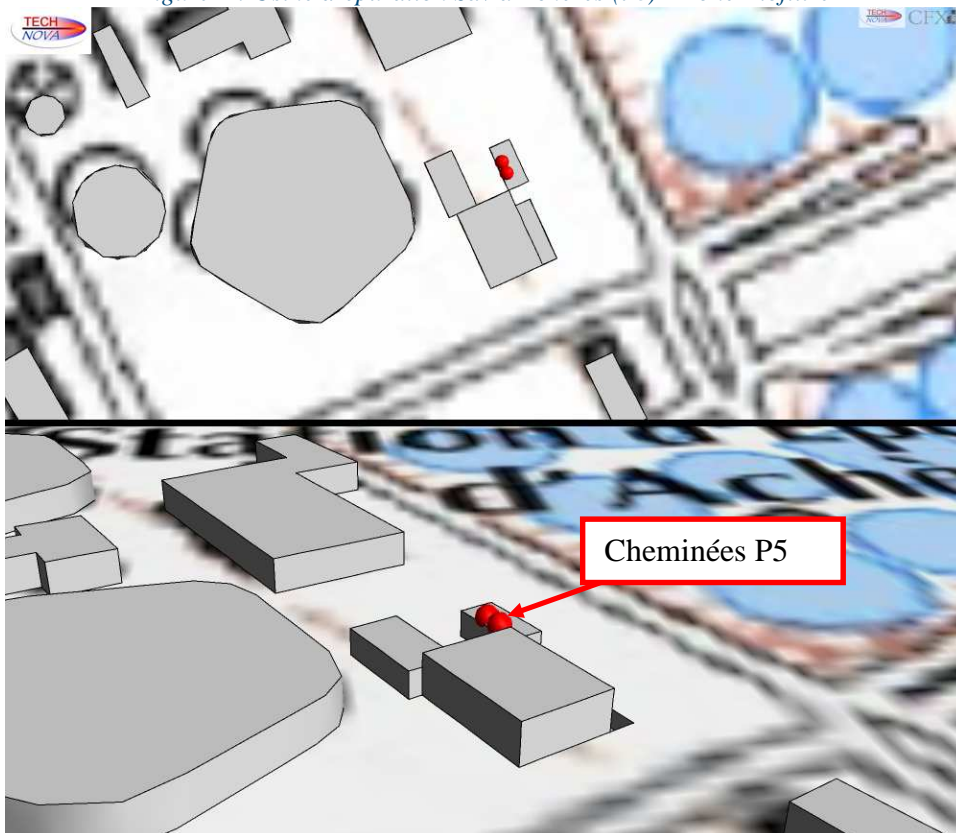


Figure 5 : Usine d'épuration Sav à Achères (78) – Zone Poste de relèvement

Les tableaux ci-dessous présentent les paramètres des sources d'émission suivant les 2 modes de fonctionnement.  
 Les concentrations et flux d'odeurs des sources surfaciques sont issus des retours d'expériences d'Aroma (base de données) sur les installations de traitement des eaux et d'essais spécifiques (nettoyage eau chlorée).

				Type	Surface/Diamètre [m2]/[m]	Hauteur/Sol [m] / TN IGN69	Débit [Nm3/h]	Température [°C]	Concentration [uo/m3]	Flux [uo/s]	Vitesse [m/s]
<b>SOURCE 1</b>	Poste P5	2 filtres CAG : 2 cheminées	1-a	Canalisé	0,6	9,87 / 27,46	10 800	20	300	900	10,6
			1-b	Canalisé	0,6	9,87 / 27,46	10 800	20	300	900	10,6
<b>SOURCE 2</b>	40 BIOSTYRS	39/40 marche normale	2-a	Surfacique	6739,2	30.7 mIGN69	215 856	20	350	20 986	-
		1/40 en nettoyage	2-b	Surfacique aéré	172,8	30.7 mIGN69	3 460	20	1000	961	0,0057
<b>SOURCE 3</b>	Sortie désodo	Sortie 1	3-a	Canalisé	1,3	13,5 / 26,9	61 100	20	500	8 486	12,8
		Sortie 2	3-b	Canalisé	1,3	13,5 / 26,9	61 100	20	500	8 486	12,8
<b>SOURCE 4</b>	Désodo zone membrane	4 filtres CAG en parallèle	4-a	Canalisé	0,6	10,2 / 28,9	10 300	20	500	1 431	10,2
			4-b	Canalisé	0,6	10,2 / 28,9	10 300	20	500	1 431	10,2
			4-c	Canalisé	0,6	10,2 / 28,9	10 300	20	500	1 431	10,2
			4-d	Canalisé	0,6	10,2 / 28,9	10 300	20	500	1 431	10,2
<b>SOURCE 5</b>	Répartiteur	eaux usées	-	Surfacique	127,4	33,2 mIGN69	3 822	20	650	690	-
<b>SOURCE 6</b>	Bassins aération	Pré-anoxie+Anoxie+canaux de recirculation+anaérobie	6-a	Surfacique	5580,4	30.8 mIGN69	167 412	20	860	39 993	-
		Anaérobie	6-b	Surfacique	3264	30.8 mIGN69	97 920	20	200	5 440	-
		Aération	6-c	Surfacique aéré	6552	30.8 mIGN69	85 000	20	200	4 722	0,0036
<b>SOURCE 7</b>	Zone membranaire	28 cuves membranaires	7-a	Surfacique aéré	2931,6	31.8 mIGN69	156 240	20	120	5 208	0,0148
		1 nettoyage eau chlorée 1jr/sem	7-b	Surfacique	104,7	31.8 mIGN69	3 141	20	200	175	-

Tableau 1 : paramètres des sources d'émission - mode normal

			Type	Surface/Diamètre [m <sup>2</sup> ]/[m]	Hauteur/Sol [m] / TN IGN69	Débit [Nm <sup>3</sup> /h]	Température [°C]	Concentration [uo/m <sup>3</sup> ]	Flux [uo/s]	Vitesse [m/s]	
<b>SOURCE 1</b>	Poste P5	2 filtres CAG : 2 cheminées	1-a	Canalisé	0,6	9,87 / 27,46	10 800	20	300	900	10,6
			1-b	Canalisé	0,6	9,87 / 27,46	10 800	20	300	900	10,6
<b>SOURCE 2</b>	40 BIOSTYRS	39/40 marche normale	2-a	Surfacique	6739,2	30.7 mIGN69	-	20	-	20 986	-
		1/40 en nettoyage	2-b	Surfacique aéré	172,8	30.7 mIGN69	3 460	20	1000	961	0,0057
<b>SOURCE 3</b>	Sortie désodo	Sortie 1	3-a	Canalisé	1,3	13,5 / 26,9	-	-	-	-	-
		Sortie 2	3-b	Canalisé	1,3	13,5 / 26,9	122 200	20	750	25 458	25,6
<b>SOURCE 4</b>	Désodo zone membrane	4 filtres CAG en parallèle	4-a	Canalisé	0,6	10,2 / 28,9	10 300	20	500	1 431	10,2
			4-b	Canalisé	0,6	10,2 / 28,9	10 300	20	500	1 431	10,2
			4-c	Canalisé	0,6	10,2 / 28,9	10 300	20	500	1 431	10,2
			4-d	Canalisé	0,6	10,2 / 28,9	10 300	20	500	1 431	10,2
<b>SOURCE 5</b>	Répartiteur	eaux usées	-	Surfacique	127,4	33,2 mIGN69	3 822	20	650	690	-
<b>SOURCE 6</b>	Bassins aération	Pré-anoxie+Anoxie+canaux de recirculation+anaérobie	6-a	Surfacique	5580,4	30.8 mIGN69	167 412	20	860	39 993	-
		Anaérobie	6-b	Surfacique	3264	30.8 mIGN69	97 920	20	200	5 440	-
		Aération	6-c	Surfacique aéré	6552	30.8 mIGN69	85 000	20	200	4 722	0,0036
<b>SOURCE 7</b>	Zone membranaire	28 cuves membranaires	7-a	Surfacique aéré	2931,6	31.8 mIGN69	156 240	20	120	5 208	0,0148
		1 nettoyage eau chlorée 1jr/sem	7-b	Surfacique	104,7	31.8 mIGN69	3 141	20	200	175	-

Tableau 2 : paramètres des sources d'émission - mode dégradé

---

## ARTICLE 3 : TOPOGRAPHIE

Le relief du terrain, la position des bâtiments et des habitations proches sont pris en compte à partir de la base des données de GOOGLE EARTH.

Une carte IGN est utilisée pour la prise en compte des zones boisées, des rivières, des zones rurales, des zones urbaines.

## ARTICLE 4 : CONDITIONS METEOROLOGIQUES

Les calculs de simulation numérique sont réalisés avec des conditions météorologiques d'une **année complète**.

Après analyse de la position du site d'Achères et de sa base de données, METEO-FRANCE a choisi la **station météorologique d'Achères (78)**.

A partir de l'ensemble des données météorologiques de cette station, une **étude statistique** a été réalisée pour les paramètres suivants afin de déterminer **l'année météorologique la plus représentative du site** :

"**vitesse moyenne du vent**", "nombre total de jours avec vent supérieur à 16 m/s" et "température annuelle moyenne",

**les normales** de moyenne de vitesse du vent et température moyenne.

Ainsi, il ressort de cette étude que **l'année 2004** est l'année "**la plus normale**" ou **la plus représentative** en ce qui concerne le paramètre vent en premier lieu, puis température parmi toutes les années de mesure dont dispose METEO-FRANCE.

Les données météorologiques fournies sont tri-horaires.

## ARTICLE 5 : DOMAINE DE L'ETUDE

Le domaine de calcul couvre l'usine d'épuration Sav à Achères (78) et un secteur d'un rayon de 3 km environ autour du site.

La hauteur du volume de calcul est de l'ordre de 700 m d'altitude, elle est déterminée en fonction des conditions météorologiques choisies.

---

## CHAPITRE 3 - DESCRIPTION DES MÉTHODES DE RÉOLUTION

---

L'approche utilisée ici est Eulérienne tridimensionnelle (CFD). Les modèles eulériens découpent l'espace en « volumes élémentaires » et calculent le transport des effluents par diffusion et convection dans chacun de ces volumes. La résolution numérique a été effectuée avec le logiciel CFX.

### ARTICLE 6 : ÉQUATIONS RESOLUES

CFX est un progiciel général de simulation numérique d'écoulements en Mécanique des Fluides. Il est utilisé couramment dans les applications atmosphériques et de dispersion des effluents dans des domaines ouverts ou fermés. Il résout les équations différentielles de la mécanique des fluides par une méthode des volumes finis et il est validé pour les simulations 3D de la dispersion accidentelle ou chronique de divers polluants. A ce titre, le logiciel CFX est référencé dans le « Guide Méthodologique - Évaluation des Risques Sanitaires liés aux substances chimiques dans l'Étude d'Impact des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement » Version 3.0 du 30/11/01 de l'INERIS.

La formulation mathématique est basée sur les équations générales de Navier-Stokes (cf. annexe 2) :

- Conservation de la masse, de la quantité de mouvement et de l'énergie,
- Modèle k- $\epsilon$  de turbulence adapté aux dispersions atmosphériques,
- Équations de transport des différents effluents.

Rev. 2

### ARTICLE 7 : PHENOMENES PRIS EN COMPTE

#### 7.1 LA TURBULENCE

La turbulence est modélisée avec le modèle k- $\epsilon$  modifié en fonction de constantes données par Duynkerke. Il prend en compte les effets de flottabilité en fonction du gradient de température.

#### 7.2 L'INVERSION THERMIQUE

En fin de journée, à mesure que le soleil se couche, le sol se refroidit plus rapidement que les couches d'air adjacentes. A proximité du sol, le gradient de température vertical est supérieur au gradient de température adiabatique. Par contre, plus en altitude, les couches d'air sont plus froides à mesure que l'on s'élève (gradient de température vertical négatif inférieur au gradient de température adiabatique) du fait des conditions rencontrées au cours de la journée. L'atmosphère est donc stable près du sol et instable plus haut en altitude.

En début de journée, à mesure que le soleil se lève, le sol se réchauffe davantage et plus rapidement que les couches d'air adjacentes. A proximité du sol, le gradient de température vertical est inférieur au gradient de température adiabatique. Par contre, plus en altitude, les couches d'air sont plus chaudes à mesure que l'on s'élève (gradient de température vertical négatif supérieur au gradient de température adiabatique) du fait des conditions rencontrées au cours de la nuit. L'atmosphère est donc instable près du sol et stable plus haut en altitude.

Ces deux dernières situations sont qualifiées « **d'inversion de température** ».

---

## 7.3 LA STABILITE ATMOSPHERIQUE

La stabilité de l'atmosphère joue un rôle déterminant dans la dispersion des polluants. Une atmosphère est qualifiée de "stable" si une parcelle d'air, écartée de sa position, tend à revenir à sa position de départ. L'atmosphère est "instable" dans le cas contraire.

Pour distinguer plus précisément les états de stabilité de l'atmosphère, les classes de Pasquill-Gifford définissent 6 états de stabilité de l'atmosphère, désignés de A à F (cf. Annexe 2).

Atmosphère instable :

De façon succincte, lorsqu'une atmosphère est instable (classes A à C de Pasquill), la dispersion atmosphérique verticale est favorisée. La turbulence liée à la thermique est forte.

Atmosphère neutre :

Lorsque l'atmosphère est neutre (classe D), la dispersion atmosphérique verticale n'est favorisée que pour les **vents faibles** puisque la turbulence liée aux forces ascensionnelles due à la thermique devient supérieure à celle d'origine mécanique (vent). A l'inverse, si les vents sont forts, alors la turbulence d'origine mécanique devient prépondérante sur la turbulence d'origine thermique. De plus la convection due à la vitesse du vent augmente la dilution.

De manière générale, en présence d'obstacles (bâtiments, forêts, collines) :

- la **dispersion** est **défavorable dans le champ proche** : le panache s'élève peu car le vent le couche et il s'accroche derrière les obstacles – zones de recirculation.
- la **dispersion** est **favorable dans le champ lointain** : l'absence de couche d'inversion thermique fait que le panache se disperse par effet mécanique et thermique.

Atmosphère stable :

Lorsqu'une atmosphère est stable (classes E à F), son aptitude à diffuser verticalement un polluant est faible due à la faible turbulence du vent. Ces conditions stables sont généralement caractérisées par des vents inférieurs à 2 m/s. Les forces ascensionnelles due à la thermique sont toujours prépondérantes.

Dans le **champ proche**, le panache s'élève et la **dispersion** est **favorable**.

Dans le **champ lointain**, due fait de la couche d'inversion thermique, le panache est bloqué entre celle-ci et le sol et de ce fait la **dispersion** est **défavorable**.

La figure suivante illustre l'influence de la stabilité atmosphérique sur la dispersion.

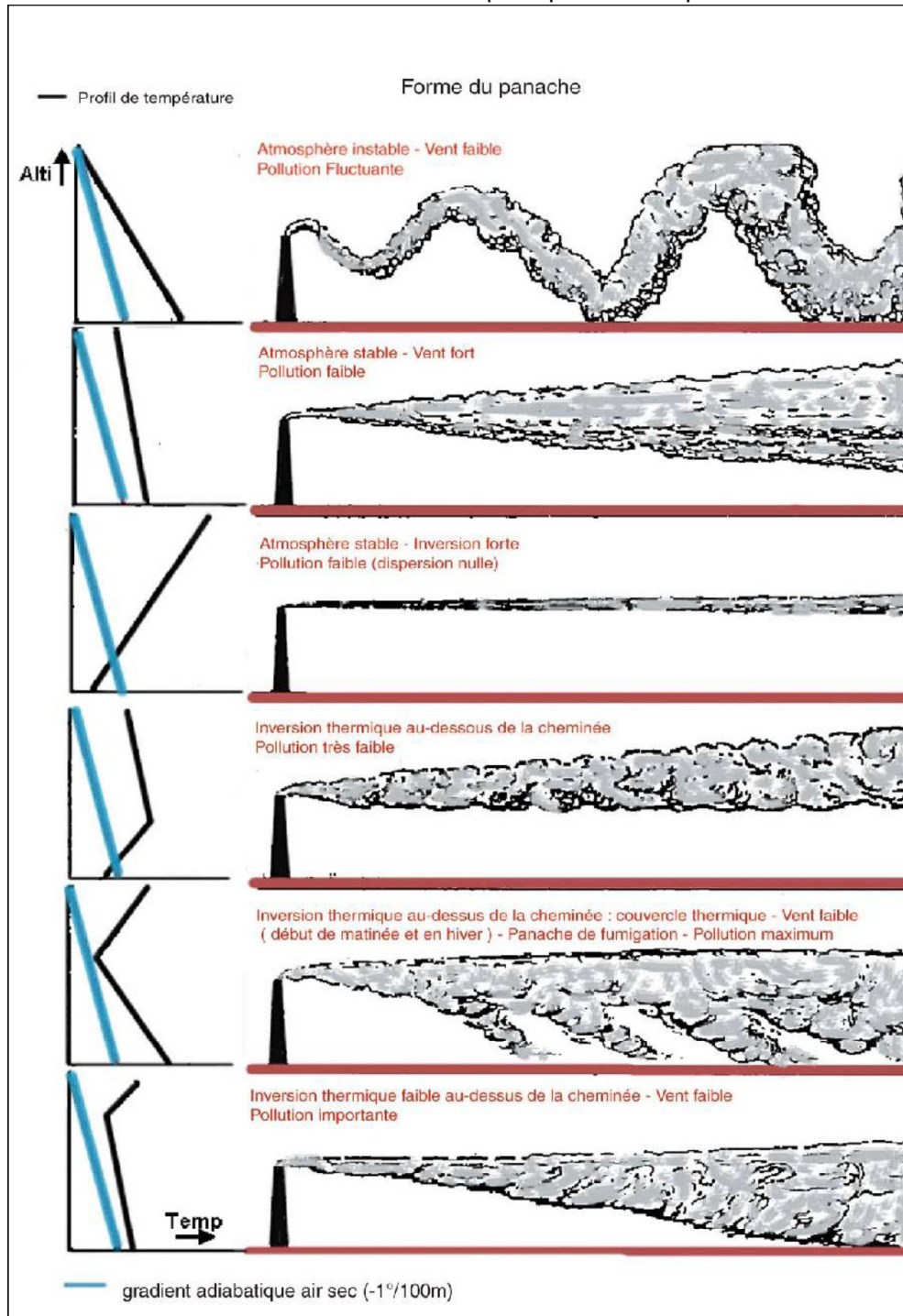


Figure 6: Définition de la stabilité atmosphérique et son influence sur la dispersion

## 7.4 LE GRADIENT DE TEMPERATURE

Le gradient de température atmosphérique est déterminé en fonction de la longueur de Monin-Obukov pour chaque classe de stabilité de l'atmosphère (D ou F), ainsi que la hauteur de la couche d'inversion pour la classe F.

---

## CHAPITRE 4 - DESCRIPTION DES MODELISATIONS

---

### ARTICLE 8 : GEOMETRIE ET MAILLAGE 3D

Le domaine de calcul considéré représente un volume cylindrique de 3 km de rayon au sol et de 700 m d'altitude. La base de ce cylindre épouse la topographie du terrain.

Le volume représentant l'air atmosphérique est maillé en Volume Finis. Le maillage est non-structuré. Il comporte des mailles prismatiques près du sol (pour la prise en compte de la couche limite atmosphérique) et des mailles tétraédriques dans le reste du domaine.

Le nombre total de mailles est environ 650 000.

La figure ci-dessous présente la modélisation 3D de l'Usine d'épuration Sav à Achères (78) et le maillage utilisé.

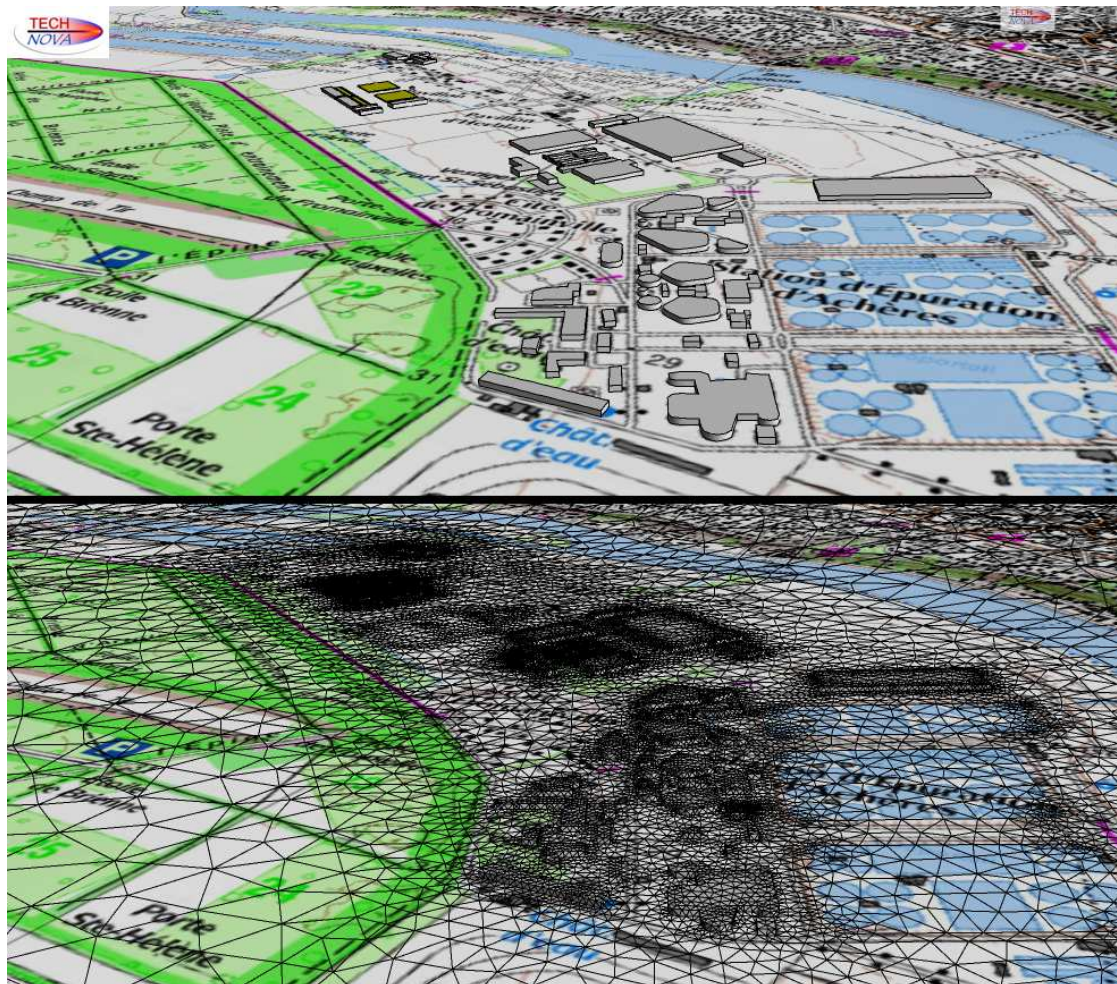


Figure 7 : Modélisation et maillage 3D de l'Usine d'épuration Sav à Achères (78)



---

## **ARTICLE 9 : PARAMETRES DE LA MODELISATION**

### **9.1 ÉMISSION DES SOURCES**

Les composés gazeux issus des émissions ainsi que l'air sont considérés comme des fluides incompressibles. Les caractéristiques des émissions sont explicitées ci-avant, voir paragraphe 2.2.

### **9.2 MODELISATION DE LA METEOROLOGIE - VENT ATMOSPHERIQUE**

A chaque classe de stabilité de l'atmosphère est associé un profil déterminé avec une loi logarithmique en fonction de la longueur de Monin-Obukov pour :

- la vitesse du vent
- la turbulence  $k$ - $\epsilon$  (Panofsky et Dutton)

La longueur de Monin-Obukov est déterminée en fonction du bilan radiatif se rapportant à la classe de stabilité, de la vitesse du vent et de la rugosité.

Ainsi, aux limites du domaine de calcul, le profil de la couche limite atmosphérique est donné à partir de :

- la vitesse donnée en m/s à l'altitude 10 m,
- une rugosité de 0,1 m,
- une longueur de Monin-Obukov ( $L$ ),
- une épaisseur de couche limite atmosphérique,
- une direction du vent.

Ci-après, sont présentées les roses des vents et de stabilité atmosphérique correspondantes aux conditions météorologiques de 2004 utilisées pour l'étude de dispersion atmosphérique.

La rose des vents expose l'occurrence de la vitesse du vent à 10 m d'altitude en fonction de la direction de celui-ci.

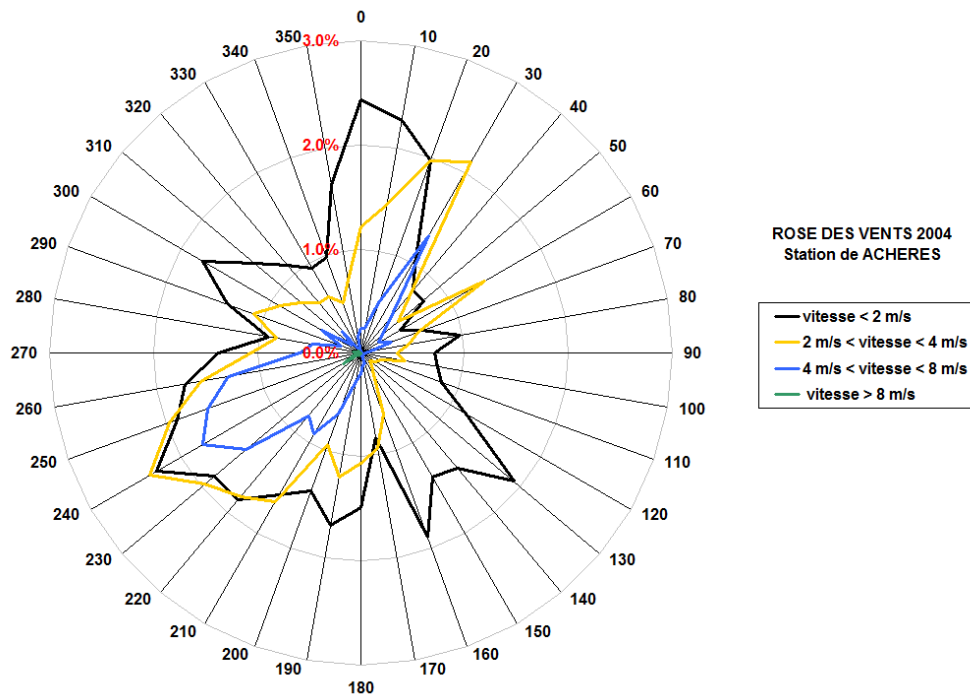


Figure 8 : Station d'Achères - Rose des vents de l'année 2004.

La rose des vents se caractérise par des vents principaux de Nord, Sud-Ouest et Sud-Est. Il est à noter que les vents faibles, inférieurs à 2 m/s présentent les occurrences les plus élevées. Les vents de vitesses plus importantes, supérieures à 2 m/s, présentent des directions privilégiées de Sud-Ouest et Nord-Est.

La rose de stabilité expose l'occurrence de la stabilité de l'atmosphère en fonction de la direction de vent.

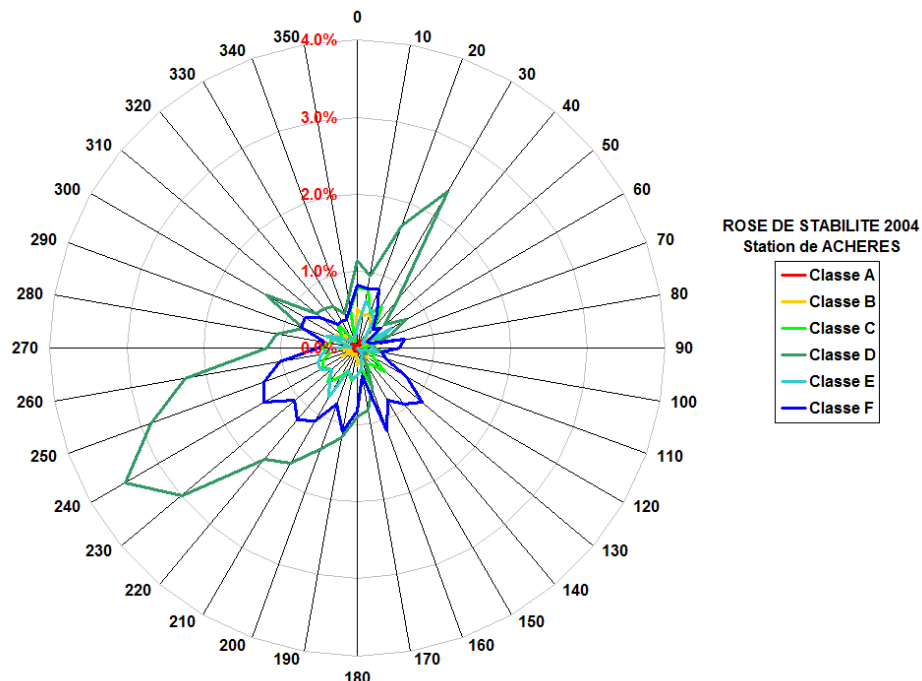


Figure 9 : Station d'Achères - Rose de stabilité de l'année 2004.

La figure ci-dessous propose la même rose de stabilité hors classe D.

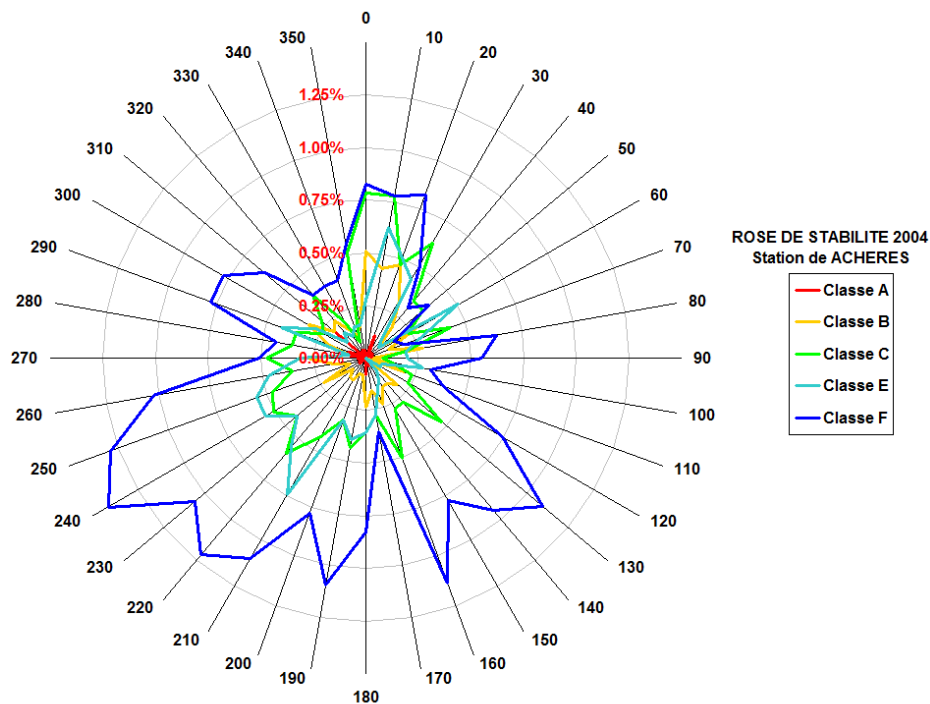


Figure 10 : Station d'Achères - Rose de stabilité de l'année 2004.- hors classe D.

La classe de stabilité D (neutre) présente les occurrences les plus élevées. Ainsi, la météorologie générale d'Achères est favorable à la dispersion atmosphérique des effluents gazeux dans le champ lointain et plutôt défavorable dans le champ proche.

Après traitement des données météorologiques et analyse des roses des vents et de stabilité, **la condition météorologique la plus fréquente** pour la station de d'Achères, est un vent atmosphérique **D2 à 360°N** (vitesse de vent de 2 m/s à 10 m/sol, de direction 360°N, vent en provenance du Nord et de classe D [neutre]).

### 1.1.1.1 Analyse de la condition F2

Suite à la demande du Client, une analyse est réalisée sur l'occurrence d'apparition de la condition de vent F2 durant l'année d'étude.

Le graphique ci-dessous présente l'apparition temporelle de la condition F2 durant l'année d'étude.

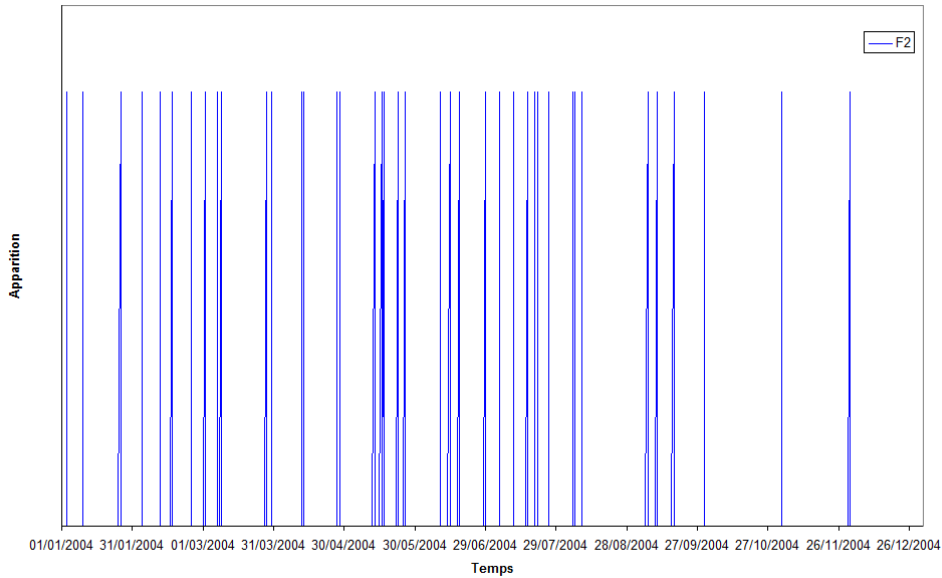


Figure 11 : Graphique d'apparition de la condition F2 - année 2004

**Il est à noter que la condition météorologique apparaît 1,8% dans l'année d'étude.**

La rose des vents expose l'occurrence de la vitesse du vent à 10 m d'altitude en fonction de la direction de celui-ci.

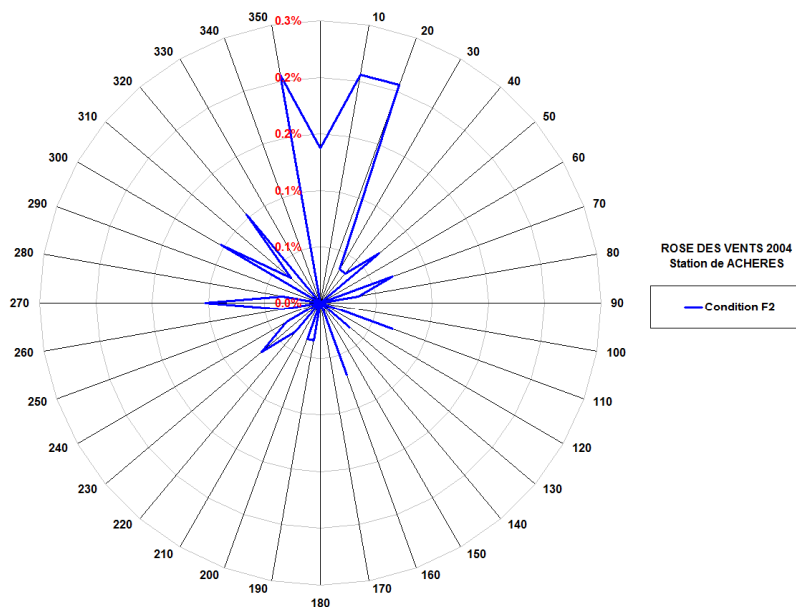


Figure 12 : Station d'Achères - Rose des vents de l'année 2004 - Condition F2.

Il est à noter que les vents de conditions météorologiques F2 se caractérisent par des directions principales de Nord.

---

### **9.3 CONDITIONS AU SOL**

Le frottement de l'air sur les parois est fonction de la rugosité considérée. Dans la pratique, ceci est réalisé en imposant des conditions aux limites sur les composantes de la vitesse et les variables du modèle de turbulence ( $k - \epsilon$ ).

La hauteur de la rugosité est supposée être répartie d'une manière uniforme sur les différents éléments de terrain (concept de la hauteur de rugosité équivalente du "grain de sable"):

- Champs : de l'ordre de 0,1 m
- Rivière : 0,001 m
- Forêts : 0,7 m

### **9.4 PROFIL DE TEMPERATURE**

Le profil de température est basé sur la classe stabilité atmosphérique. Suivant les conditions météorologiques, le gradient vertical de la température est donné en fonction de la longueur de Monin-Obukov ( $L$ ) ainsi que la température au sol.

---

## CHAPITRE 5 - PRÉSENTATION ET ANALYSE DES RÉSULTATS

---

Dans un premier temps les résultats issus des calculs de simulation numérique sont présentés sous formes d'images caractérisant l'écoulement et l'influence des bâtiments sur la dispersion atmosphérique. Cette étude est réalisée selon une donnée météo particulière - direction et condition de vent pénalisant/impact olfactif, épisode météorologique le plus fréquent - et ce pour l'ensemble des sources. La condition météorologique déterminée pour ce scénario correspond à un F2 - 360°N.

Ensuite, des cartographies sur fond de carte IGN présentent les concentrations correspondant au :

- **percentile 98** – valeur pour laquelle la concentration d'odeur au point considéré sera **inférieure 98%** du temps et donc supérieure 2,0% du temps, soit **175 h dans l'année**,
- **percentile 99,5** – valeur pour laquelle la concentration d'odeur au point considéré sera **inférieure 99,5%** du temps et donc supérieure 0,5% du temps, soit **44 h dans l'année**,

à une hauteur de 1,5 m au-dessus du sol pour les sources prises de manière individuelle et globale.

La légende des courbes d'iso-concentrations indique le facteur multiplicatif par rapport au taux de dilution du  $Z_{ite}$  :

Par exemple, les sources émettent des odeurs à la concentration  $800 \text{ uo}_E/\text{m}^3$ , soit la valeur du  $Z_{ite}$ . Lorsque cette concentration est diluée 800 fois, la perception olfactive est considérée détectée (50% du jury d'odeur perçoit l'odeur).

Sur les figures suivantes, la courbe d'iso-concentration :

- de valeur **1,0** correspond à  $1,0/800^{\text{ème}}$  de la concentration à l'émission,
- de valeur **5,0** correspond à  $5,0/800^{\text{ème}}$  de la concentration à l'émission.

**NOTA :** Seulement la source 3 (sortie desodo - zone biofiltre) est différente entre les modes normal et dégradé. De ce fait seuls les résultats de cette source et de l'ensemble des odeurs sont présentés pour le mode dégradé.

## ARTICLE 10 : SCENARIO DE VENT: F2, 360°N

Afin de présenter l'écoulement du vent atmosphérique, les figures ci-après présentent, pour une condition météorologique de faible vitesse de vent (2 m/s à 10 m/sol), de direction 360°N (Vent provenant du Nord) et de classe F (stable) :

- Les vecteurs vitesses à 1,5 m/sol en vue de dessus et dans un plan passant par la direction principale du vent en vue 3D,
- Les panaches des odeurs de l'ensemble des sources à la valeur de  $1 \text{ uo/m}^3$  suivant 2 vues 3D pour les modes normal et dégradé,
- Les iso-valeurs des odeurs de l'ensemble des sources à 1,5 m du sol en vue de dessus pour les modes normal et dégradé.

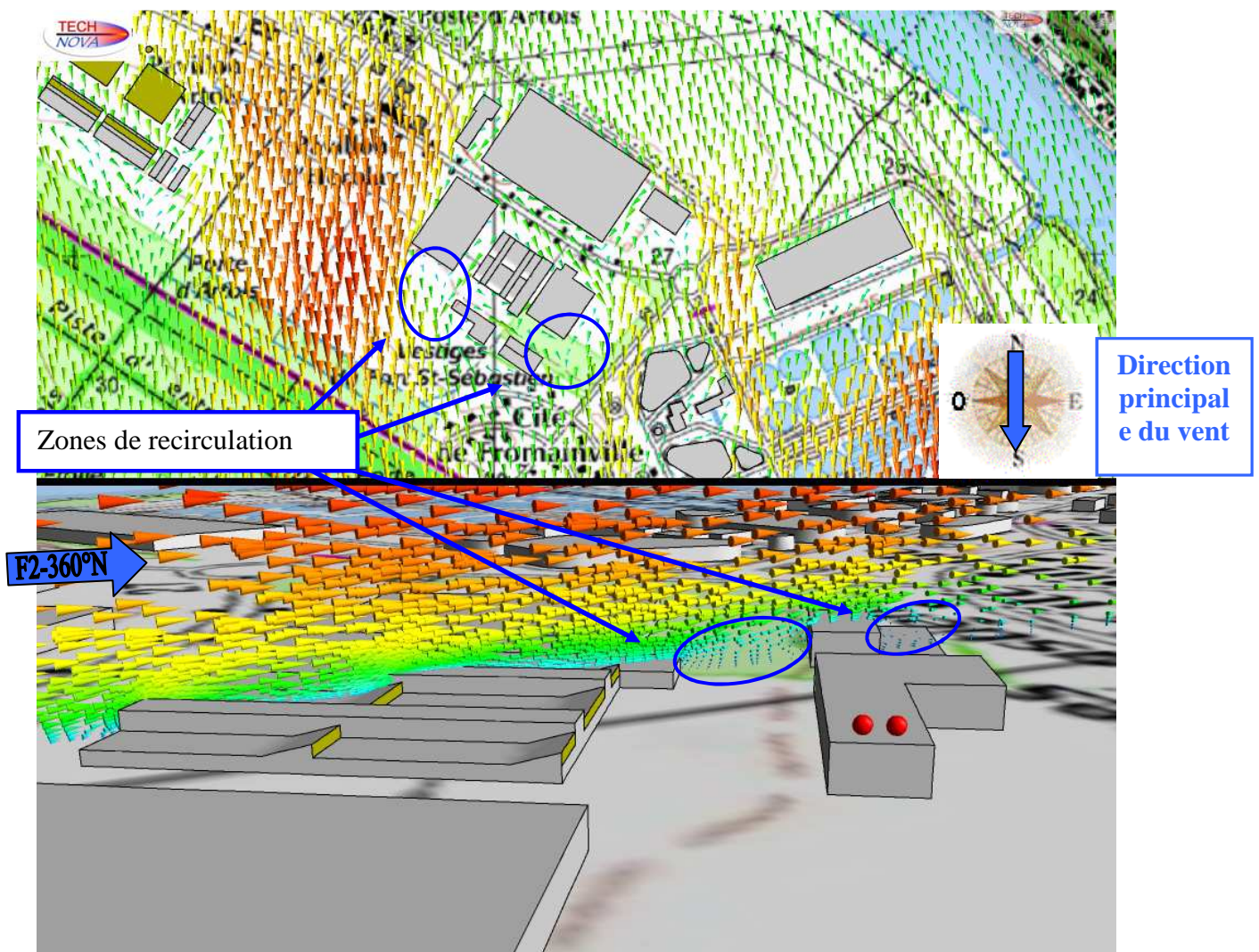


Figure 13 : Vecteurs vitesses - Condition F2, 360°N.

Les figures ci-après présentent les panaches des odeurs de l'ensemble des sources en vues 3D pour les modes normal et dégradé.

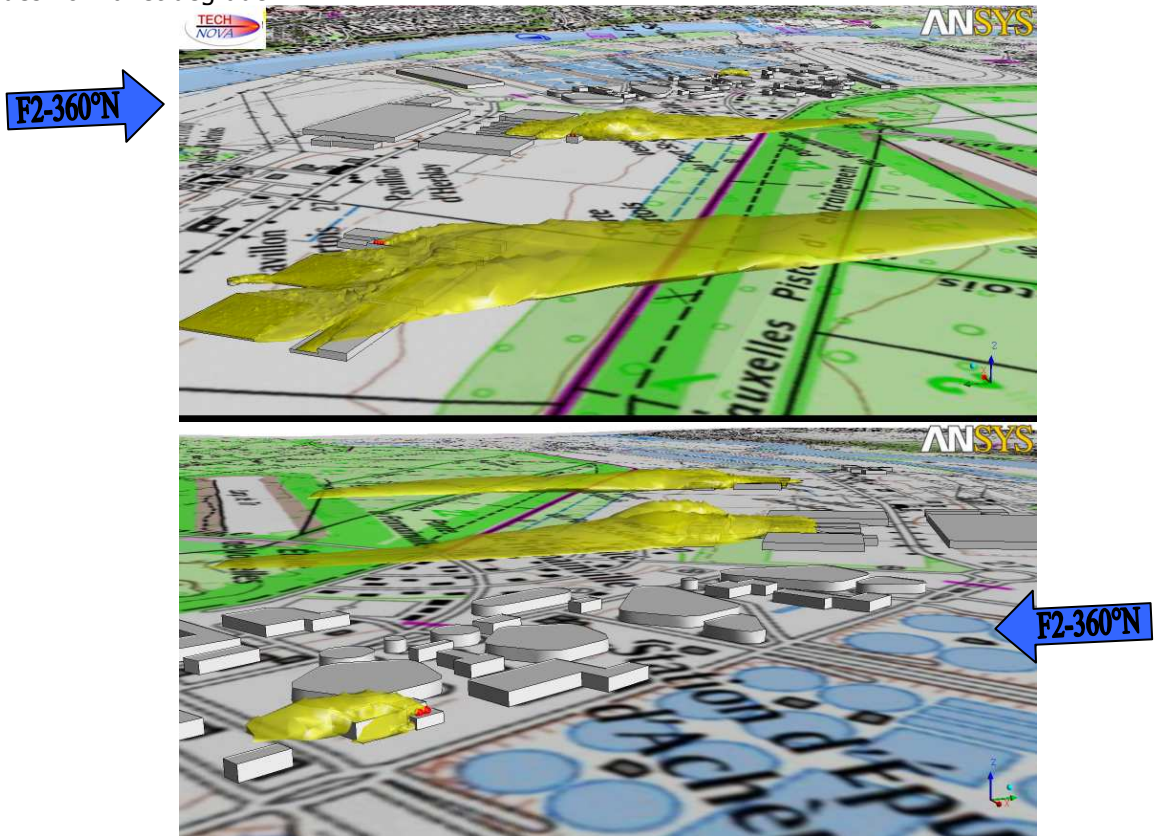


Figure 14 : Panache 1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  Ensemble des odeurs- Mode normal - Condition F2,  $360^\circ\text{N}$ .

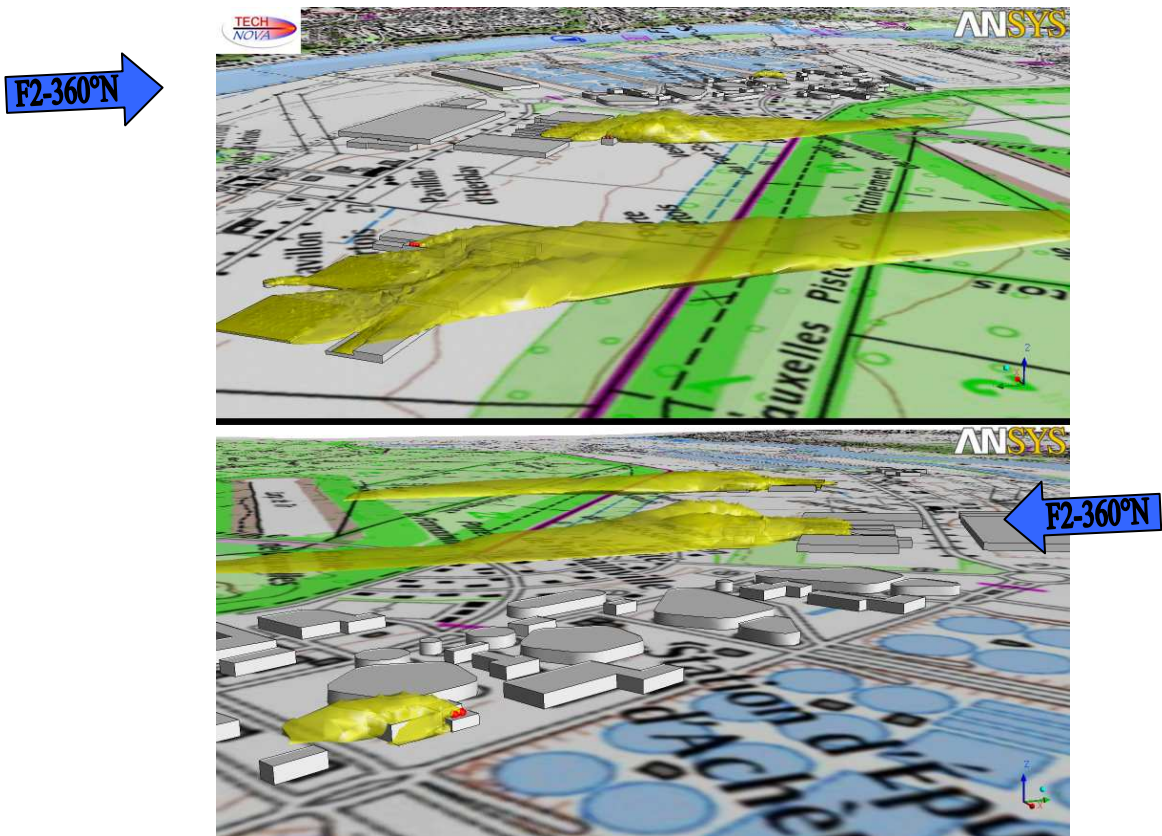


Figure 15 : Panache 1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  Ensemble des odeurs- Mode dégradé - Condition F2,  $360^\circ\text{N}$ .



Les figures ci-après présentent les iso-valeurs de concentration à 1,5 m/sol de l'ensemble des odeurs en vue de dessus pour les modes normal et dégradé.

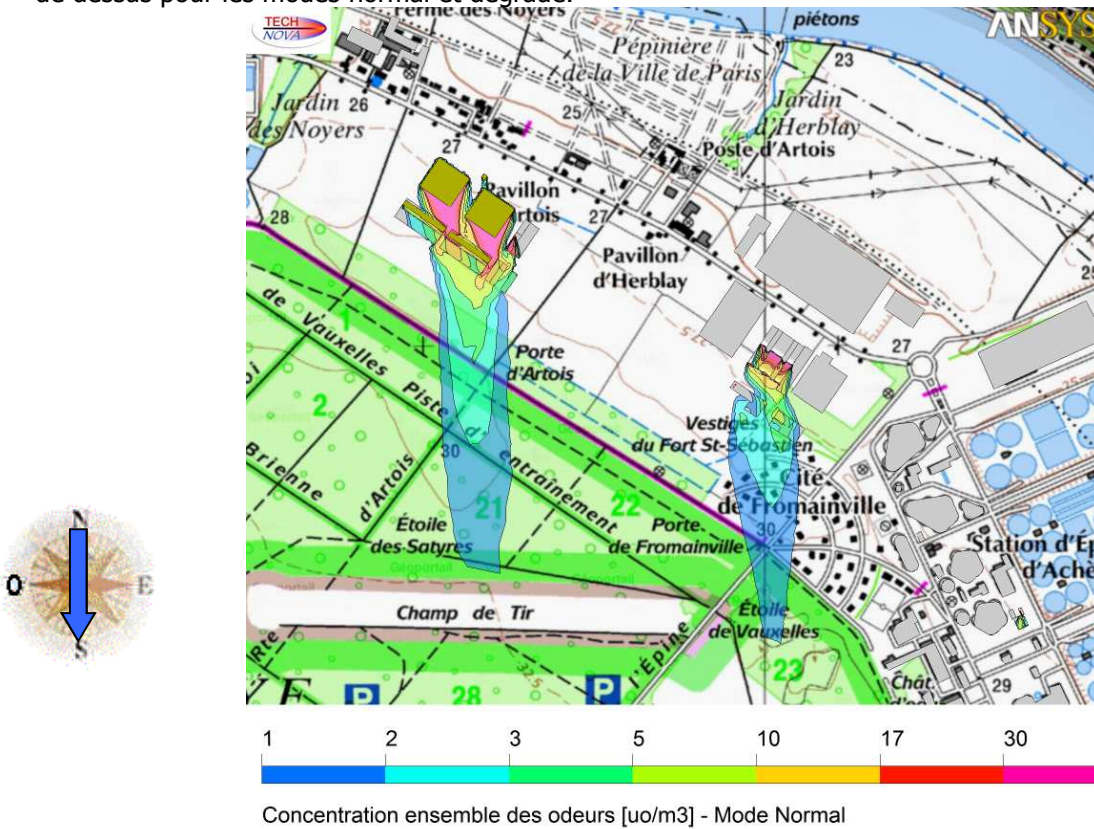


Figure 16 : Concentration d'odeur - Ensemble des odeurs- Mode normal - Condition F2, 360°N.

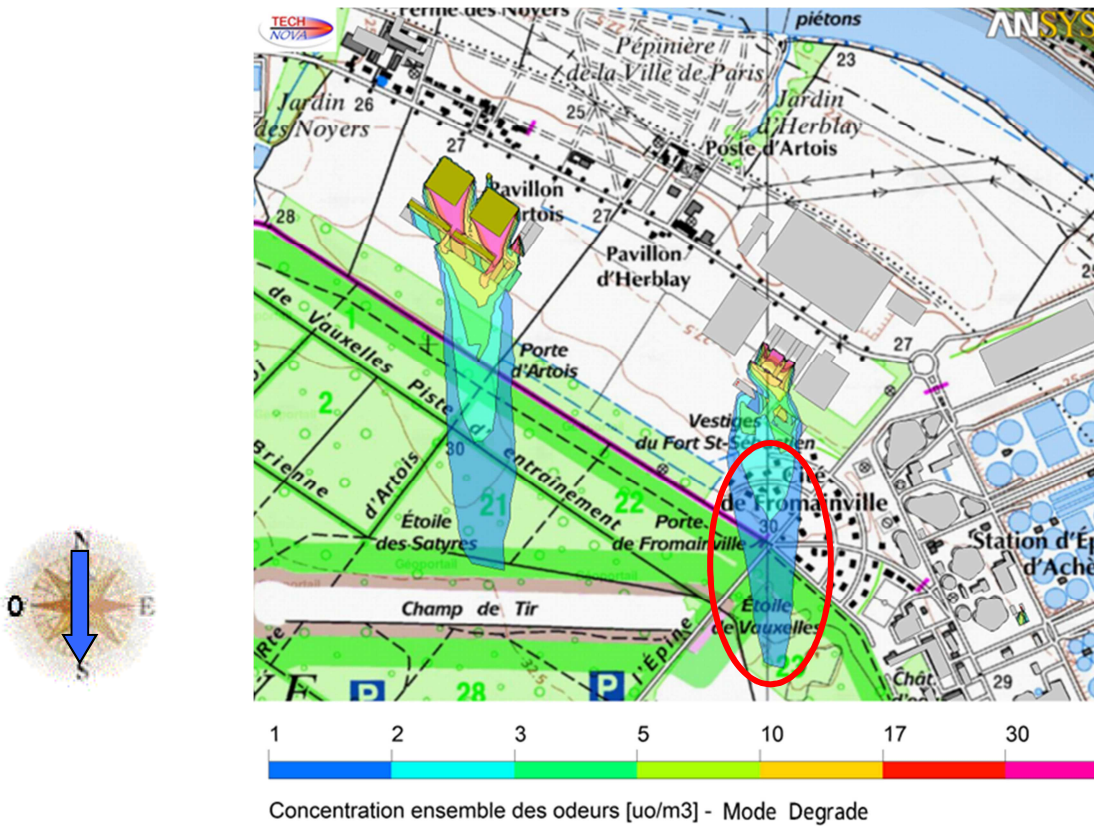


Figure 17 : Concentration d'odeur - Ensemble des odeurs- Mode dégradé - Condition F2, 360°N.

Rev. 2

---

## **Analyse des résultats :**

En vue des figures ci-dessus, il est à noter que :

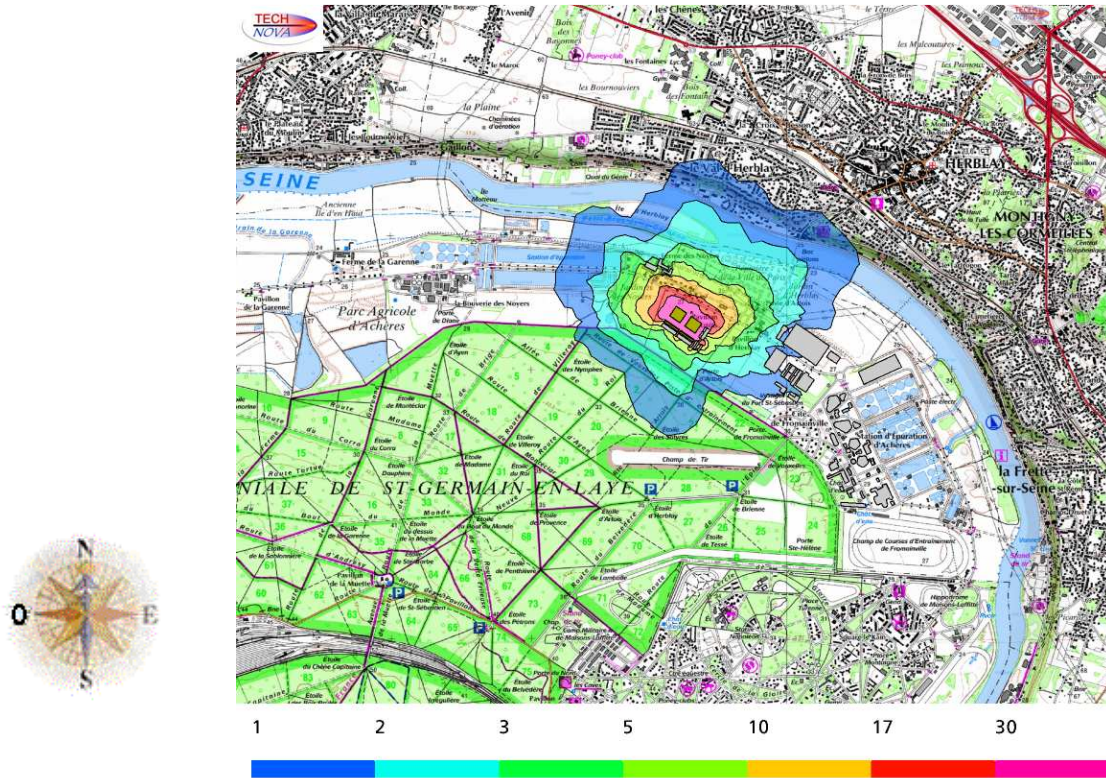
- Le vent provenant du Nord, les bâtiments du site créent un obstacle à l'écoulement, ce qui provoque des zones d'impact et de recirculation (en bleu sur la figure ci-dessus) – appelées également zones tourbillonnaires – qui ont pour effet de piéger les effluents gazeux et ainsi les concentrations sont plus élevées.
- Ces phénomènes sont tridimensionnels. Les zones de recirculation sont présentes tant dans le plan vertical qu'horizontal.
- Du fait du flux plus important de la source 3 en mode dégradé, l'impact des concentrations d'odeur à 1,5 m/sol est plus important (voir zone entourée en rouge - figure 17).

## **ARTICLE 11 : PERCENTILES 98**

Les figures suivantes présentent par mode de fonctionnement les percentiles 98, c'est à dire la valeur pour laquelle la concentration d'odeur au point considéré sera supérieure 2,0% du temps (175 h par an) dans l'année.

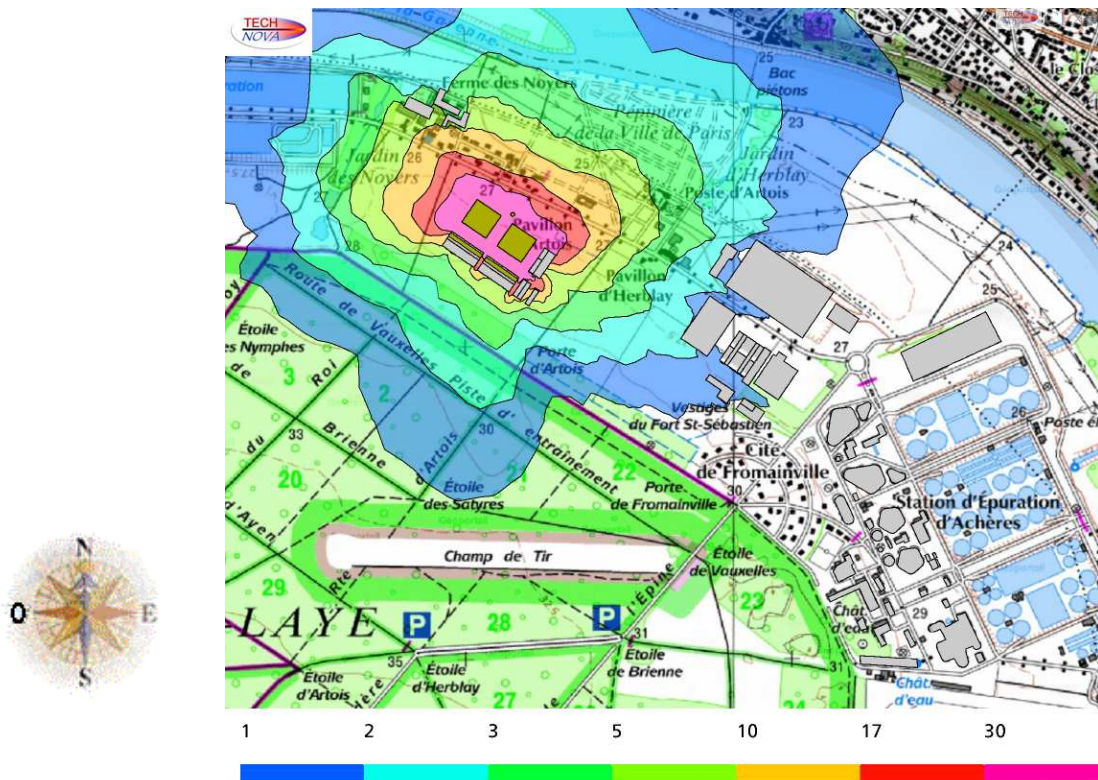
Ces images montrent les zones pour lesquelles la concentration d'odeur est supérieure pendant 175 h/an pour les conditions d'émission étudiées. **Ces 175 h ne correspondent pas à une période continue mais à un nombre d'heures global dans l'année.**

## 11.1 MODE NORMAL



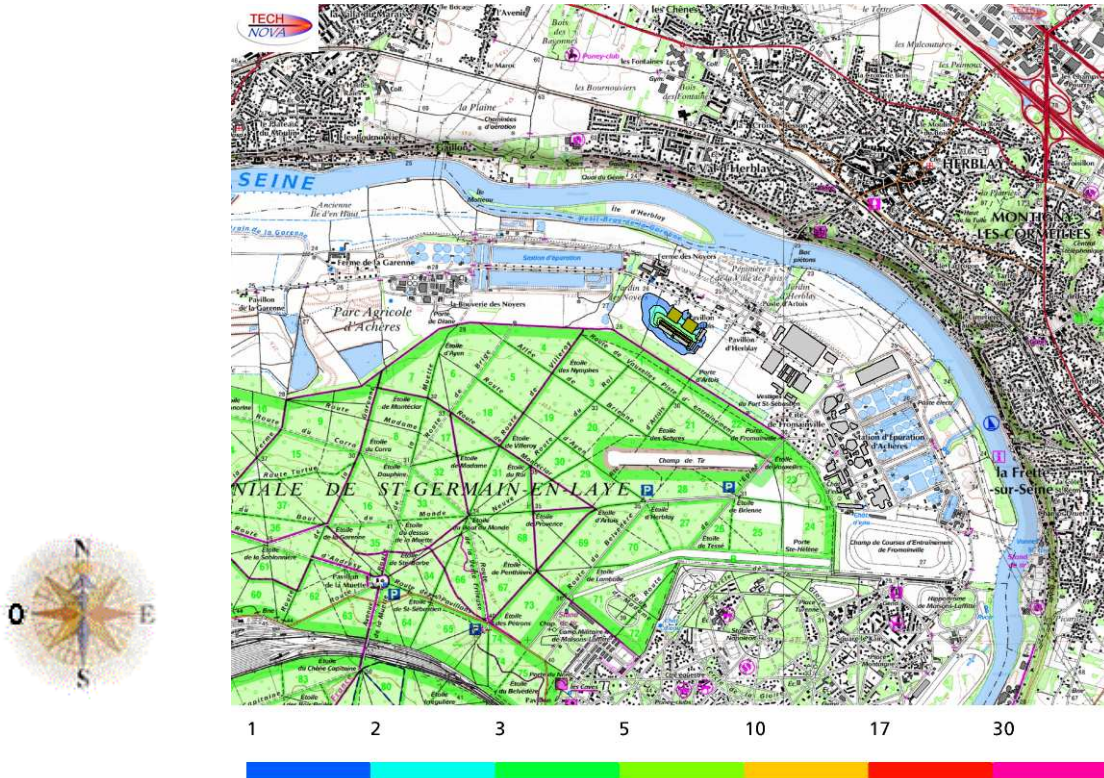
Concentration Bassins [uo/m3]

Figure 18 : Iso-concentrations d'odeur – Bassins d'aération



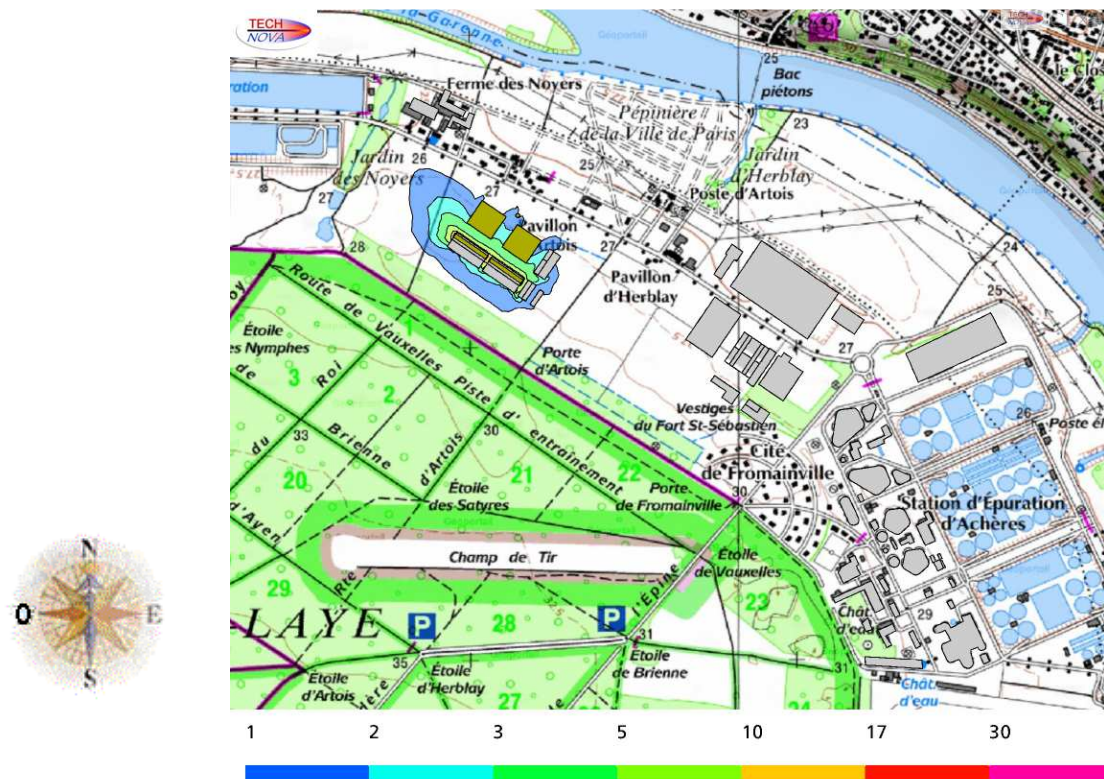
Concentration Bassins [uo/m3]

Figure 19 : Iso-concentrations d'odeur – Bassins d'aération – Zoom



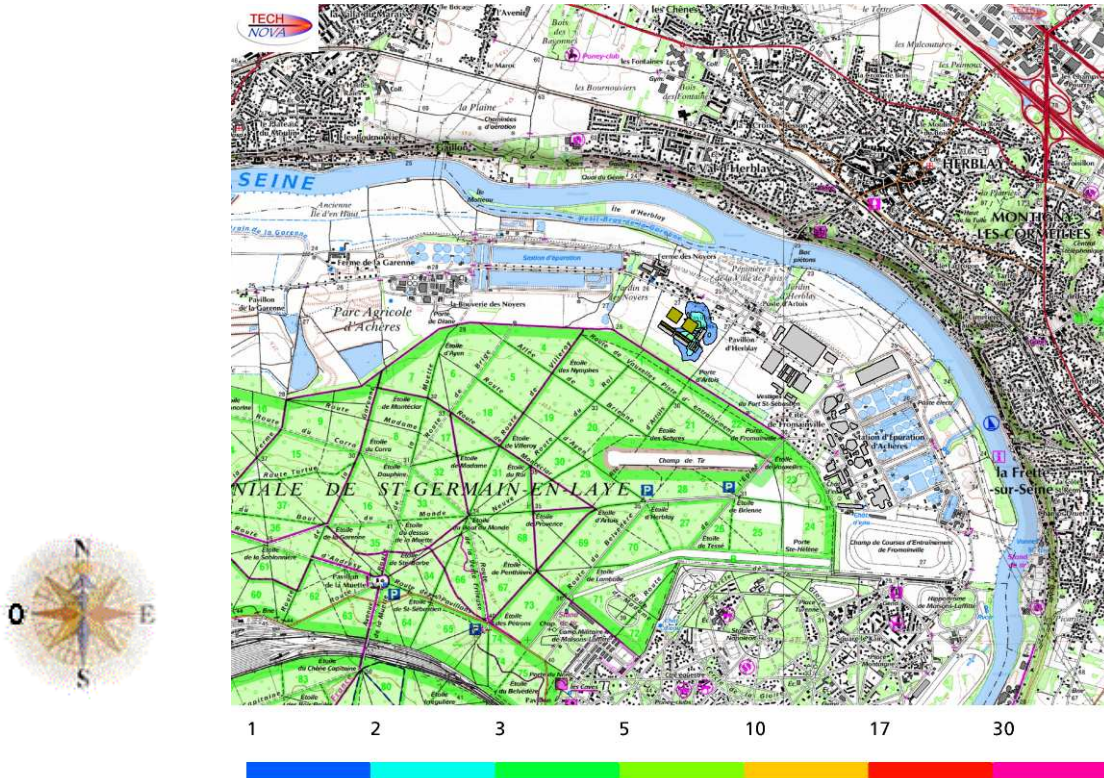
Concentration Zone membranaire [uo/m3]

Figure 20 : Iso-concentrations d'odeur – Filtration membrane



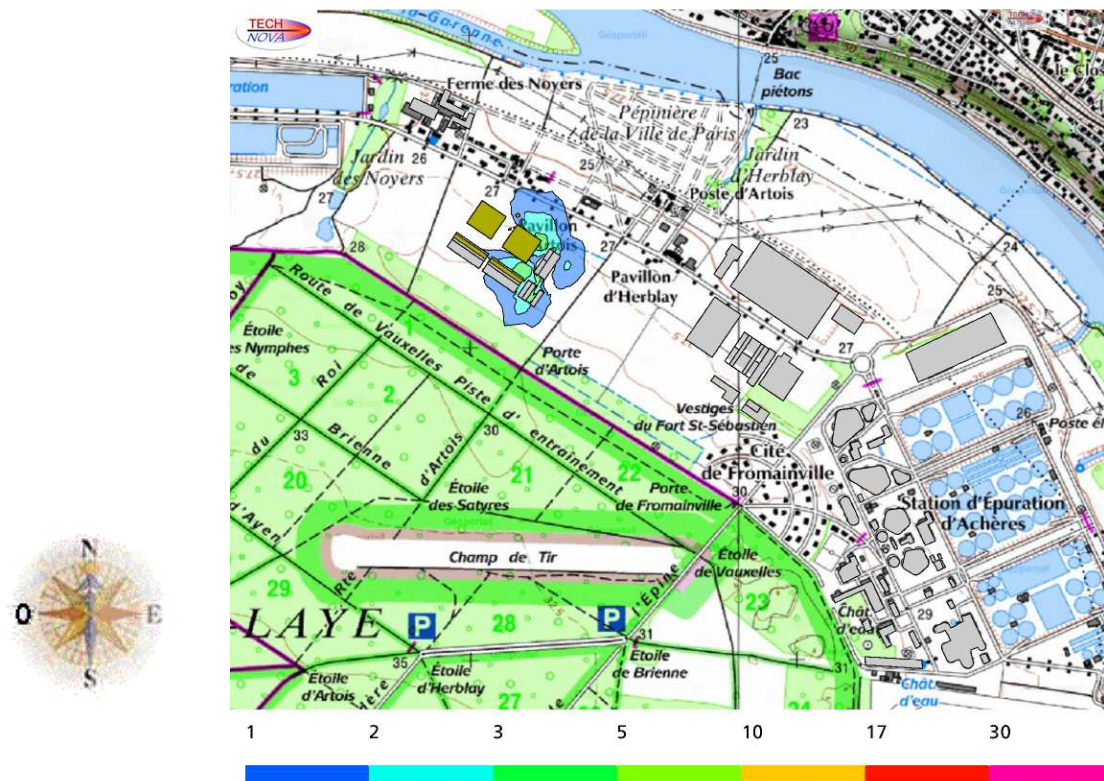
Concentration Zone membranaire [uo/m3]

Figure 21 : Iso-concentrations d'odeur – Filtration membrane – Zoom



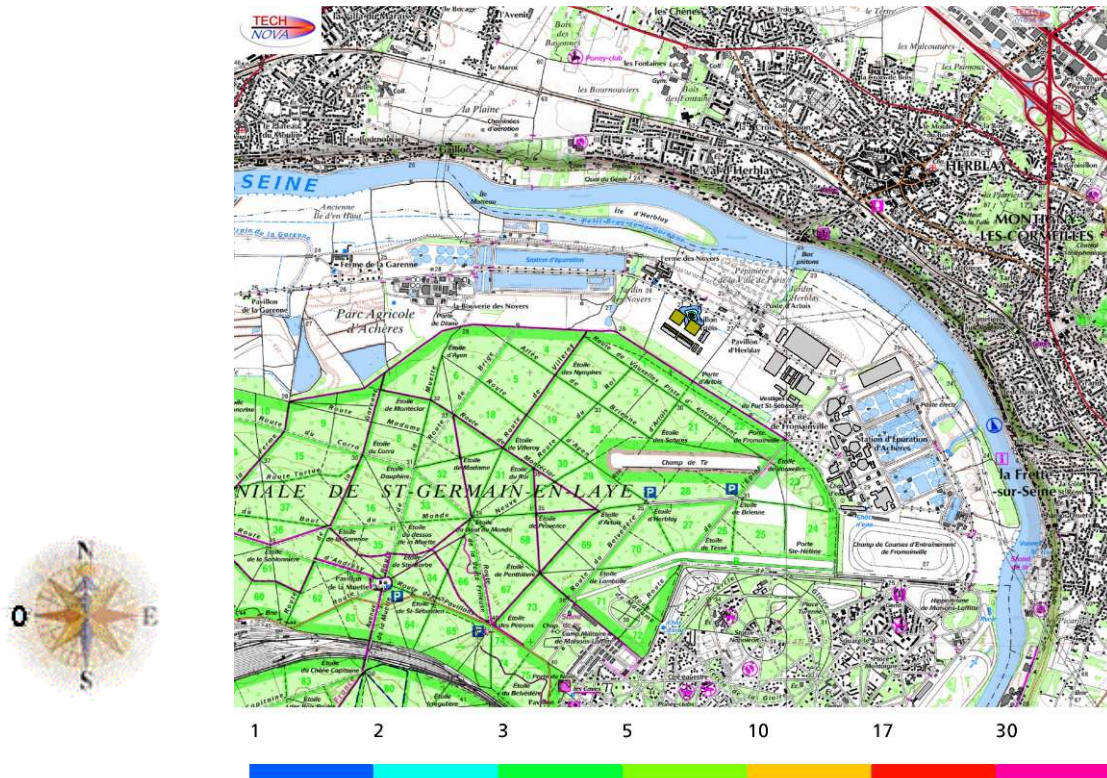
Concentration Desodo Membrane [uo/m3]

Figure 22 : Iso-concentrations d'odeur – Desodo zone membrane



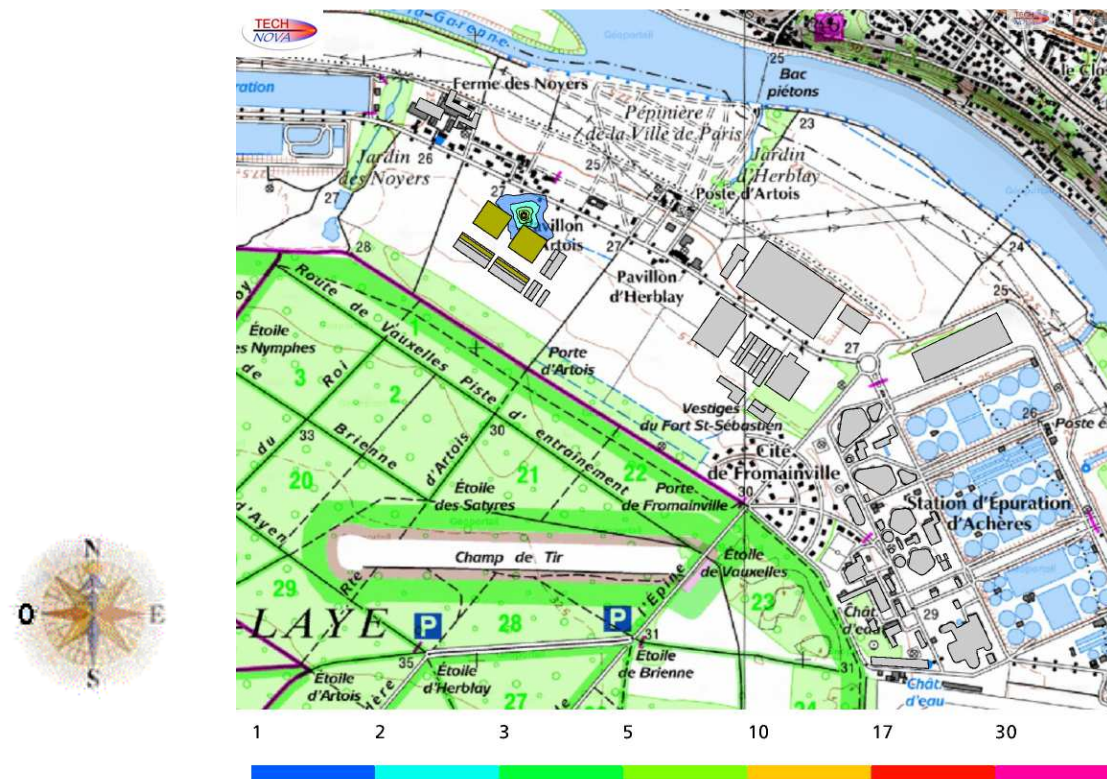
Concentration Desodo Membrane [uo/m3]

Figure 23 : Iso-concentrations d'odeur – Desodo zone membrane – Zoom



Concentration Répartiteur [ $\mu\text{o}/\text{m}^3$ ]

Figure 24 : Iso-concentrations d'odeur – Répartiteur



Concentration Répartiteur [ $\mu\text{o}/\text{m}^3$ ]

Figure 25 : Iso-concentrations d'odeur – Répartiteur – Zoom

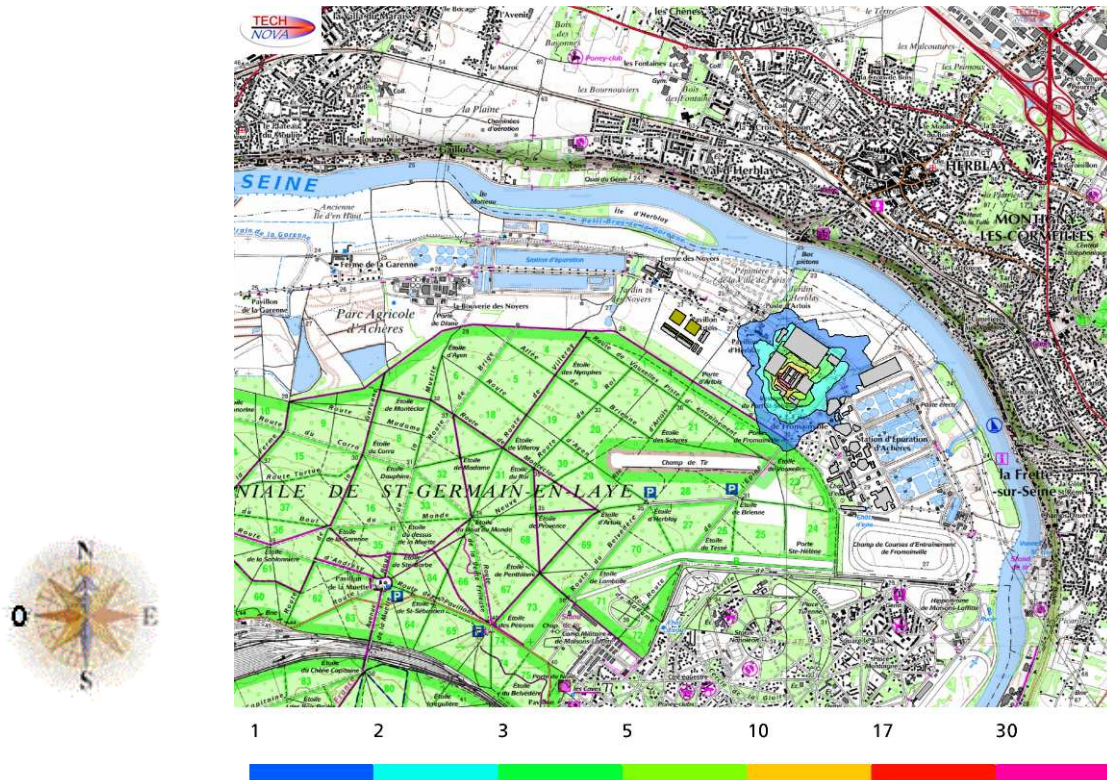


Figure 26 : Iso-concentrations d'odeur – Biofiltres

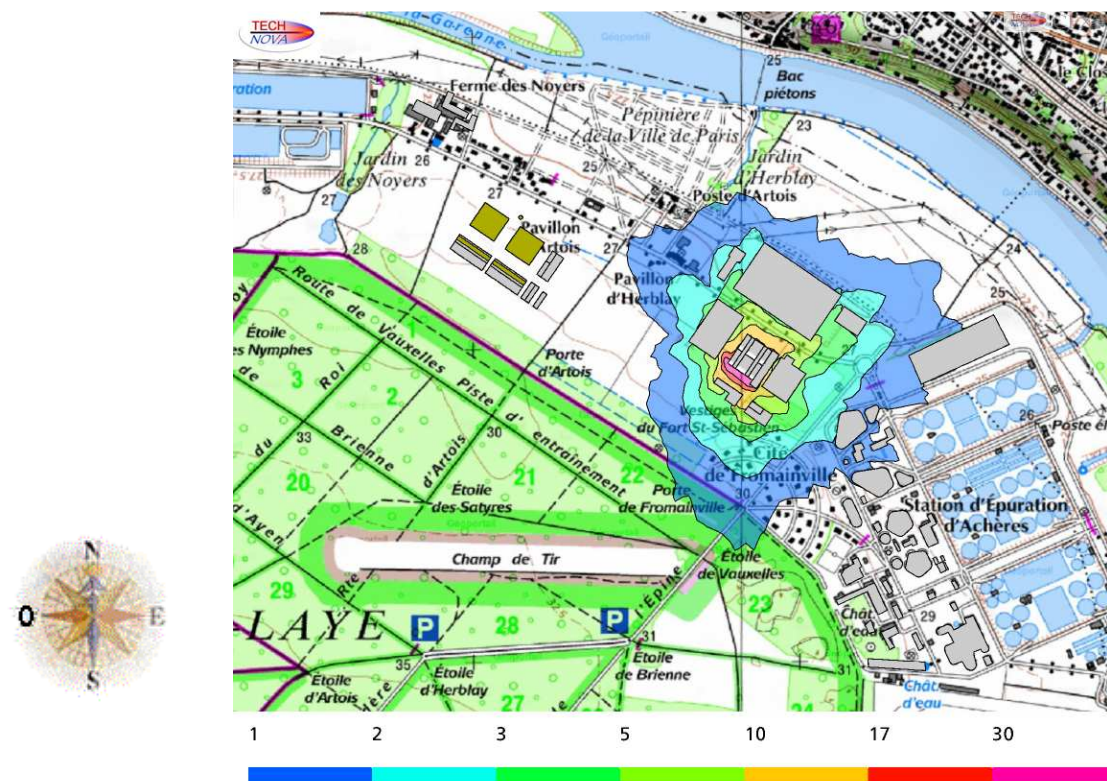
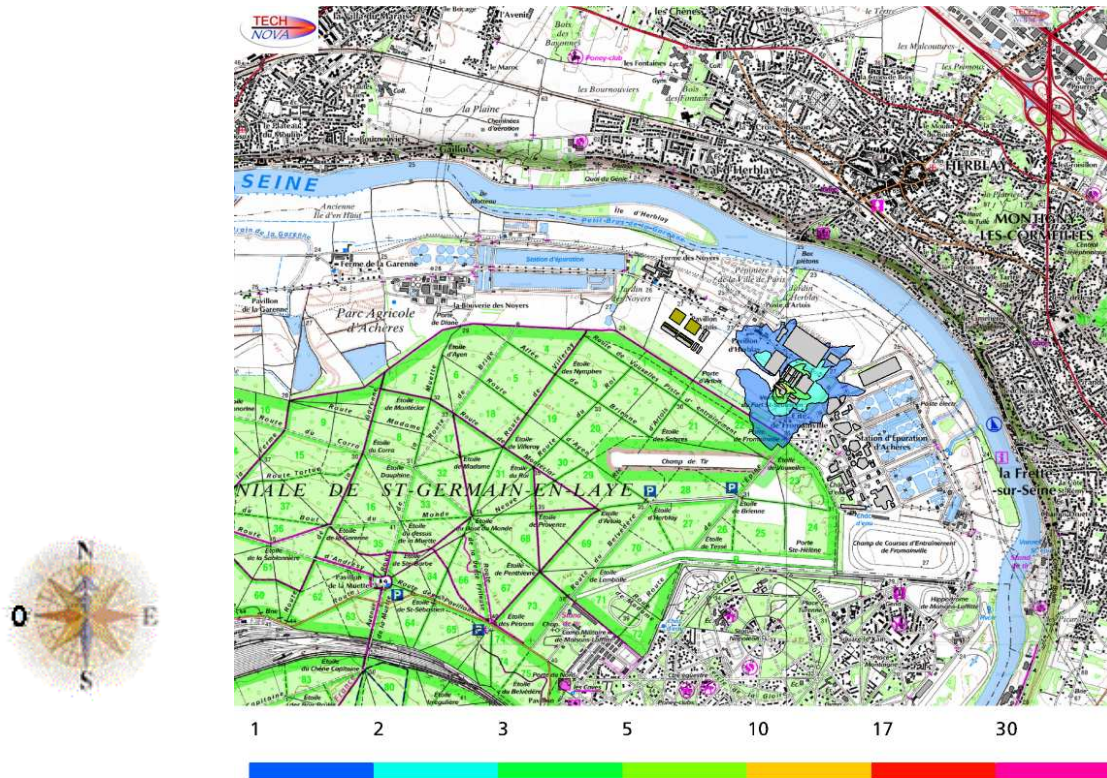
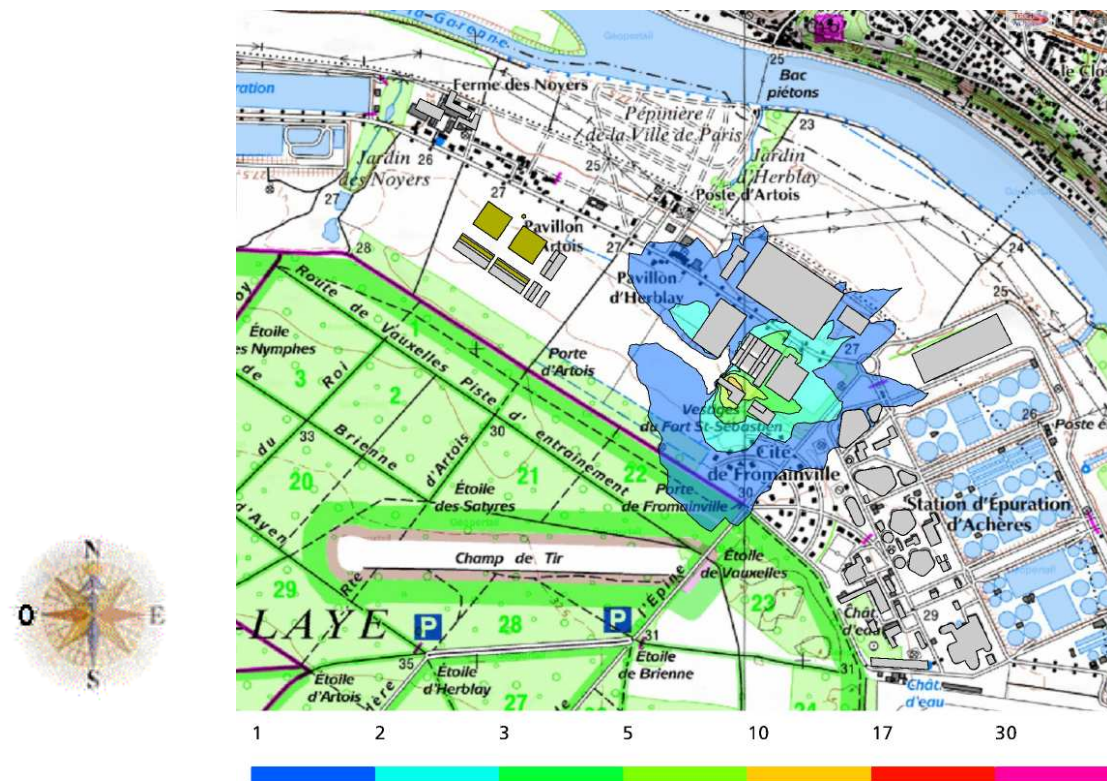


Figure 27 : Iso-concentrations d'odeur – Biofiltres – Zoom



Concentration Desodo [ $\mu\text{o}/\text{m}^3$ ] - Mode Normal

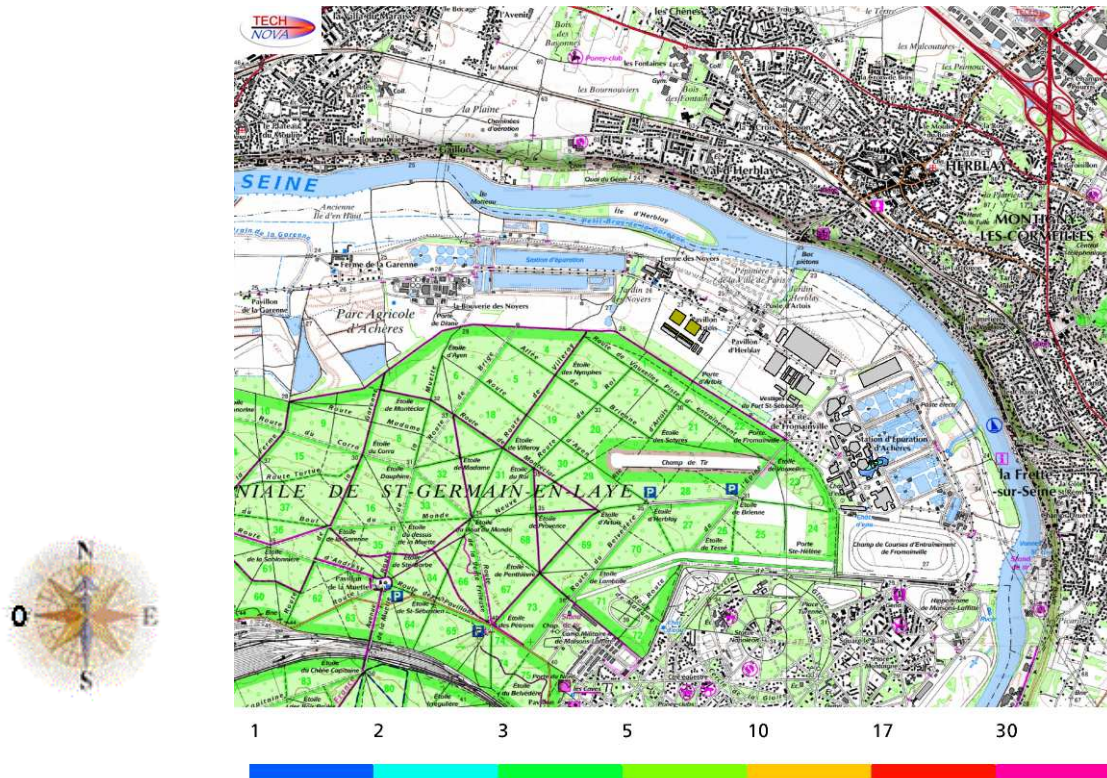
Figure 28 : Iso-concentrations d'odeur – Desodo zone biofiltres



Concentration Desodo [ $\mu\text{o}/\text{m}^3$ ] - Mode Normal

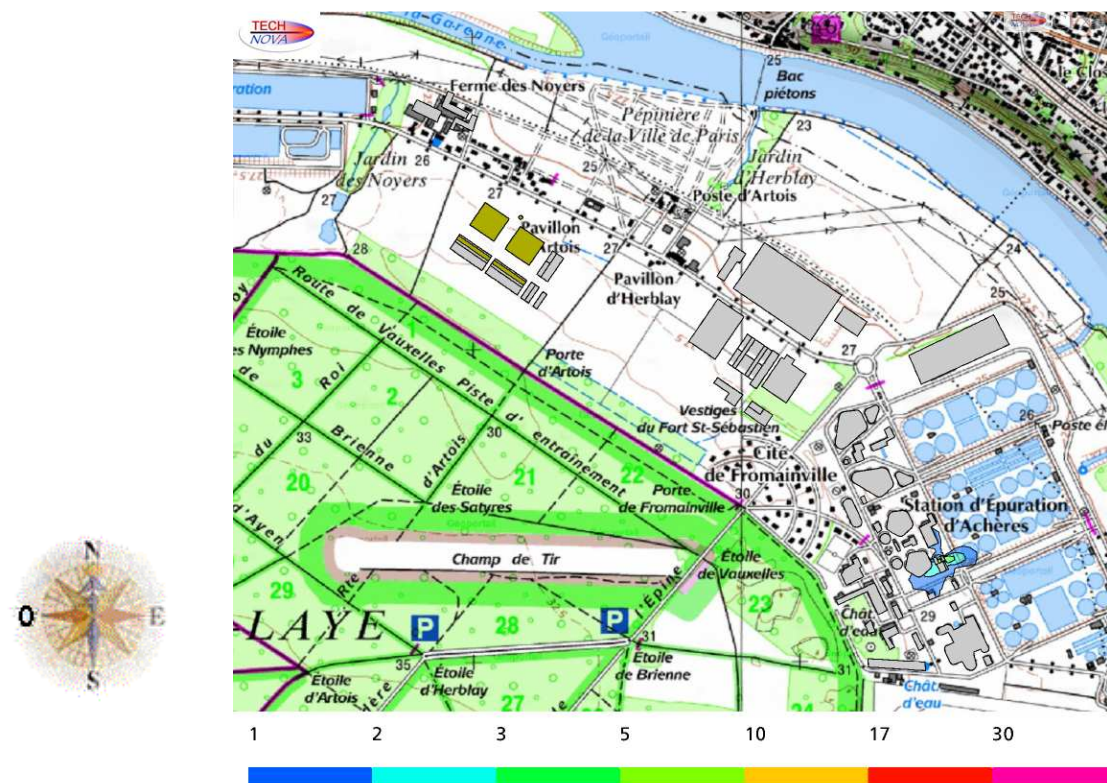
Figure 29 : Iso-concentrations d'odeur – Desodo zone biofiltres – Zoom





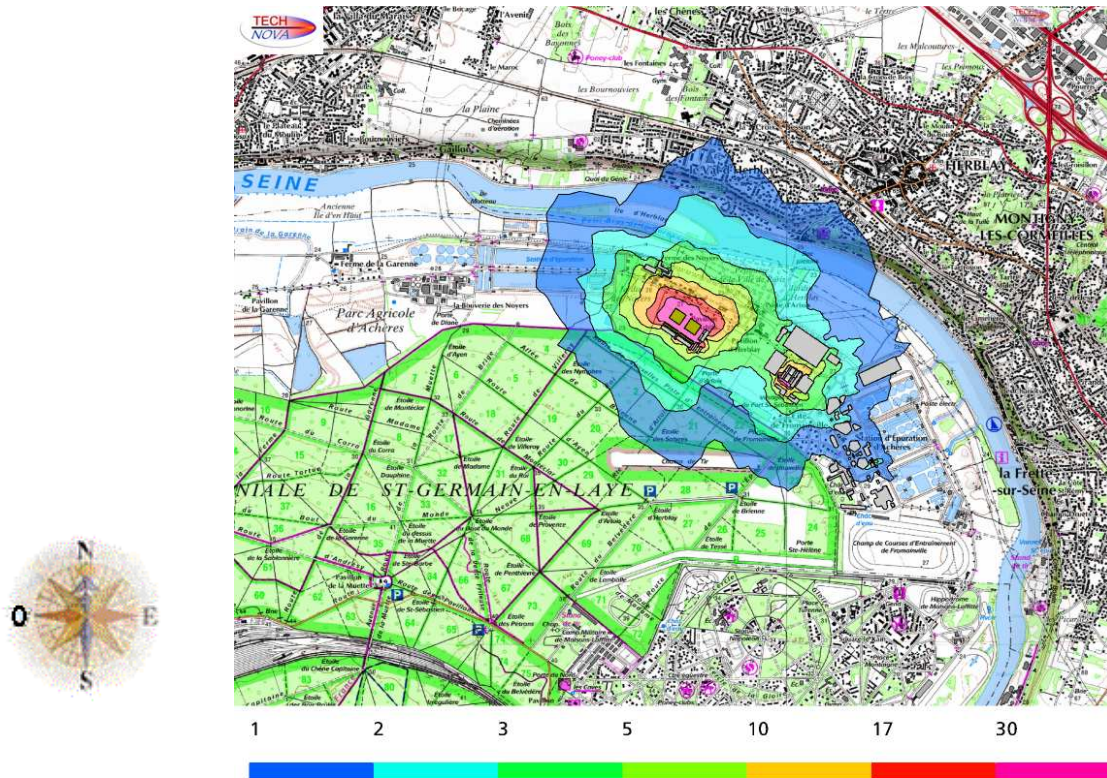
Concentration P5 [uo/m3]

Figure 30 : Iso-concentrations d'odeur – Poste de relèvement



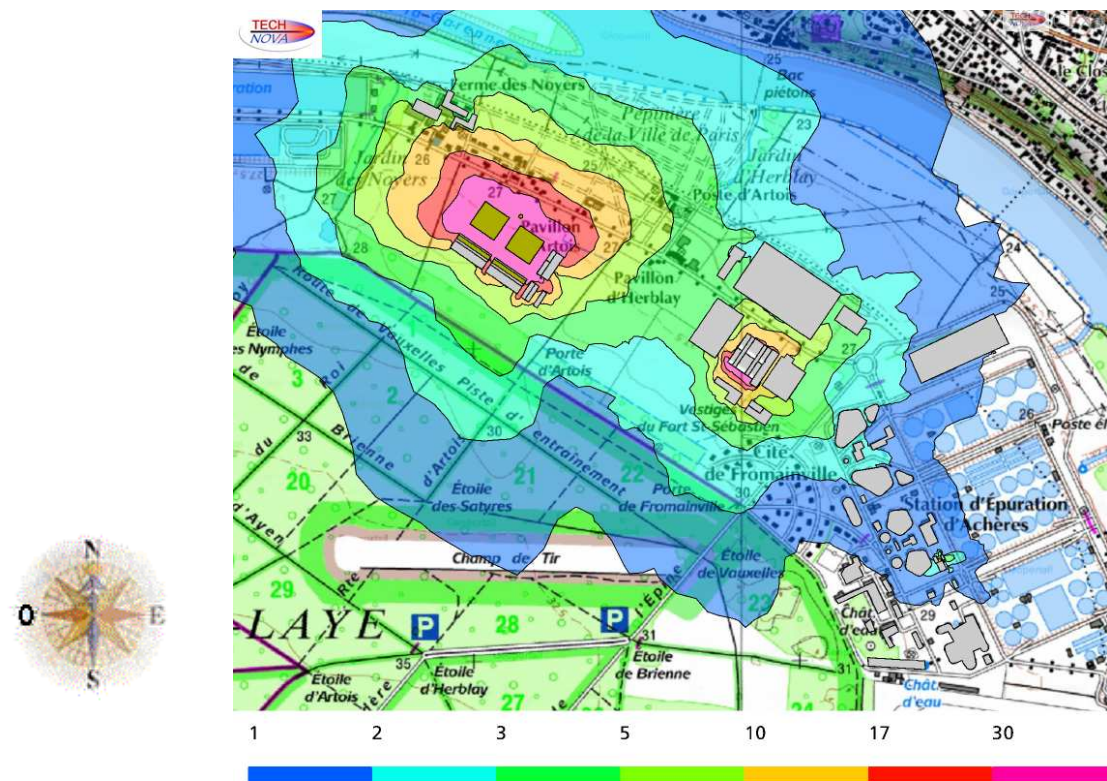
Concentration P5 [uo/m3]

Figure 31 : Iso-concentrations d'odeur – Poste de relèvement – Zoom



Concentration Ensemble des odeurs [uo/m<sup>3</sup>] - Mode Normal

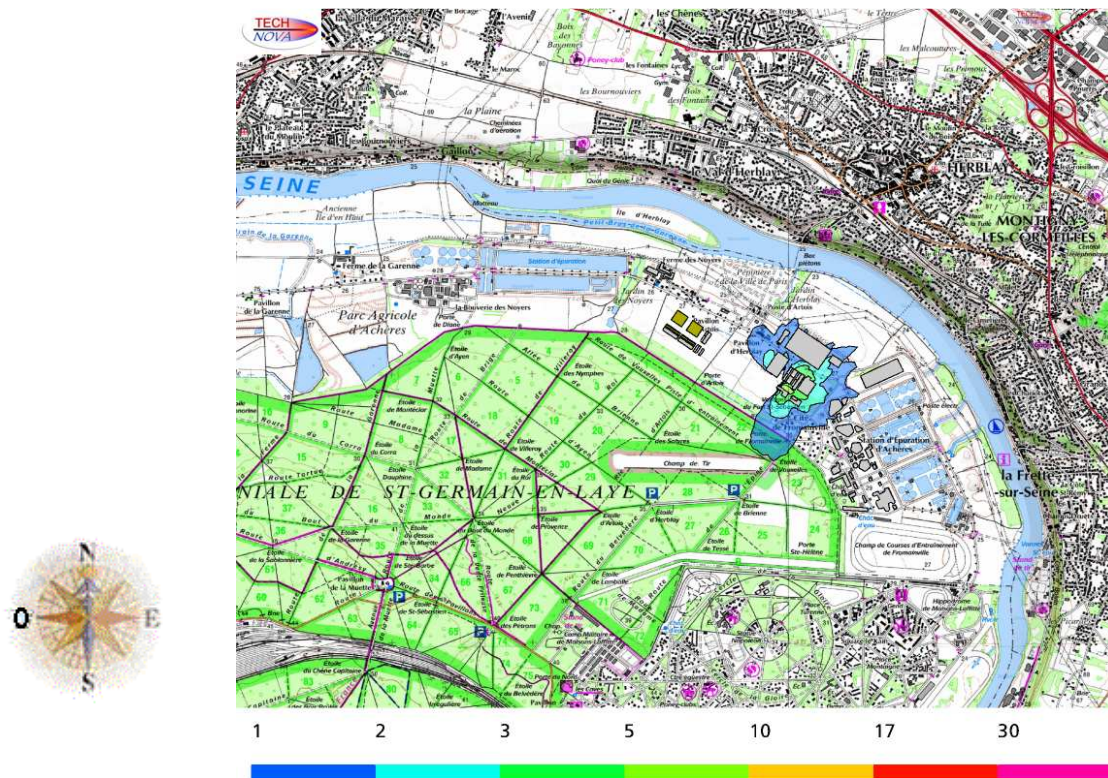
Figure 32 : Iso-concentrations d'odeur – Ensemble des odeurs



Concentration Ensemble des odeurs [uo/m<sup>3</sup>] - Mode Normal

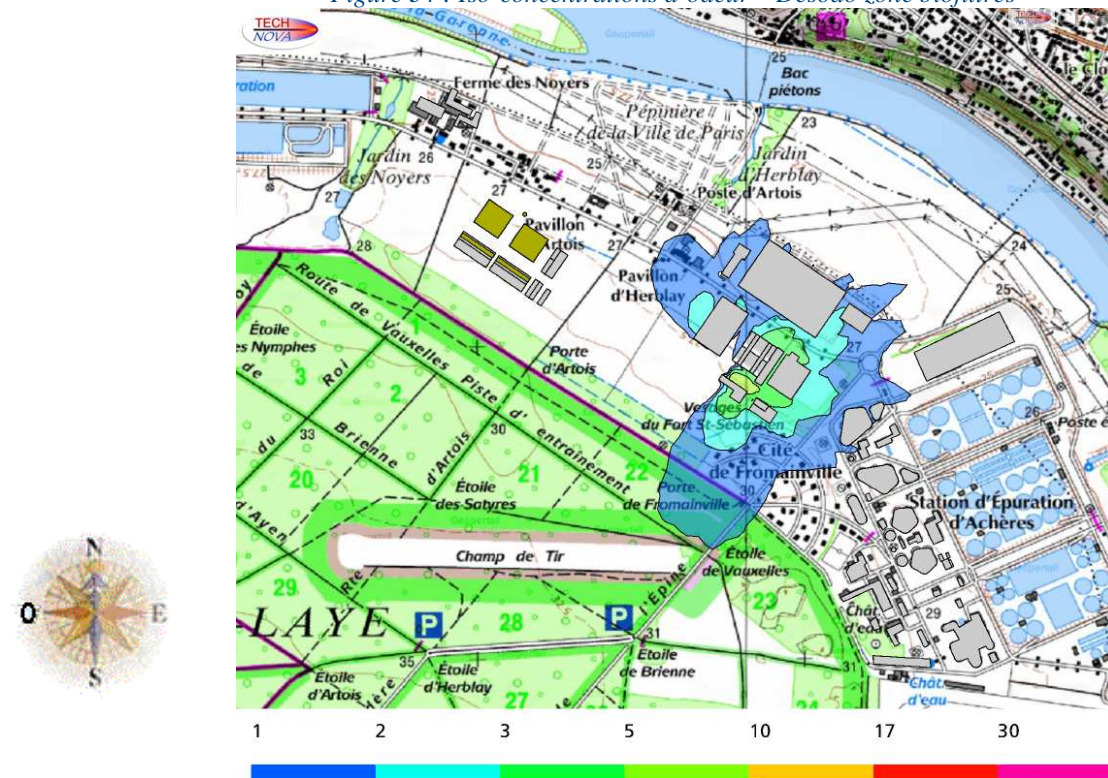
Figure 33 : Iso-concentrations d'odeur – Ensemble des odeurs – Zoom

## 11.2 MODE DEGRADE



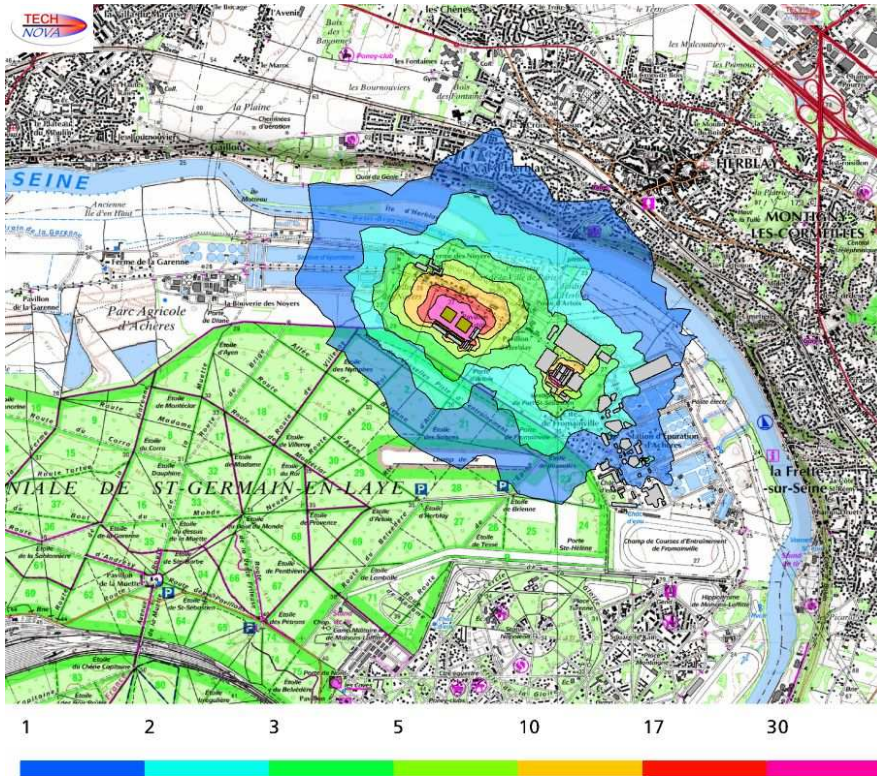
Concentration Desodo [uo/m3] - Mode Degrade

Figure 34 : Iso-concentrations d'odeur – Desodo zone biofiltres



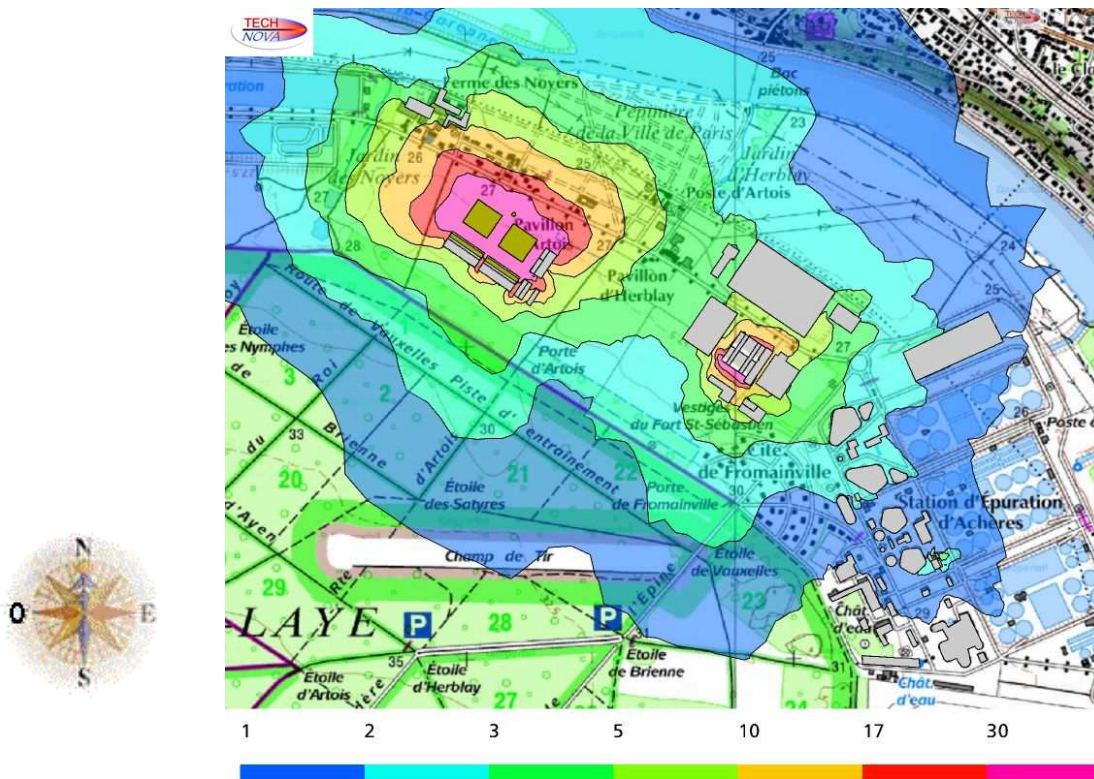
Concentration Desodo [uo/m3] - Mode Degrade

Figure 35 : Iso-concentrations d'odeur – Desodo zone biofiltres – Zoom



Concentration Ensemble des odeurs [uo/m3] - Mode Degrade

Figure 36 : Iso-concentrations d'odeur – Ensemble des odeurs



Concentration Ensemble des odeurs [uo/m3] - Mode Degrade

Figure 37 : Iso-concentrations d'odeur – Ensemble des odeurs – Zoom

## ARTICLE 12 : PERCENTILES 99,5

---

Les figures suivantes présentent par mode de fonctionnement les percentiles 99,5, c'est à dire la valeur pour laquelle la concentration d'odeur au point considéré sera supérieure 0,5% du temps (44 h par an) dans l'année.

Ces images montrent les zones pour lesquelles la concentration d'odeur est supérieure pendant 44 h/an pour les conditions d'émission étudiées. **Ces 44 h ne correspondent pas à une période continue mais à un nombre d'heures global dans l'année.**

## 12.1 MODE NORMAL

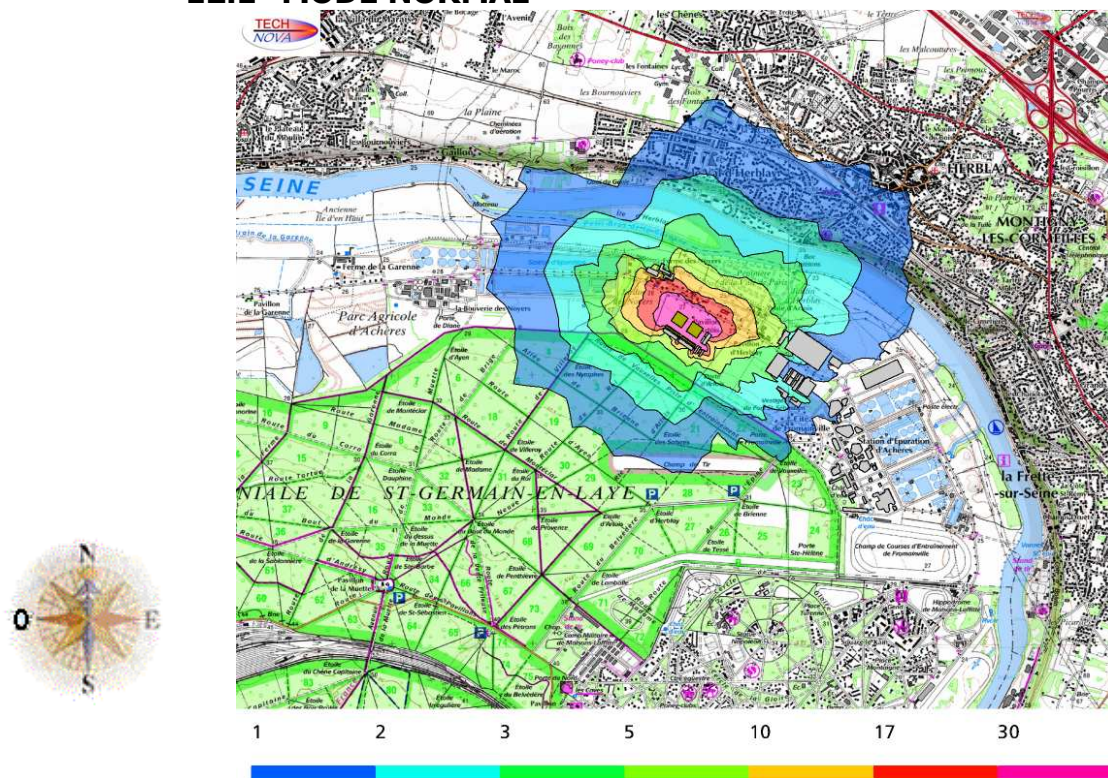


Figure 38 : Iso-concentrations d'odeur – Bassins d'aération

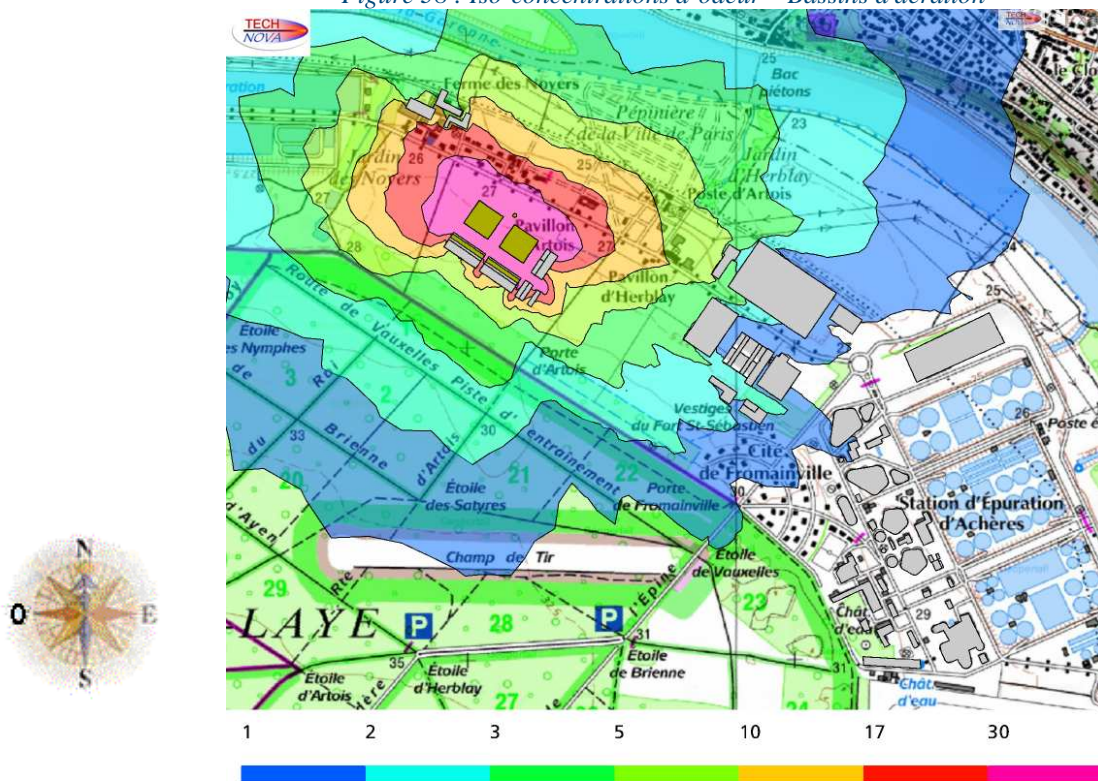


Figure 39 : Iso-concentrations d'odeur – Bassins d'aération – Zoom

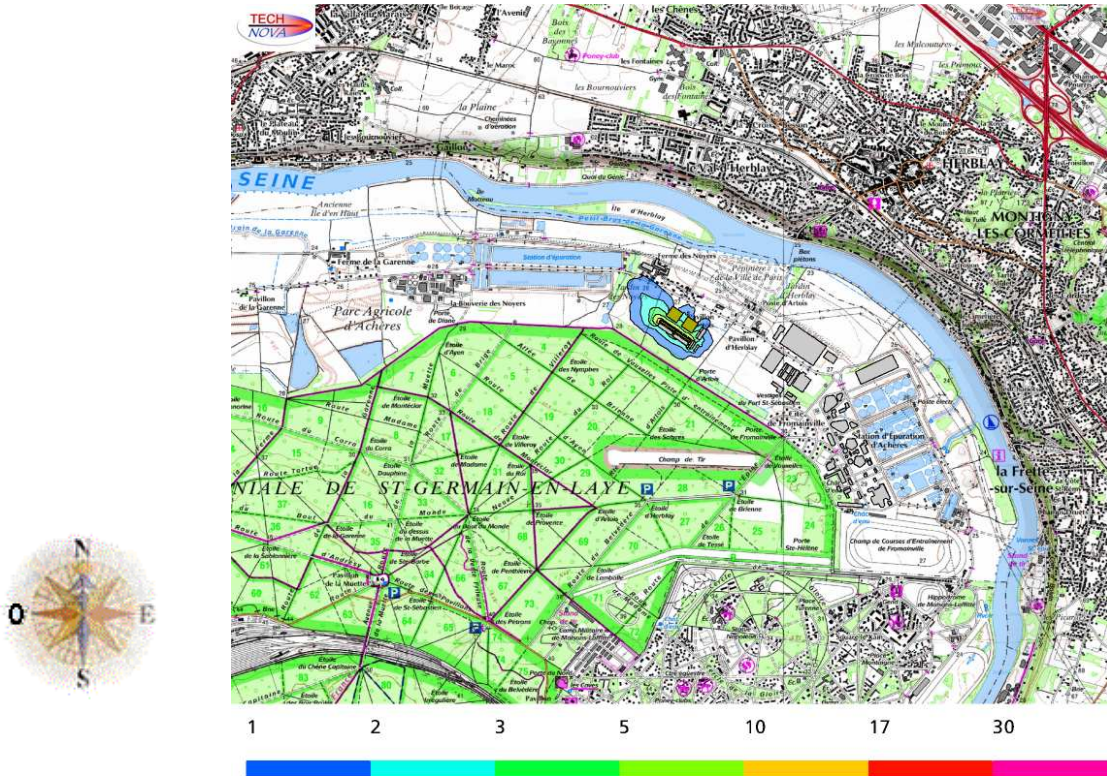


Figure 40 : Iso-concentrations d'odeur – Filtration membrane

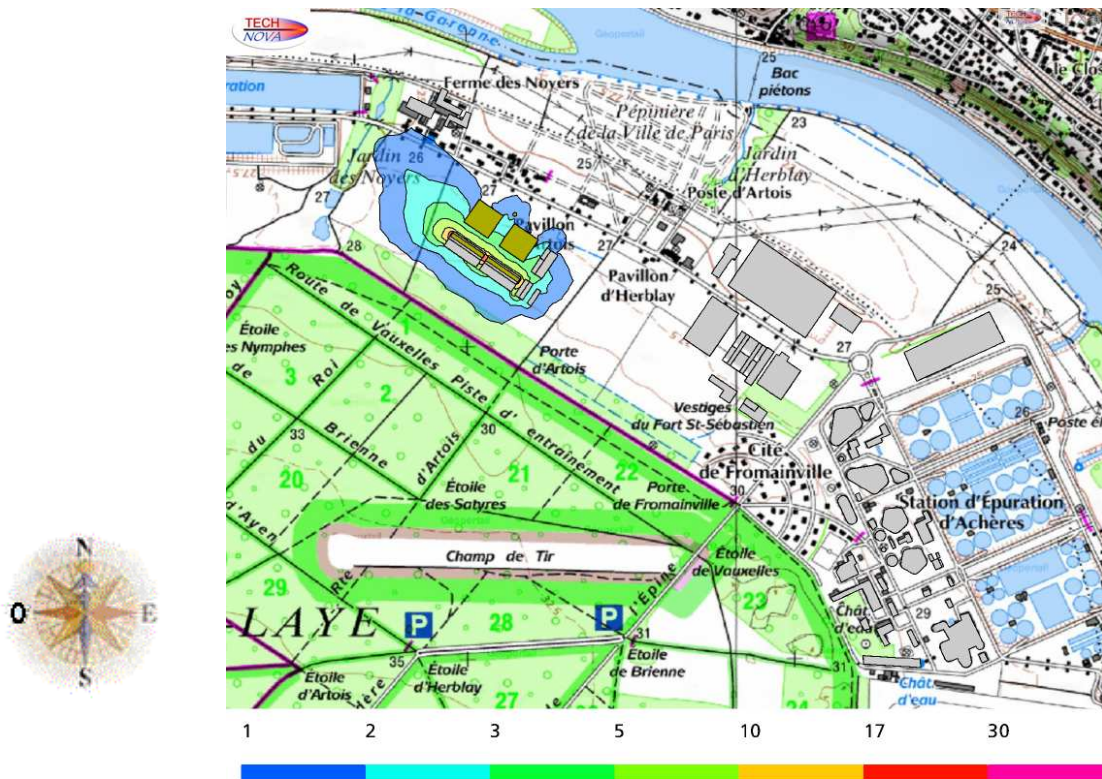
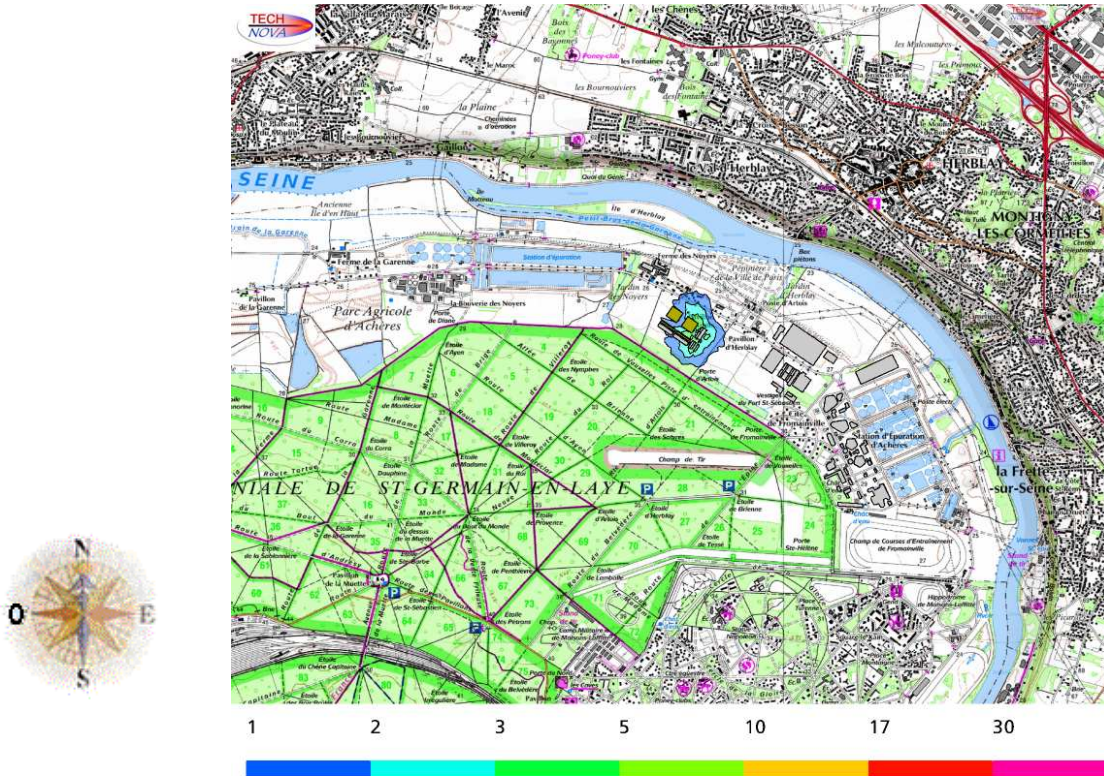
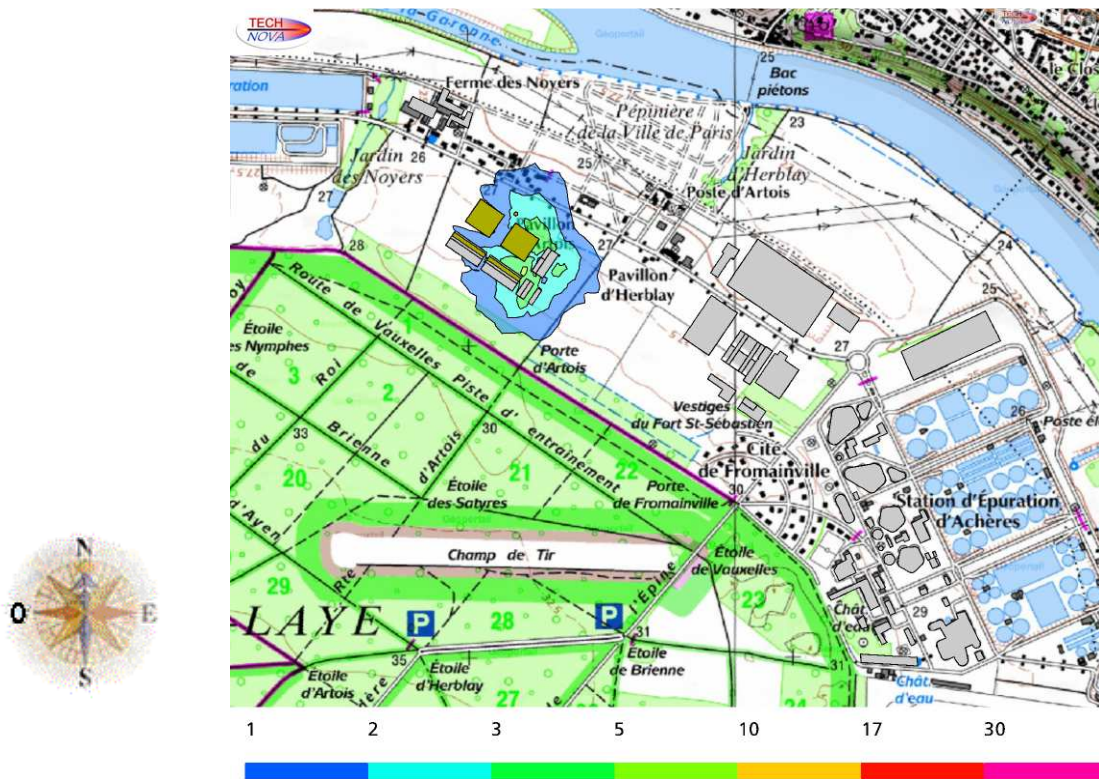


Figure 41 : Iso-concentrations d'odeur – Filtration membrane – Zoom



Concentration Desodo Membrane [uo/m3]

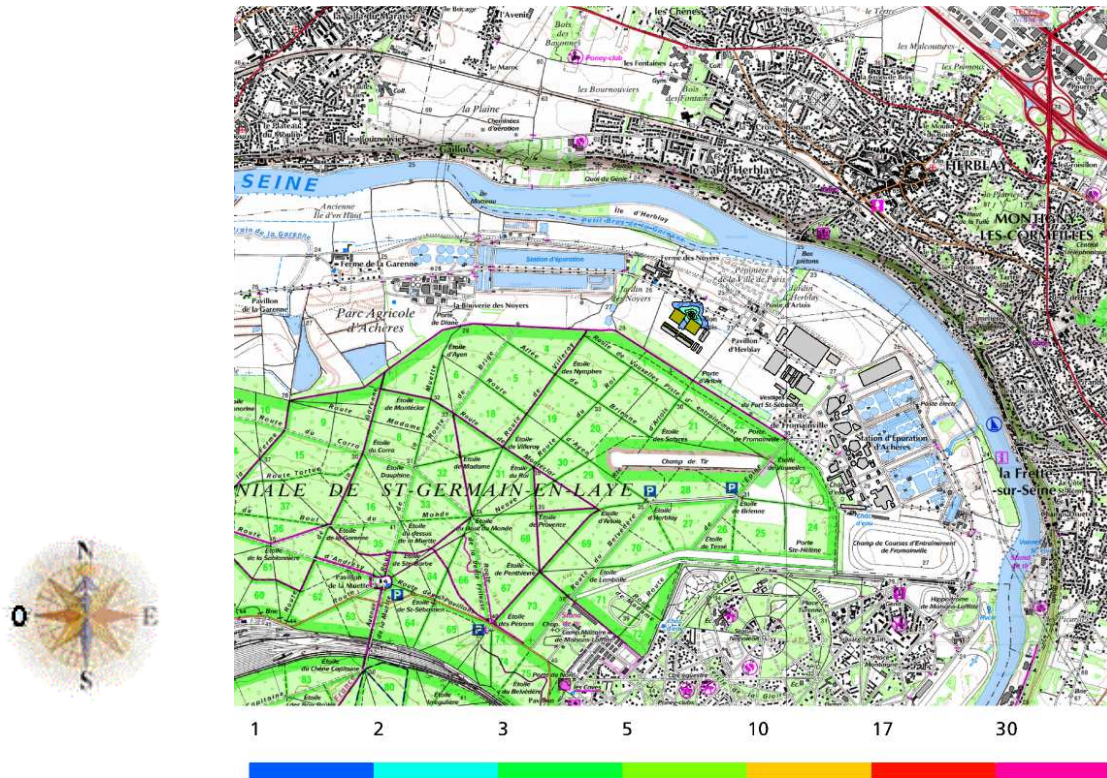
Figure 42 : Iso-concentrations d'odeur – Desodo zone membrane



Concentration Desodo Membrane [uo/m3]

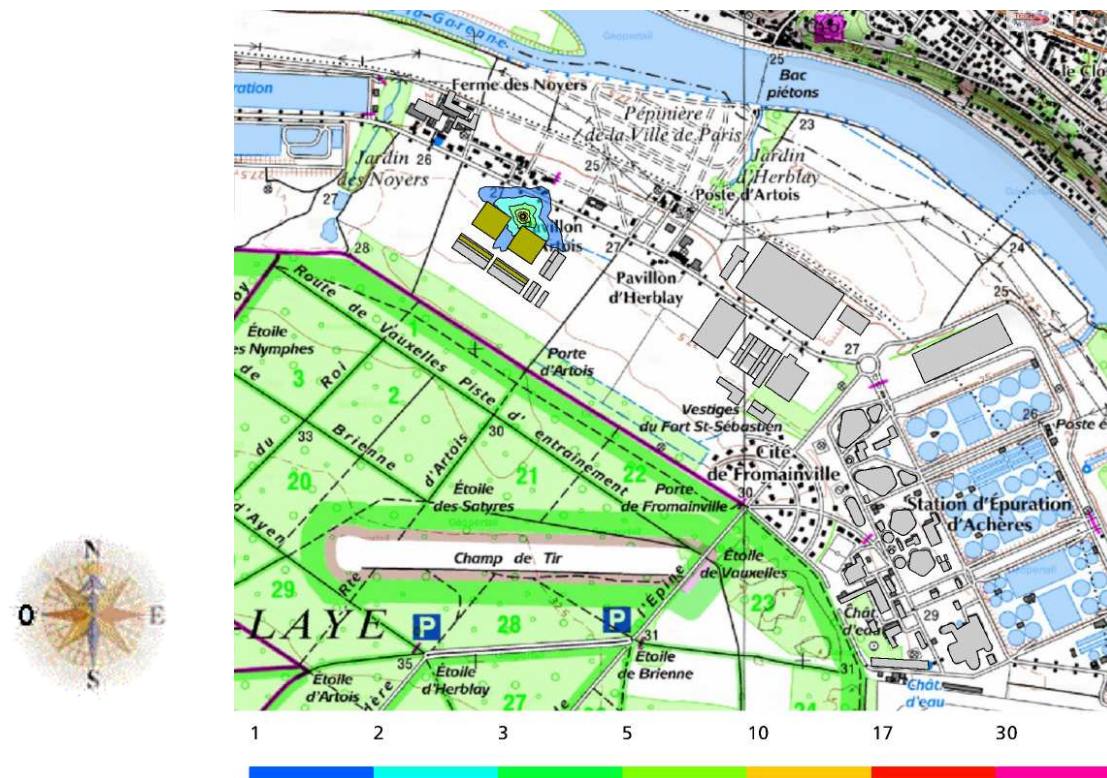
Figure 43 : Iso-concentrations d'odeur – Desodo zone membrane – Zoom





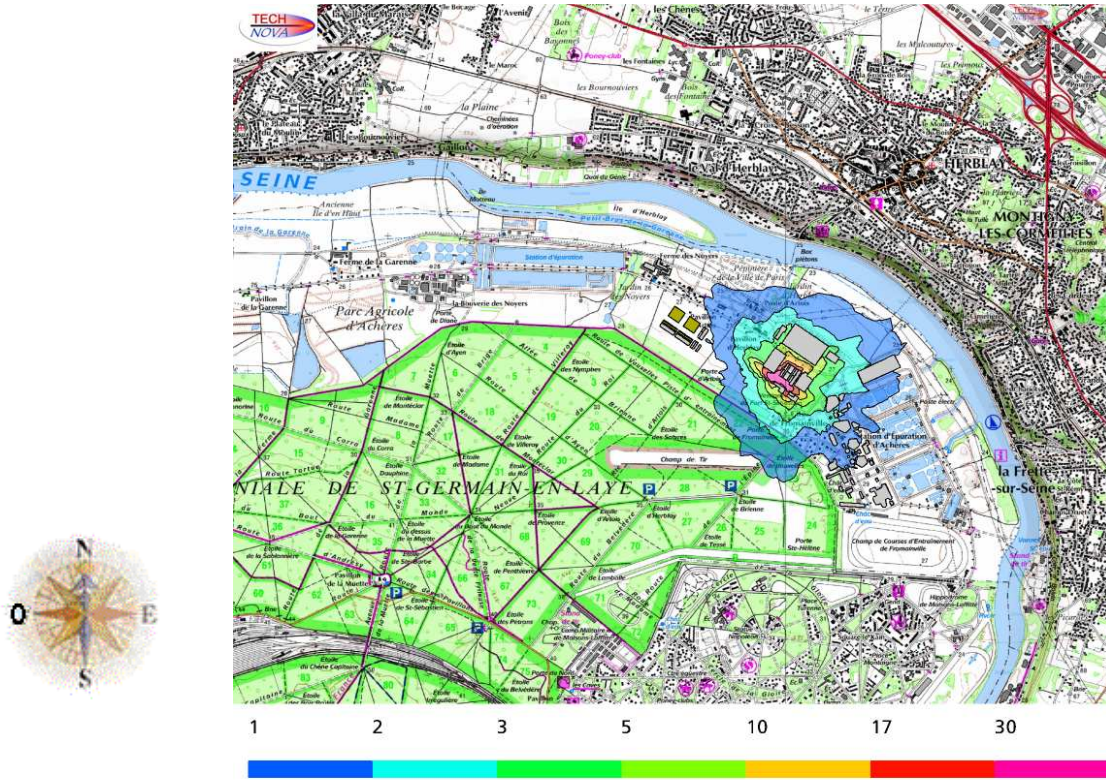
Concentration Répartiteur [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]

Figure 44 : Iso-concentrations d'odeur – Répartiteur



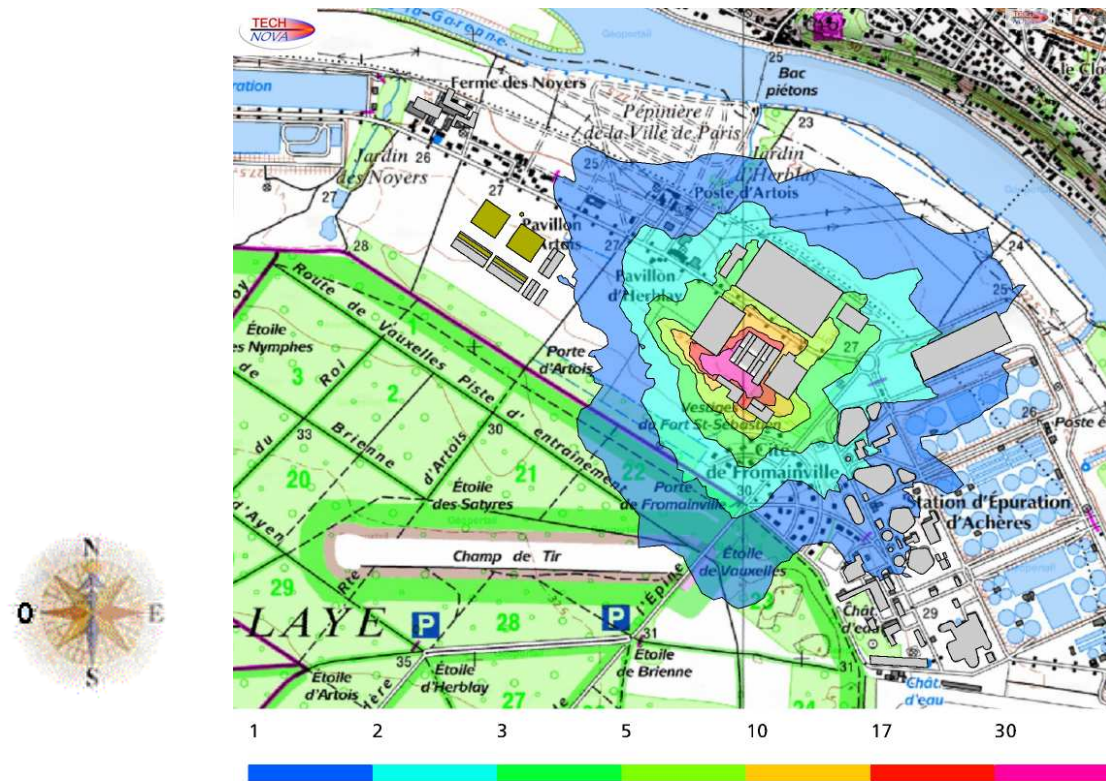
Concentration Répartiteur [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]

Figure 45 : Iso-concentrations d'odeur – Répartiteur – Zoom



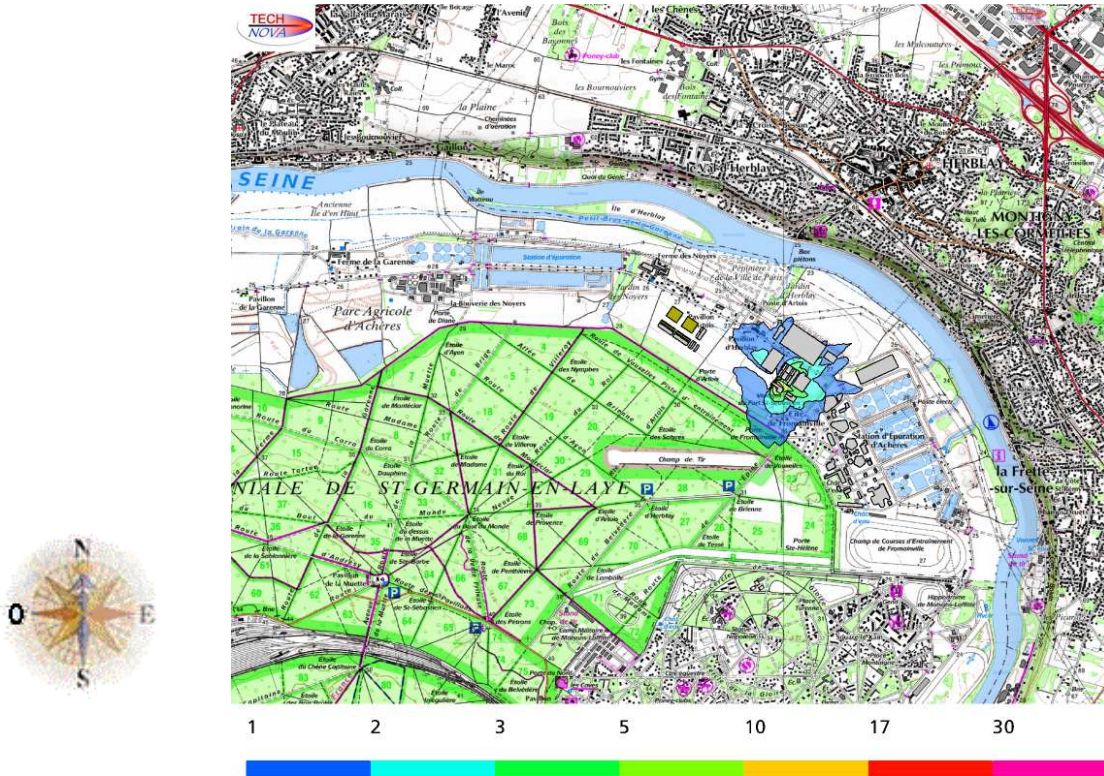
Concentration Biostyr  $[\mu\text{O}/\text{m}^3]$

Figure 46 : Iso-concentrations d'odeur – Biofiltres



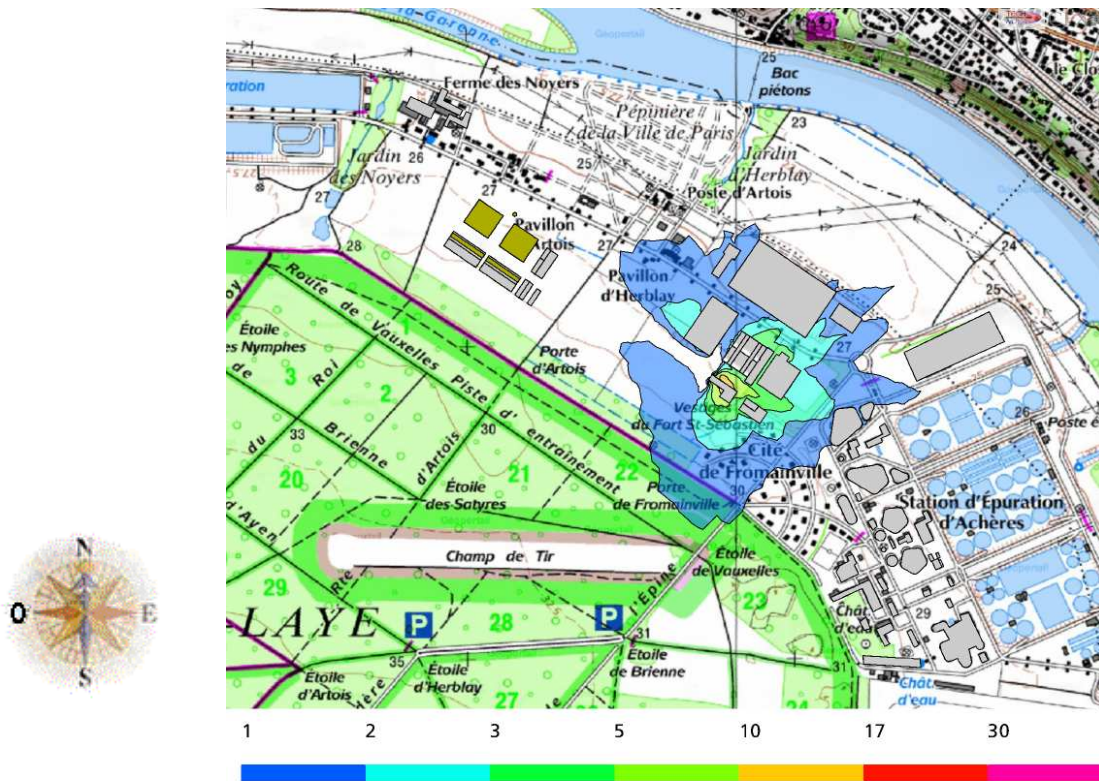
Concentration Biostyr  $[\mu\text{O}/\text{m}^3]$

Figure 47 : Iso-concentrations d'odeur – Biofiltres – Zoom



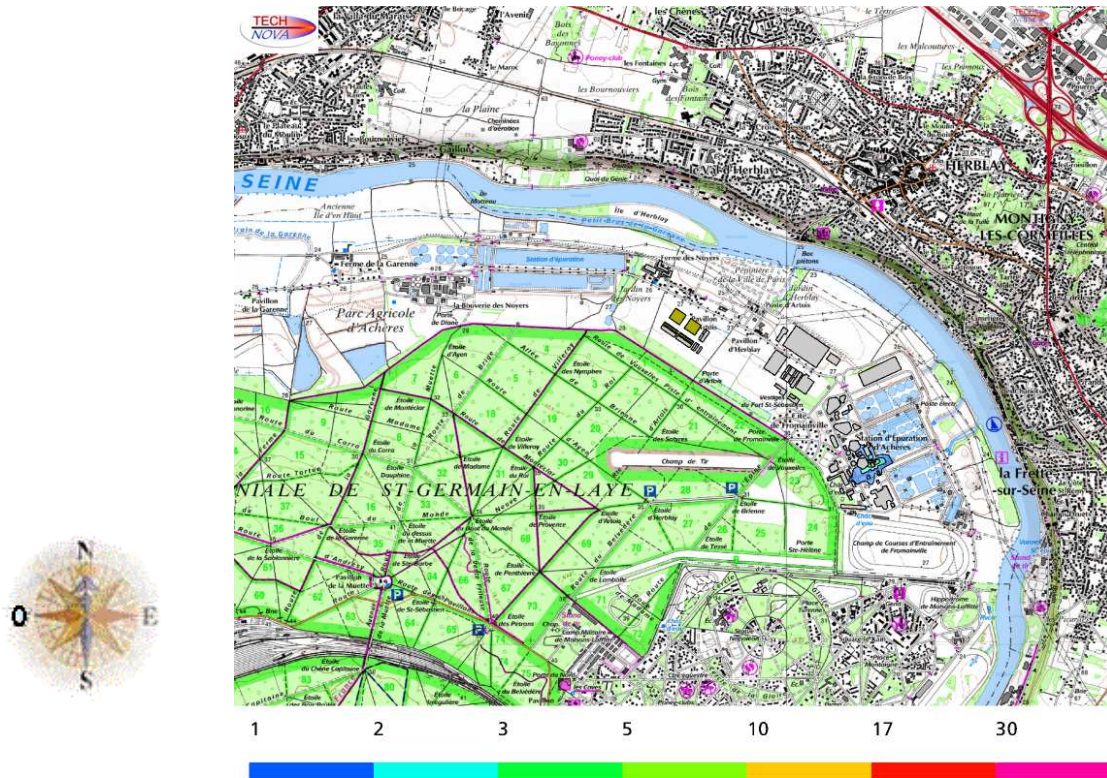
Concentration Desodo [ $\mu\text{o}/\text{m}^3$ ] - Mode Normal

Figure 48 : Iso-concentrations d'odeur – Desodo zone biofiltres



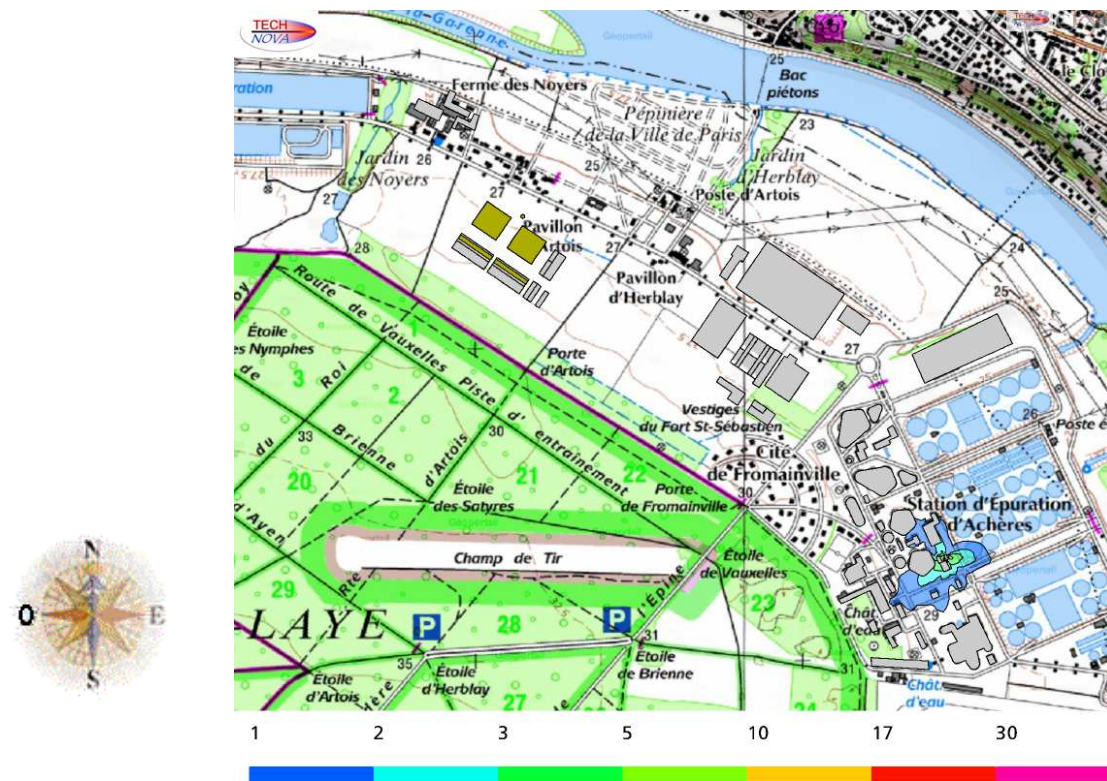
Concentration Desodo [ $\mu\text{o}/\text{m}^3$ ] - Mode Normal

Figure 49 : Iso-concentrations d'odeur – Desodo zone biofiltres – Zoom



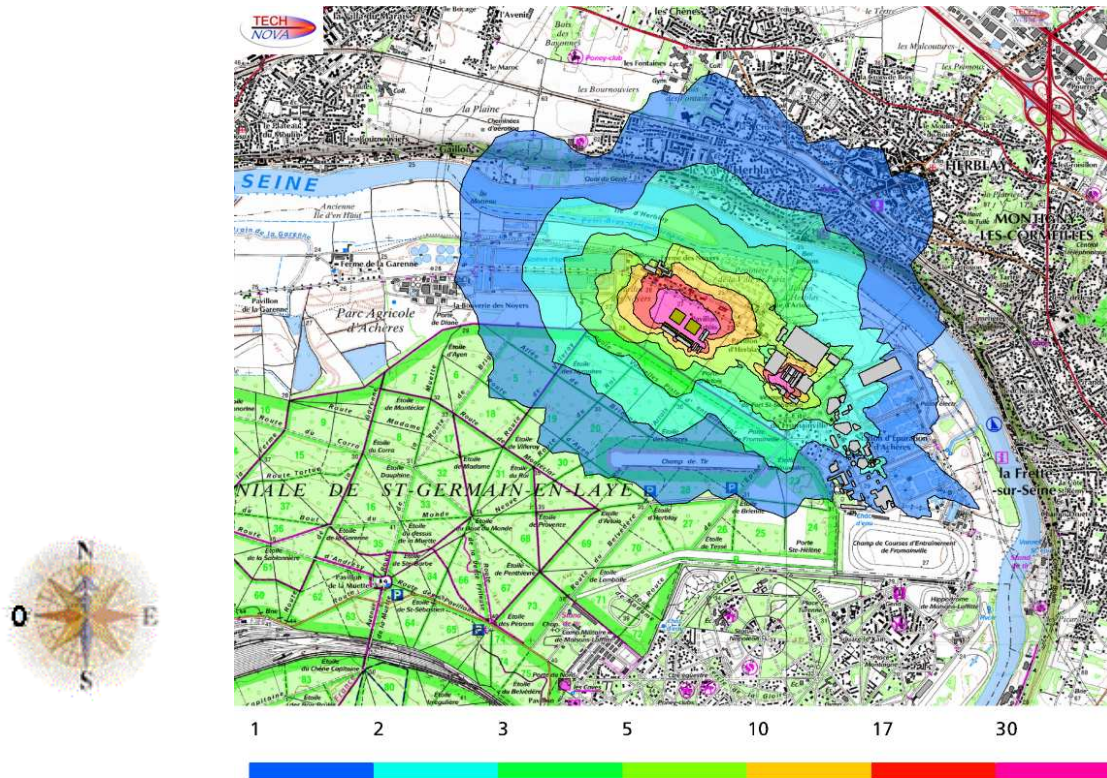
Concentration P5 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]

Figure 50 : Iso-concentrations d'odeur – Poste de relèvement



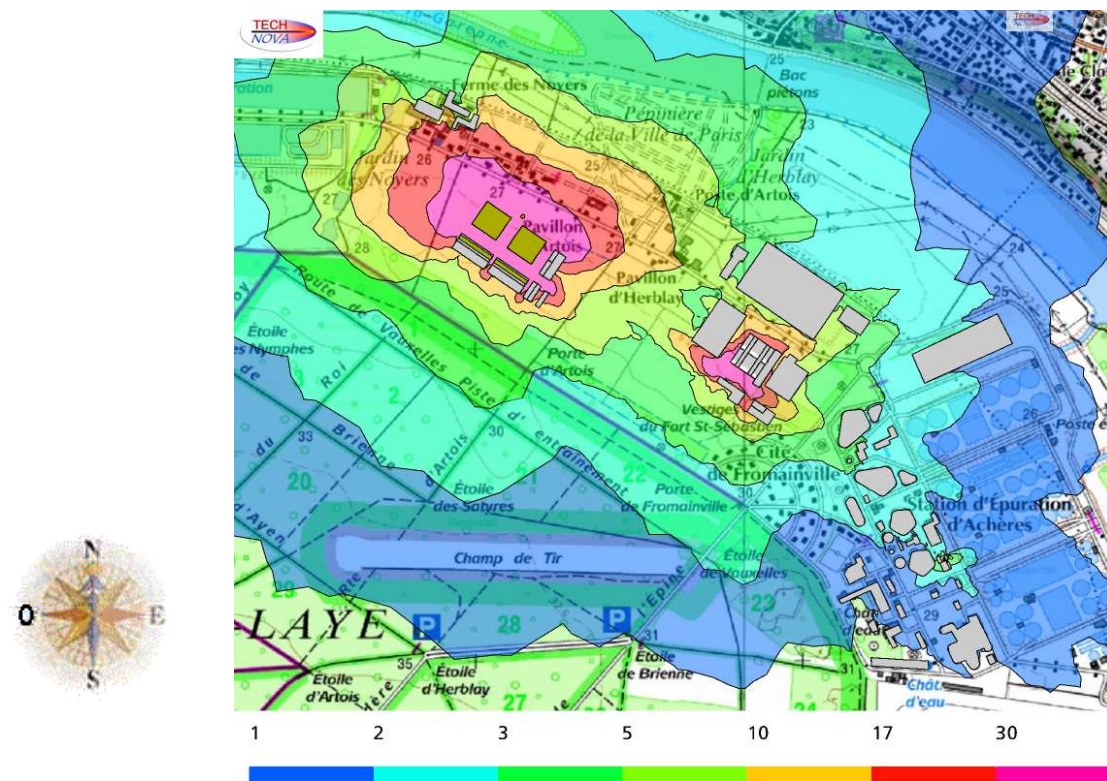
Concentration P5 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]

Figure 51 : Iso-concentrations d'odeur – Poste de relèvement – Zoom



Concentration Ensemble des odeurs [uo/m3] - Mode Normal

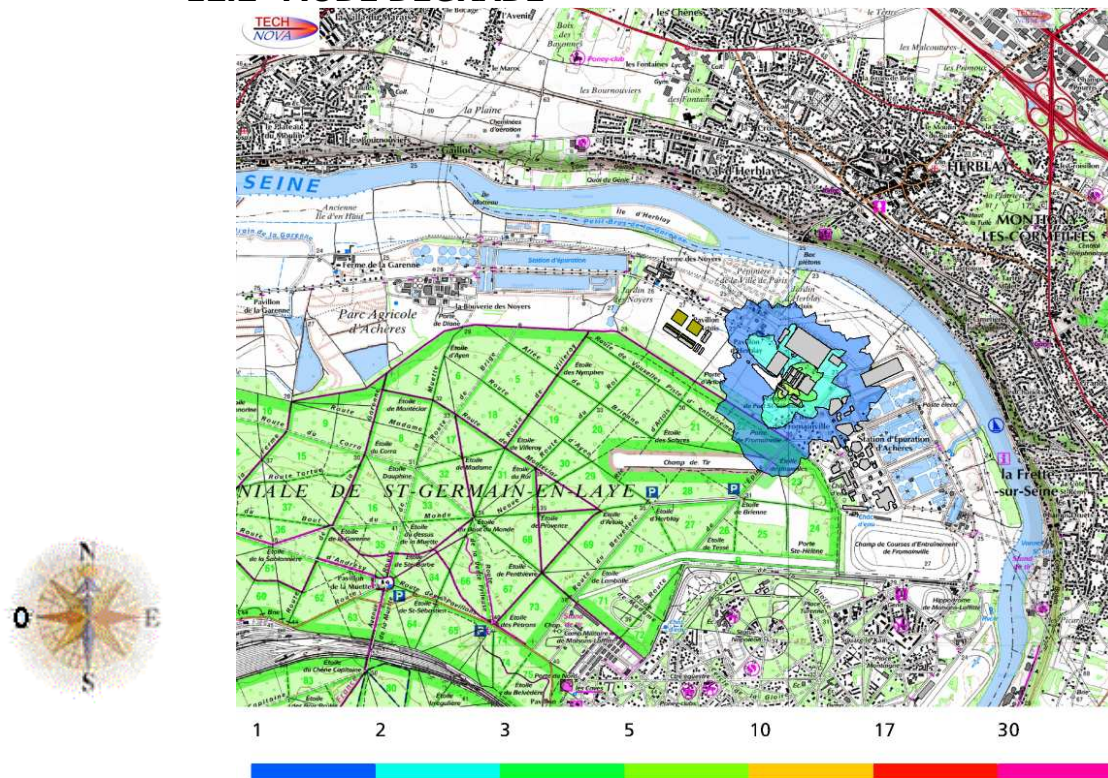
Figure 52 : Iso-concentrations d'odeur – Ensemble des odeurs



Concentration Ensemble des odeurs [uo/m3] - Mode Normal

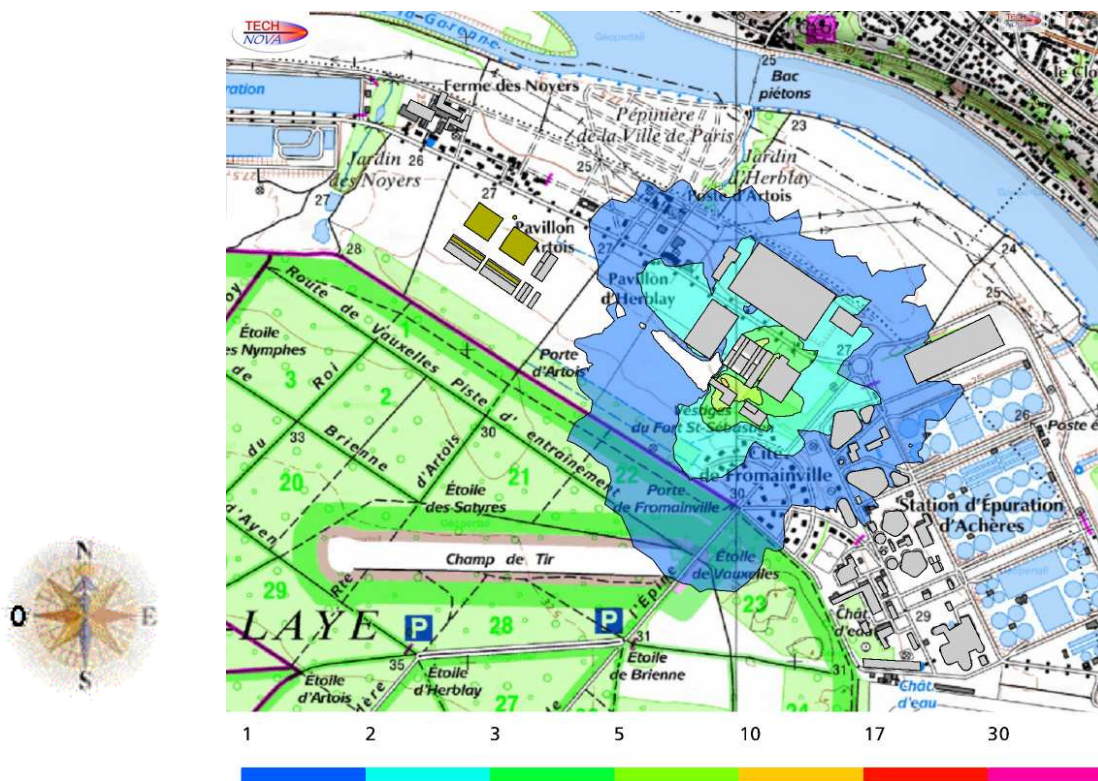
Figure 53 : Iso-concentrations d'odeur – Ensemble des odeurs – Zoom

## 12.2 MODE DEGRADÉ



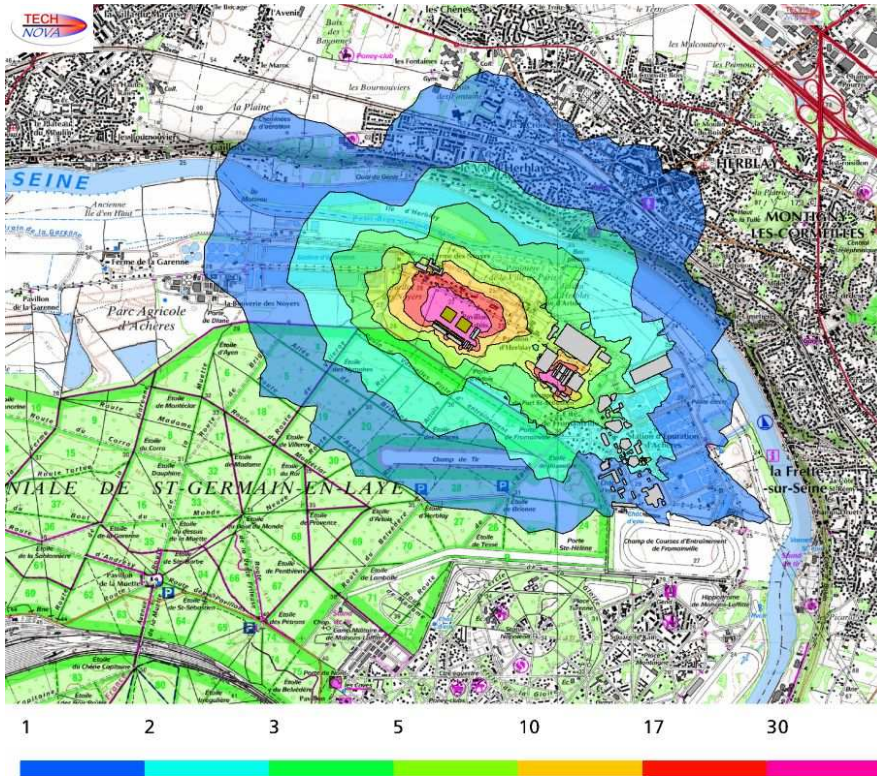
Concentration Desodo [ $\mu\text{O}/\text{m}^3$ ] - Mode Degrade

Figure 54 : Iso-concentrations d'odeur – Desodo zone biofiltres



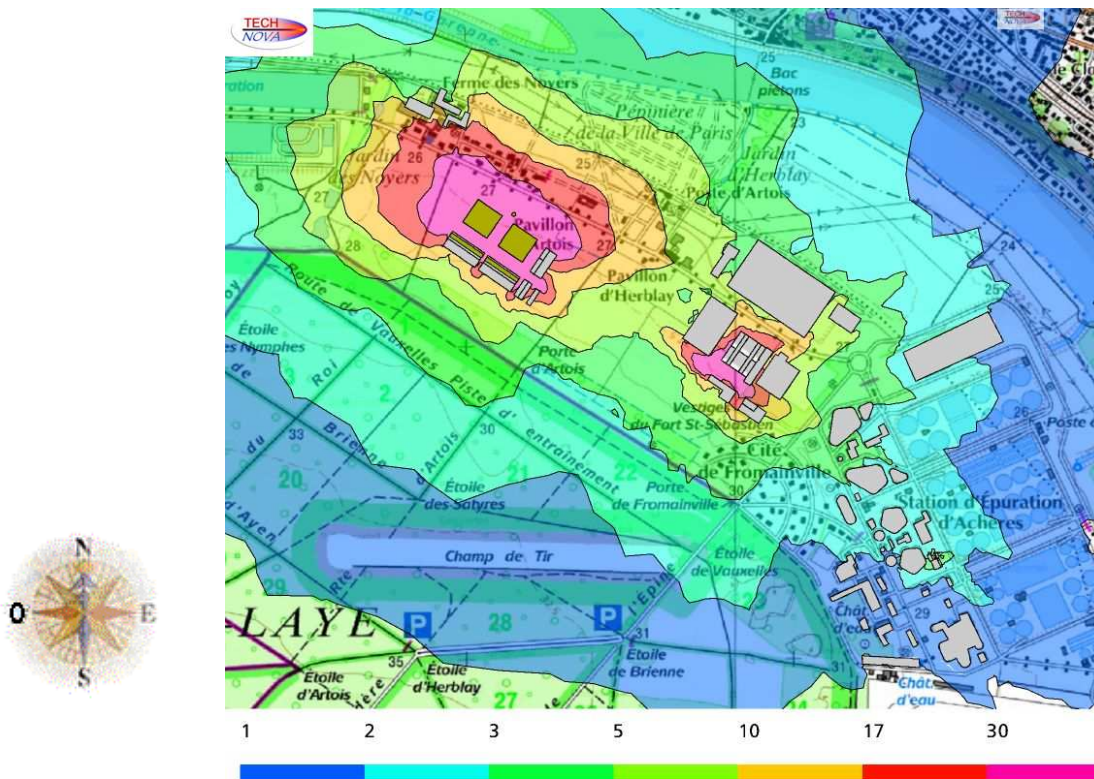
Concentration Desodo [ $\mu\text{O}/\text{m}^3$ ] - Mode Degrade

Figure 55 : Iso-concentrations d'odeur – Desodo zone biofiltres – Zoom



Concentration Ensemble des odeurs [uo/m3] - Mode Degrade

Figure 56 : Iso-concentrations d'odeur – Ensemble des odeurs



Concentration Ensemble des odeurs [uo/m3] - Mode Degrade

Figure 57 : Iso-concentrations d'odeur – Ensemble des odeurs – Zoom

---

## ARTICLE 13 : ANALYSE DES RESULTATS

Les résultats présentés dans les chapitres précédents ne sont valables que pour les conditions d'émissions précisées §2.2. Les cartographies de concentration d'odeur obtenues ont pour objectif de :

- Déterminer et visualiser les secteurs potentiellement atteints par les rejets au cours d'une année d'émission,
- Voir quelle est la contribution de chaque source sur l'impact global de la station d'épuration.

Il est à noter que **la répartition des concentrations des odeurs s'étend en adéquation avec la rose des vents**. Principalement au Sud du fait de l'importance des vents dans ces directions. On retrouve l'allure de la rose des vents avec des vents de Sud-Ouest transportant les effluents gazeux vers le Nord-Est et des vents de Sud-Est les dispersant vers le Nord-Ouest.

De plus, il est à noter que :

- **L'impact en mode dégradé est plus important qu'en mode normal du fait du flux plus important de la source 3 (seule modification entre les 2 modes).**
- **Au percentile 98:**
  - Mode Normal : **une concentration** d'odeur inférieure à **2 uo/m<sup>3</sup>** est observée au niveau des **riverains au Nord de la Seine**, et **inférieure à 5 uo/m<sup>3</sup>** au niveau des riverains de la  **cité de Fromainville**.
  - Mode Dégradé : **une concentration** d'odeur inférieure à **2 uo/m<sup>3</sup>** est observée au niveau des **riverains au Nord de la Seine**, et **inférieure à 5 uo/m<sup>3</sup>** au niveau des riverains de la  **cité de Fromainville**.
- **Au percentile 99,5:**
  - Mode Normal : **une concentration** d'odeur inférieure à **3 uo/m<sup>3</sup>** est observée au niveau des **riverains au Nord de la Seine**, et **de l'ordre de 5 uo/m<sup>3</sup>** au niveau des riverains de la  **cité de Fromainville**.
  - Mode Dégradé : **une concentration** d'odeur inférieure à **3 uo/m<sup>3</sup>** est observée au niveau des **riverains au Nord de la Seine**, et **de l'ordre de 5 uo/m<sup>3</sup>** au niveau des riverains de la  **cité de Fromainville**.



---

## CHAPITRE 6 - CONCLUSION

---

Le présent rapport concerne la réalisation de l'étude de dispersion globale **au 98 et 99,5 percentile** et un scénario spécifique sur le site de l'usine d'épuration Sav à Achères (78), suite à l'étude précédente *Rapport\_AROMA-Acheres-01*.

L'objectif de cette étude est de dresser la carte de pollution odorante autour du site afin **de déterminer l'impact olfactif de chaque nouvelle unité** de la refonte File BIO ainsi que leur impact global sur le site et l'environnement.

Rev. 2

**L'étude a permis de quantifier** : les concentrations aux percentiles 98% et 99,5% par une simulation numérique transitoire 3D en CFD.

Elles sont basées sur des données tri-horaires suivant un traitement statistique à partir des données statistiques de Météo France de la station météorologique la plus représentative du site.

Nous avons présenté dans la **première partie** de ce rapport la description générale de l'étude, le choix des conditions utilisées pour les calculs de simulation numérique et la description des méthodes de résolution.

La **seconde partie** du document a présenté les résultats de dispersion des odeurs pour les conditions météorologiques de **l'année 2004 de l'usine d'épuration Sav à Achères (94)**.

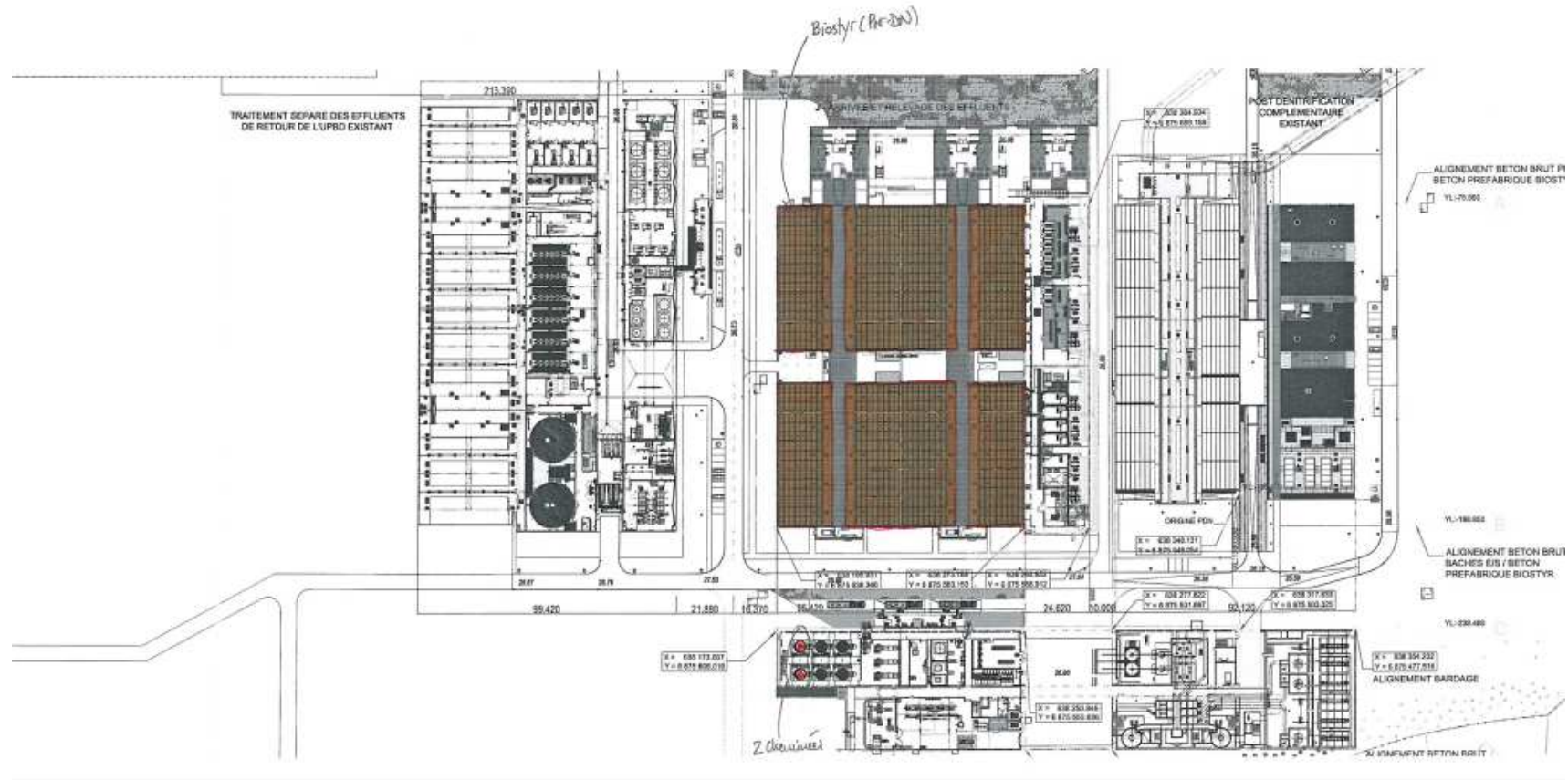
- La **simulation numérique 3D transitoire tri-horaire** a permis de mettre en évidence l'influence des ouvrages (**bâtiments, murs, talus**, etc.) sur la dispersion atmosphérique des effluents gazeux. Ces ouvrages créent des **obstacles à l'écoulement**, ce qui provoque des zones de recirculation où **les concentrations d'odeur sont plus élevées**.
- La **condition météorologique F2, la plus pénalisante, présente une occurrence de 1,8% durant l'année d'étude et une direction principale de Nord**.
- **L'impact en mode dégradé est plus important qu'en mode normal du fait du flux plus important de la source 3 (seule modification entre les 2 modes)**.
- **La conformité des résultats de l'étude de dispersion atmosphérique des odeurs aux garanties souscrites rappelées au chapitre 1 – Objet**, avec
  - Au **percentile 98**:
    - **Mode Normal** : une concentration d'odeur inférieure à **2 uo/m<sup>3</sup>** est observée au niveau des **riverains au Nord de la Seine**, et **inférieure à 5 uo/m<sup>3</sup>** au niveau des riverains de la **cité de Fromainville**.
    - **Mode Dégradé** : une concentration d'odeur inférieure à **2 uo/m<sup>3</sup>** est observée au niveau des **riverains au Nord de la Seine**, et **inférieure à 5 uo/m<sup>3</sup>** au niveau des riverains de la **cité de Fromainville**.
  - Au percentile 99,5:
    - **Mode Normal** : une concentration d'odeur inférieure à **3 uo/m<sup>3</sup>** est observée au niveau des **riverains au Nord de la Seine**, et **de l'ordre de 5 uo/m<sup>3</sup>** au niveau des riverains de la **cité de Fromainville**.
    - **Mode Dégradé** : une concentration d'odeur inférieure à **3 uo/m<sup>3</sup>** est observée au niveau des **riverains au Nord de la Seine**, et **de l'ordre de 5 uo/m<sup>3</sup>** au niveau des riverains de la **cité de Fromainville**.

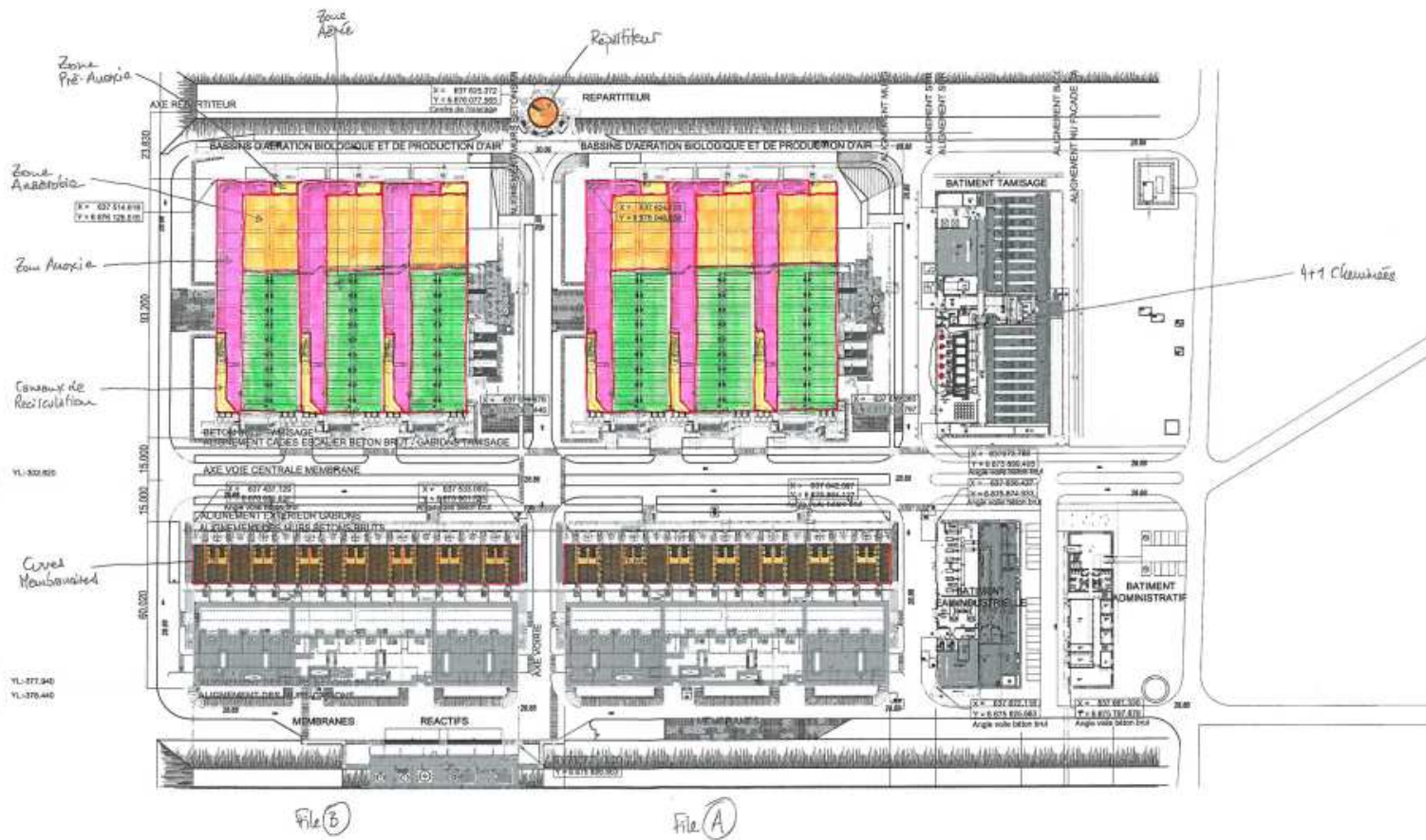
Rev. 2

---

**ANNEXE 1 : Plans de masse**

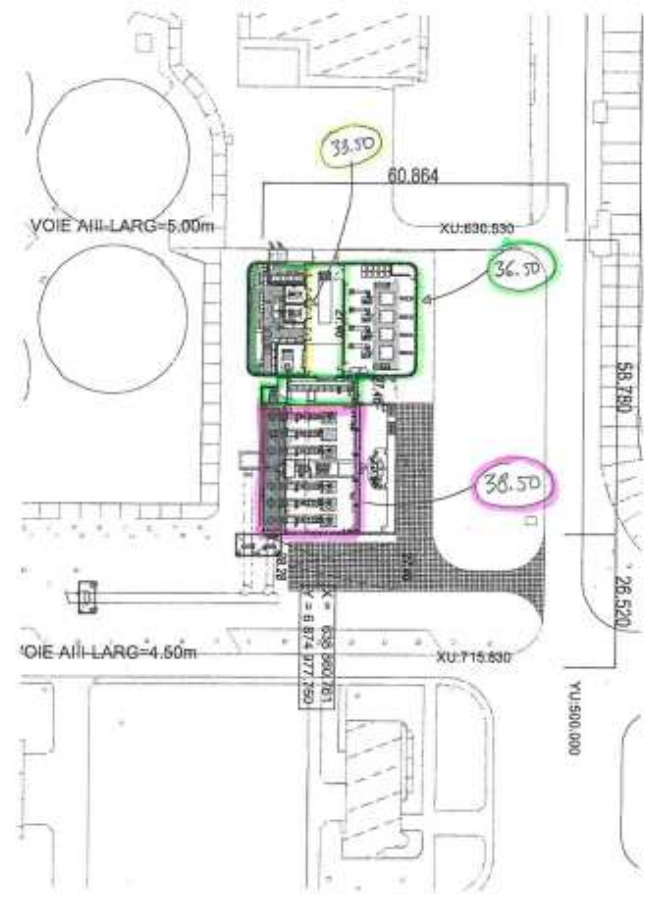
Reperage Sources Odeurs Zone Complément Biofiltration

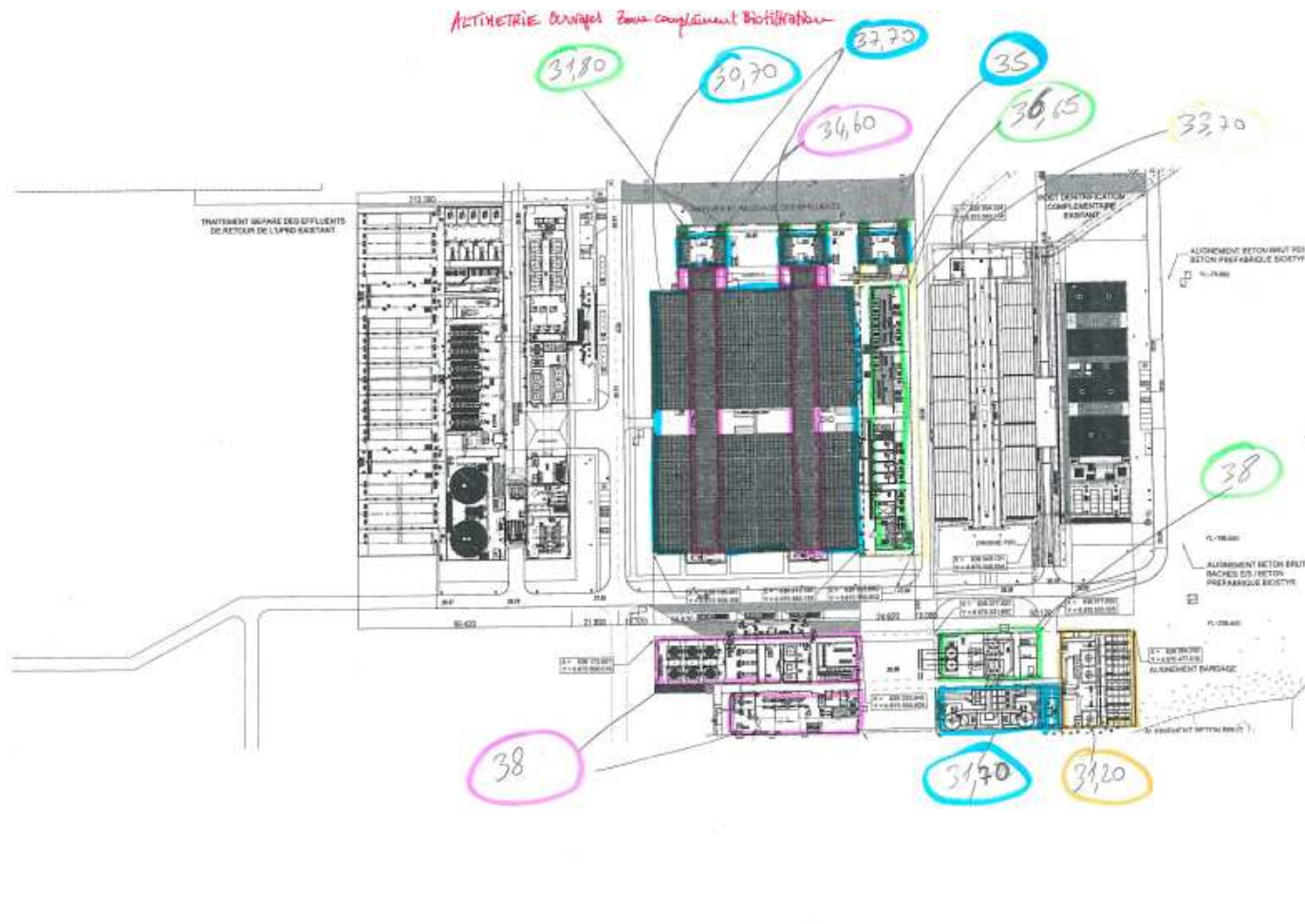


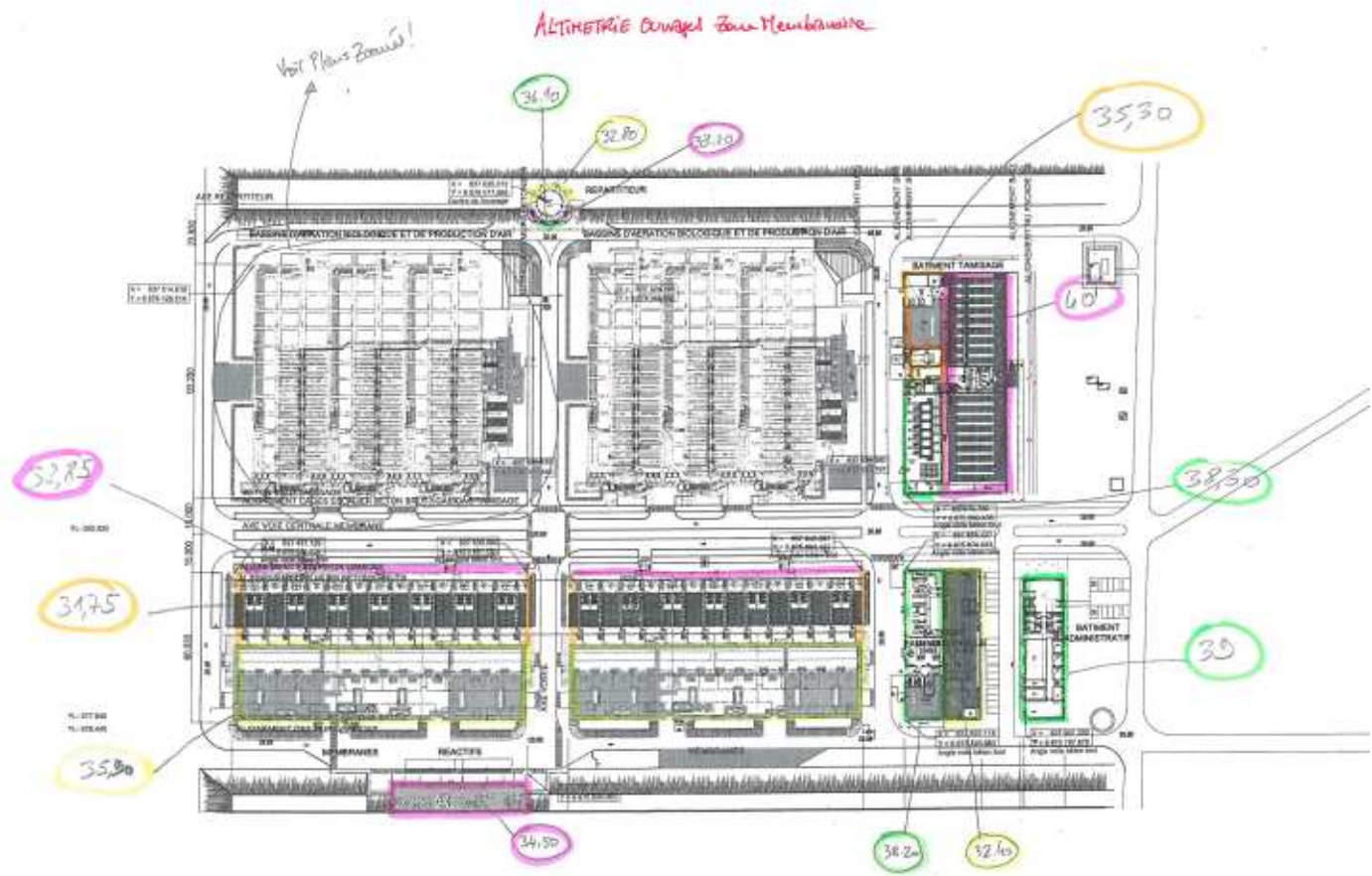




ALTIMETRIE Ouvrages Pompage P5

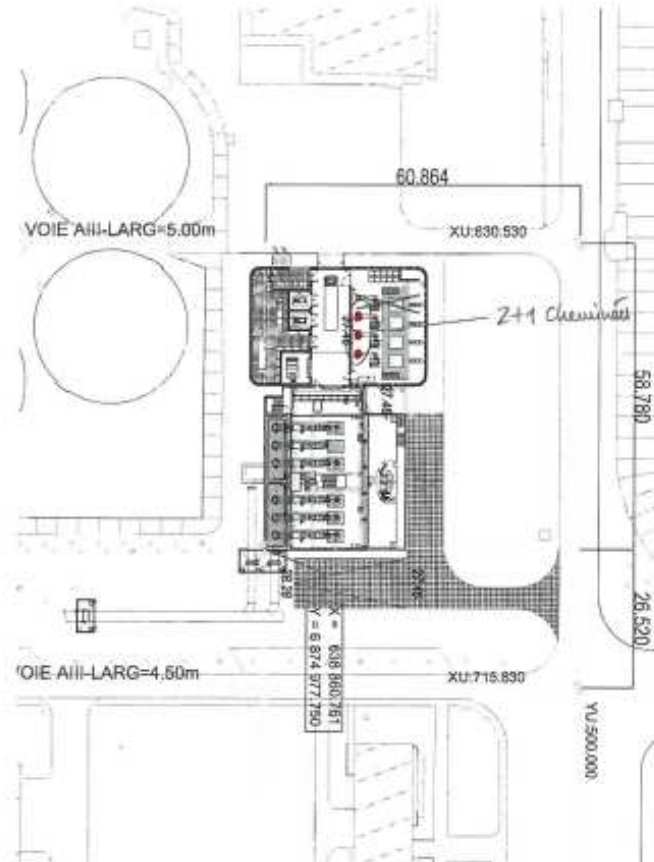








REFERASE Source Odours Pompeje P5





## **ANNEXE 2 : Formulation mathématique**

La formulation mathématique dans le code CFX est basée sur les équations générales de Navier-Stokes :  
Équation de conservation de la masse (continuité) :

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{U}) = 0$$

Équation de conservation de la quantité de mouvement :

$$\frac{\partial \rho \mathbf{U}}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{U} \otimes \mathbf{U}) - \nabla \cdot (\mu_{eff} \nabla \mathbf{U}) = \nabla p' + \nabla \cdot (\mu_{eff} \nabla \mathbf{U})^T + \mathbf{B}$$

où B représente les forces externes au système, et

$$p' = p + \frac{2}{3} \rho k \quad \text{l'énergie cinétique turbulente,}$$

$$\mu_{eff} = \mu + \mu_t \quad \text{la viscosité effective}$$

$$\mu_t = C_\mu \rho \frac{k^2}{\varepsilon} \quad \text{la viscosité turbulente}$$

CFX dispose de plusieurs modèles de turbulence de type k- $\varepsilon$  (standard, RNG...) et de modèles aux tensions de Reynolds. Le modèle de turbulence utilisé ici est le modèle standard k- $\varepsilon$  :

k : énergie cinétique turbulente et  $\varepsilon$  le taux de dissipation.

$$\frac{\partial \rho k}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{U} k) - \nabla \cdot \left( \frac{\mu_{eff}}{\sigma_k} \nabla k \right) = P - \rho \varepsilon$$

$$\frac{\partial \rho \varepsilon}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{U} \varepsilon) - \nabla \cdot \left( \frac{\mu_{eff}}{\sigma_\varepsilon} \nabla \varepsilon \right) = \frac{\varepsilon}{k} (C_{A1} P - C_{A2} \rho \varepsilon)$$

où :

$$P_k = \mu_t \nabla \mathbf{U} \cdot (\nabla \mathbf{U} + \nabla \mathbf{U}^T) - \frac{2}{3} \nabla \cdot \mathbf{U} (3 \mu_t \nabla \cdot \mathbf{U} + \rho k) + P_{kb}$$

avec :

$$P_{kb} = -\frac{\mu_t}{\rho \sigma_p} \mathbf{g} \cdot \nabla \rho$$

Pour les odeurs, une équation supplémentaire de transport a été résolue. Elle est de la forme :

$$\frac{\partial \rho \phi}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{U} \phi - \Gamma_{eff} \nabla \phi) = S$$

où :

$$\Gamma_{eff} = \Gamma + \Gamma_t \quad \text{Coefficient d'échange}$$

et S les conditions aux limites d'émission d'odeurs.

---

**ANNEXE 3 : Méthodologie pour la modélisation de la dispersion atmosphérique**

## Les processus pris en compte

La dispersion d'un gaz dans l'atmosphère se caractérise par 2 processus : le transport par convection et celui par diffusion :

La **convection forcée** induite par le vent atmosphérique, modélisée d'après les conditions météorologiques.

La **convection naturelle** prenant en compte les effets de flottabilité en fonction de la masse volumique, fonction du gradient de température.

La **diffusion** induite par la turbulence, modélisée avec le modèle k-ε modifié en fonction de constantes données par Duynkerke.

Le processus par convection est lié aux conditions météorologiques dont les paramètres jouant sur la dispersion sont :

la **direction et la vitesse du vent**, agissant sur le processus de transport par convection, ainsi que sur la turbulence,

la **stabilité de l'atmosphère**, qui joue également sur la turbulence,

la **hauteur de la couche de mélange**, bloquant ou freinant la diffusion verticale du polluant.

## La couche limite atmosphérique

### Description

La couche limite atmosphérique (C.L.A.) est une couche d'atmosphère à l'intérieur de laquelle la vitesse du vent varie d'une valeur quasi-nulle à proximité du sol, jusqu'à sa valeur à haute altitude. Son épaisseur est ordinairement de quelques centaines de mètres.

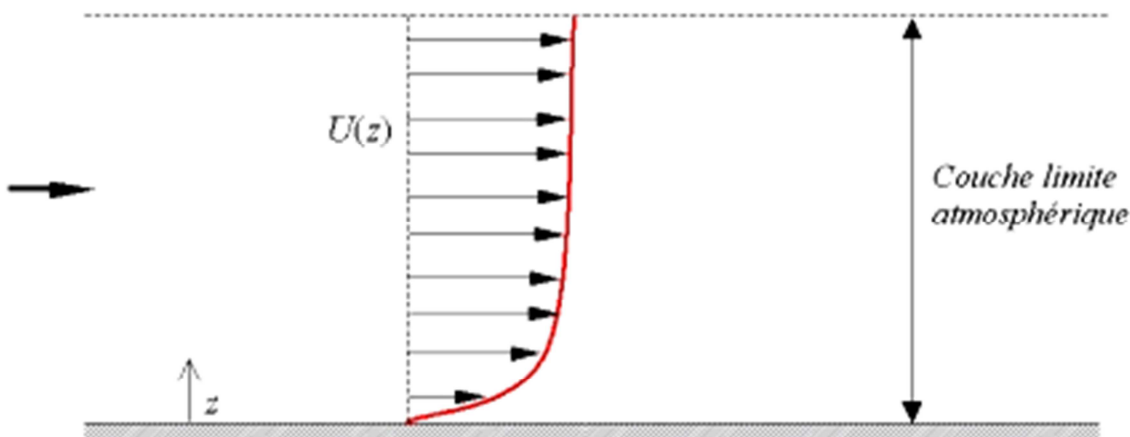


Figure A2.1 : La couche limite atmosphérique.

C'est à l'intérieur de cette couche que va se faire la dispersion : c'est donc le comportement de l'atmosphère dans cette couche qui nous intéresse. Celui-ci dépend de la **rugosité du sol**, de la **stabilité de l'atmosphère**, et de la **vitesse du vent**.

### Rugosité du sol

La rugosité du sol est définie par le paramètre de rugosité  $Z_0$ , qui a la dimension d'une longueur. Selon le type de sol sur lequel s'écoule le fluide, il prend approximativement les ordres de grandeur suivants :

- Campagne : de l'ordre de 0,1 m
- Ville : de l'ordre de 1 m
- Matériaux des bâtiments : 0,001 m

### Stabilité de l'atmosphère

Le gradient vertical de température au sein de la C.L.A. peut fortement varier en fonction des conditions météorologiques : ensoleillement, présence de nuages, jour ou nuit... La température de l'air peut donc diminuer plus ou moins vite, et même parfois augmenter, à mesure que l'on s'élève en altitude. Ceci détermine ce que l'on appelle la stabilité verticale de l'atmosphère.

Ce phénomène peut être expliqué ainsi : si on considère une particule d'air que l'on élève rapidement par rapport à sa position initiale, celle-ci va subir une détente adiabatique. Du fait de cette détente, sa température va diminuer, d'environ  $0,01^{\circ}\text{C}/\text{m}$ .

Ainsi, si le gradient de température de l'atmosphère est supérieur à  $-0,01^{\circ}\text{C}/\text{m}$ , la particule d'air va se retrouver, à sa nouvelle altitude, plus froide et donc plus dense que l'air environnant ; et elle aura donc naturellement tendance à redescendre jusqu'à sa position initiale. Ainsi, dans ce type d'atmosphère, les mouvements verticaux sont atténués : c'est une atmosphère stable.

Inversement, si le gradient de température de l'atmosphère est inférieur à  $-0,01^{\circ}\text{C}/\text{m}$ , la particule sera alors plus chaude et moins dense que l'air environnant, et aura tendance à continuer de s'élever. Dans ce type d'atmosphère, les mouvements verticaux sont amplifiés : c'est une atmosphère instable.

Lorsque le gradient de température est à peu près égal à  $-0,01^{\circ}\text{C}/\text{m}$  et que les mouvements verticaux ne sont ni atténués ni amplifiés, l'atmosphère est dite neutre.

En pratique, dans le cas stable, on observe une stratification de l'atmosphère par couches horizontales immobiles l'une par rapport à l'autre. La turbulence y est faible.

Dans le cas instable en revanche, on observe de mouvements verticaux qui s'organisent en courants descendants et ascendants : c'est la convection. La turbulence de l'atmosphère est forte.

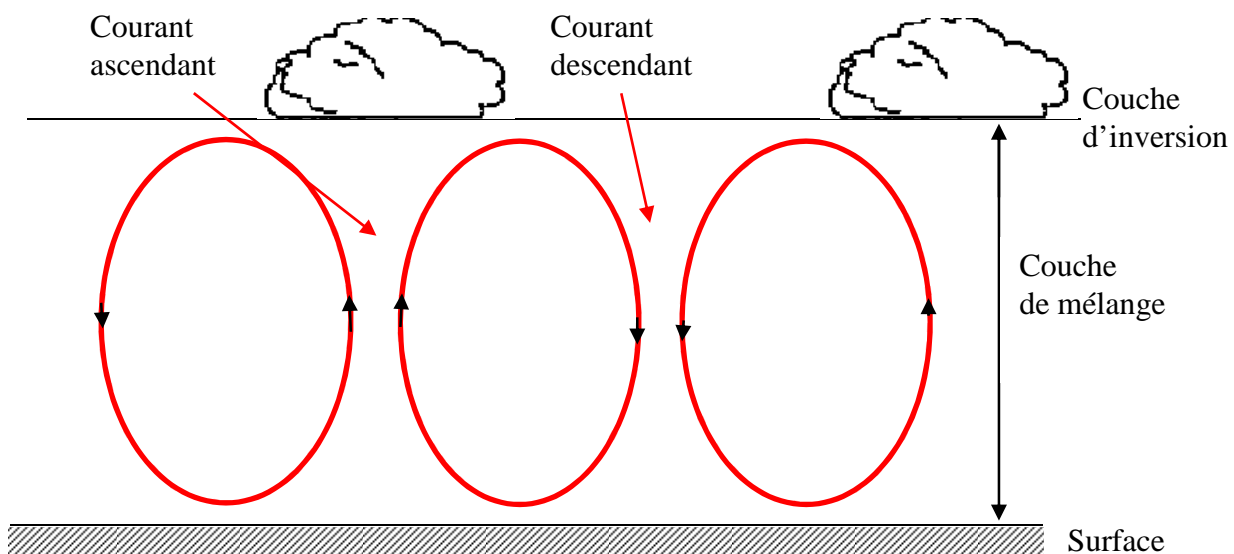


Figure A2.2 : Le phénomène de convection.

Il est à noter que tout cela ne concerne qu'une couche de l'atmosphère appelée couche de mélange, d'épaisseur sensiblement égale à celle de la C.L.A

Pour distinguer plus précisément les états de stabilité de l'atmosphère, on utilise les classes de Pasquill-Gifford qui distinguent six états de stabilité de l'atmosphère :

- **A : Très fortement instable**
- **B : Fortement instable**
- **C : Instable**
- **D : Neutre**
- **E : Stable**
- **F : Fortement stable**

### **Profil de vitesse du vent**

Dans la littérature, il existe plusieurs formulations pour caractériser le profil de vitesse du vent dans la C.L.A. Les plus utilisées sont la loi logarithmique et la loi en puissance. La loi logarithmique est explicitée dans le paragraphe suivant.

### **Loi logarithmique**

En général, les mesures de vent effectuées par les réseaux météorologiques ne sont faites qu'à une seule altitude (10 m le plus souvent) ; le problème qui se pose est donc de pouvoir en déduire la vitesse du vent à une autre altitude, c'est à dire connaître le profil de vitesse à l'intérieur de la couche limite atmosphérique. Cela est possible grâce à la théorie de la similitude de la couche limite établie par Monin et Obukov (1954). Celle-ci donne la variation de la vitesse du vent en fonction de l'altitude :

$$u(Z) = \frac{u_*}{\kappa} \left[ \ln\left(\frac{Z}{Z_0}\right) - \Psi\left(\frac{Z}{L}\right) \right]$$

avec:

- $\kappa$  : la constante de Von Karman ( $\kappa=0,41$ )

- $u_*$  : la vitesse de frottement liée à la perturbation provoquée par les accidents de surface

- $\Psi$  : une fonction universelle de  $\left(\frac{Z}{L}\right)$

- $L$  : la longueur de Monin-Obukov. Ce paramètre possède la propriété suivante:  $1/L$  est négatif pour une atmosphère instable, positif dans le cas stable et nul pour un cas neutre.  $L$  est défini par une expression dépendant notamment de  $u_*$ , de la température et d'un flux de chaleur, mais il peut être déterminé de façon plus simple à partir de la vitesse du vent et de la classe de stabilité.

Connaissant  $L$  par cette méthode, ainsi que la vitesse du vent à 10 m notée  $u_{10}$  et la rugosité du sol  $Z_0$ , on peut alors trouver la valeur de  $u_*$  en résolvant l'équation suivante, déduite directement de la précédente :

$$u_{10} = \frac{u_*}{\kappa} \left[ \ln\left(\frac{10}{Z_0}\right) - \Psi\left(\frac{10}{L}\right) \right]$$

$\Psi\left(\frac{Z}{L}\right)$  est calculée suivant la classe de stabilité : instable, neutre et stable.