

EODD

Projet Data Hills



Etude d'impact sur la qualité de l'air des rejets de groupes électrogènes

Références : Rapport n°2024.054

Version : V6 – septembre 2024

Référence du projet :

Titre	Etude de dispersion des rejets de groupes électrogènes – Projet Data Hills
N° rapport	2024.054
N° projet	L-002154
Sous-traitant	-

Intervenant :

Rédacteurs(s)	Aude HERVOUIN - Cheffe de projet Qualité de l'air
Relecteur	Anne-Sophie SAFFRE - Responsable de pôle Diagnostics industriels
Référent	Anne-Sophie SAFFRE - Responsable de pôle Diagnostics industriels

Révisions du document

Version	Date	Modifications
1	19/06/2024	Version initiale
2	24/06/2024	Evolution du débit à l'émission et intégration des remarques du Client
3	03/07/2024	Intégration des remarques du Client
4	09/07/2024	Suppression de paragraphes demandée par le Client
5	04/09/2024	Ajout d'un scénario supplémentaire
6	11/09/2024	Intégration des remarques du Client

SOMMAIRE

1	CADRE DE L'ETUDE.....	5
2	SCENARIOS RETENUS ET TERMES SOURCES	6
3	ETUDE DE LA DISPERSION ATMOSPHERIQUE	8
3.1	Données d'entrée	8
3.1.1	Domaine d'étude	8
3.1.2	Topographie.....	9
3.1.3	Emissions	9
3.1.4	Obstacles	10
3.1.5	Météorologie	11
3.2	Présentation du logiciel de dispersion et paramétrages.....	13
3.2.1	Présentation générale du logiciel	13
3.2.2	Paramétrages du modèle	15
3.3	Résultats.....	16
3.3.1	Présentation des résultats	16
3.3.2	Réglementation de la qualité de l'air	17
3.3.3	Scénario 1 : fonctionnement des groupes électrogènes pendant 1h	18
3.3.4	Scénario 2 : fonctionnement des groupes électrogènes pendant 24h	21
3.3.5	Scénario 3 : fonctionnement des groupes électrogènes pendant 1 semaine	23
4	INCERTITUDES	25
4.1	Incertitudes liées au modèle : validation du modèle MSS	25
4.2	Incertitudes liées aux données d'entrée.....	26
4.2.1	Incertitudes liées aux émissions	26
4.2.2	Incertitudes liées aux mesures météorologiques.....	26
4.2.3	Incertitudes liées aux paramètres du modèle	26
5	CONCLUSION.....	27
	ANNEXE	29
	Annexe 1 : Description du logiciel MSS	30

TABLE DES ILLUSTRATIONS

TABLEAUX

Tableau 1 : caractéristiques des rejets et émissions.....	6
Tableau 2 : condition météorologique moyenne retenue	12
Tableau 3 : paramètres de calcul pour l'espèce étudiée	15
Tableau 4 : valeur réglementaire de qualité de l'air et valeur guide de l'OMS 2021	18

FIGURES

Figure 1 : localisation du site	7
Figure 2 : localisation des points de rejet.....	7
Figure 3 : carte du domaine d'étude	8
Figure 4 : topographie du domaine d'étude	9
Figure 5 : bâtiments sur la zone d'étude	10
Figure 6 : visualisations 3D des obstacles	11
Figure 7 : rose des vents générale – 2020-2022.....	12
Figure 8 : méthodologie mise en œuvre	14
Figure 9 : visualisation des obstacles par le logiciel MSS	15
Figure 10 : localisation des points cibles	17
Figure 11 : évolution des concentrations moyennes en NO ₂ sur 10 minutes (µg/m ³)	18
Figure 12 : concentrations moyennes horaires en NO ₂ (µg/m ³)	19
Figure 13 : carte de concentration en moyenne horaire en NO ₂ (µg/m ³)	20
Figure 14 : concentrations moyennes journalières en NO ₂ (µg/m ³)	21
Figure 15 : carte de concentration en moyenne journalière en NO ₂ (µg/m ³).....	22
Figure 16 : concentrations moyennes hebdomadaires en NO ₂ (µg/m ³)	23
Figure 17 : carte de concentration en moyenne hebdomadaire en NO ₂ (µg/m ³)	24
Figure 18 : lignes de courant et concentration en SF ₆ à 4h10, 4h20 et 4h30.....	25

1 CADRE DE L'ETUDE

Suite aux demandes complémentaires des services de l'état au sujet de l'évaluation des impacts des groupes électrogènes de secours du projet Data Hills sur la qualité de l'air, EODD consulte SUEZ Aria Technologies pour réaliser des simulations 3D de l'évolution du panache provenant de ces groupes électrogènes.

Le présent rapport présente les résultats des calculs des concentrations dans l'air imputables aux rejets canalisés du projet Data Hills. Compte tenu du contexte urbain, les simulations ont été effectuées à l'aide du logiciel ARIA Impact 3D, modèle 3D permettant de prendre en compte les bâtiments et de suivre l'évolution du panache.

Ce rapport a été établi sur la base des informations transmises à SUEZ Aria Technologies, des données (scientifiques ou techniques) disponibles et objectives de la réglementation, en vigueur au moment de la réalisation du dossier.

La responsabilité de SUEZ Aria Technologies ne pourra être engagée si les informations qui lui ont été fournies sont incomplètes ou erronées.

Sauf mention contraire, l'intégralité des cartographies de ce document sont la propriété de SUEZ Aria Technologies.

2 SCENARIOS RETENUS ET TERMES SOURCES

Les émissions canalisées d'oxydes d'azote (NOx) sont associées aux 111 groupes électrogènes de secours prévus sur le site, répartis sur 3 bâtiments.

Les trois scénarios retenus ont été choisis par le Client :

- Scénario 1 : fonctionnement des groupes électrogènes pendant 1h ;
- Scénario 2 : fonctionnement des groupes électrogènes pendant 24h ;
- Scénario 3 : fonctionnement des groupes électrogènes pendant 1 semaine.

Les informations relatives aux rejets ont été transmises par EODD. Les caractéristiques des points de rejets ainsi que leurs émissions sont détaillées dans le Tableau 1. Le site est localisé sur la Figure 1 et les points de rejets sont localisés sur la Figure 2.

Tableau 1 : caractéristiques des rejets et émissions

Caractéristiques	Unités	Cheminées
Nombre de cheminées	-	111 soit 37 par bâtiment
Hauteur par rapport au sol	m	33,2
Diamètre au niveau de l'éjection	m	0,9
Température des rejets	°C	482
Vitesse d'éjection (au débouché)	m/s	25
Débit des gaz à 15 % d'O ₂	Nm ³ /h	33 048
Concentration en NOx à l'émission à 15 % d'O ₂	mg/Nm ³	112
Flux à l'émission en NOx	kg/h	3,70

Les émissions en NOx ont été assimilées à 100 % au NO₂, substance réglementée au niveau de la qualité de l'air : c'est une approche majorante.

Figure 1 : localisation du site

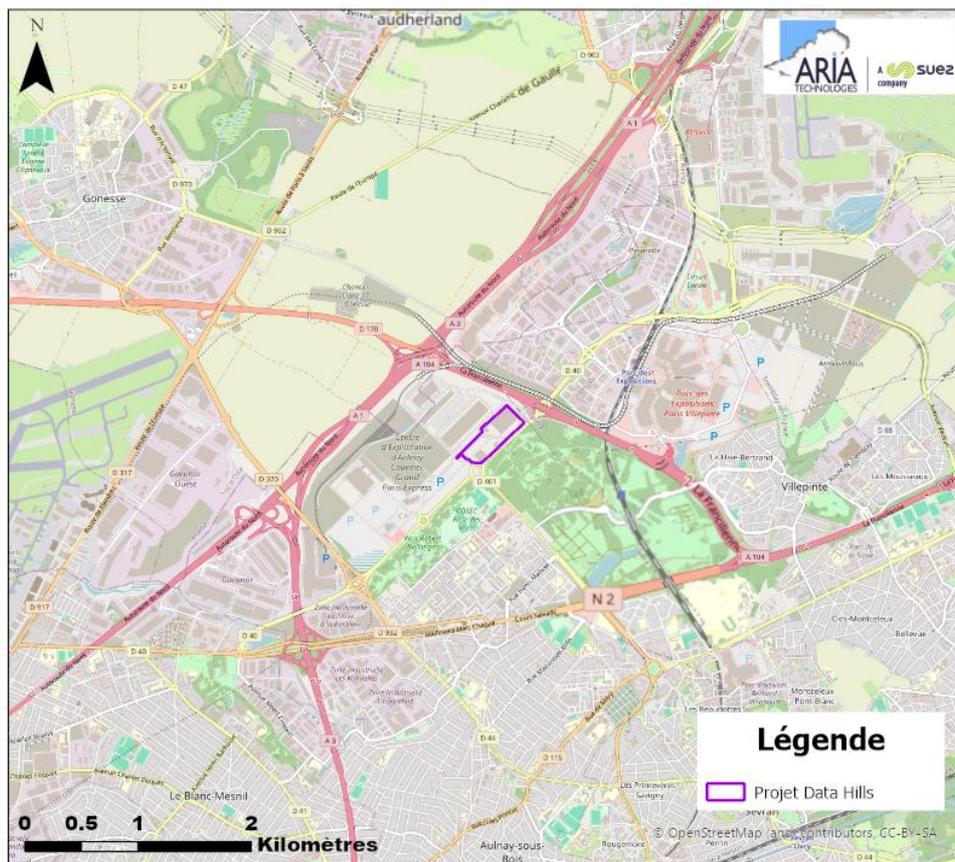


Figure 2 : localisation des points de rejet



3 ETUDE DE LA DISPERSION ATMOSPHERIQUE

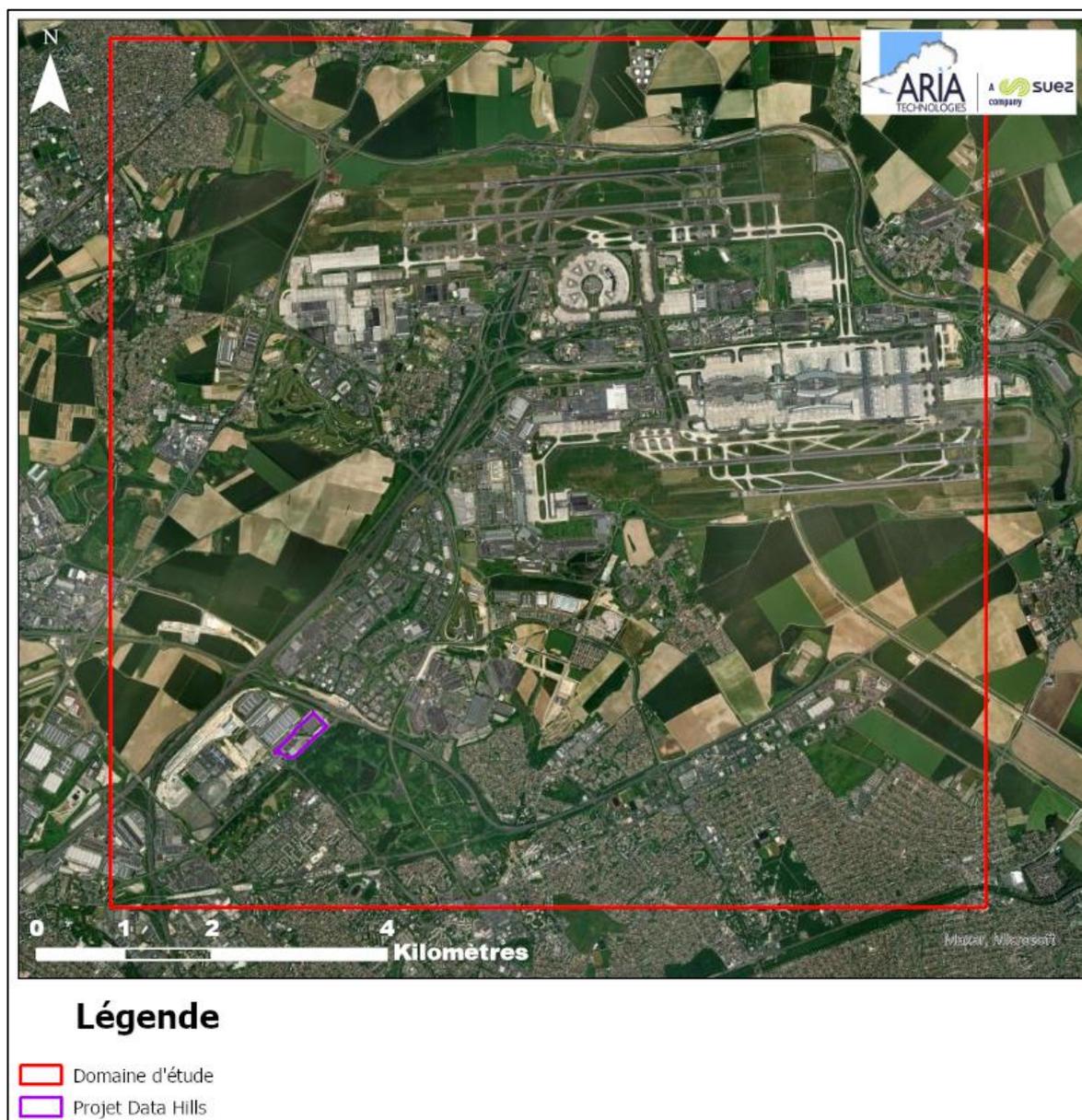
Afin d'estimer les concentrations en dioxyde d'azote dans l'environnement attribuables au projet lorsque les groupes électrogènes fonctionnent, une étude de dispersion a été réalisée.

3.1 DONNEES D'ENTREE

3.1.1 Domaine d'étude

Le domaine d'étude retenu est un carré de 10 km de côté, il est représenté par un carré rouge sur la Figure 3. Le projet Data Hills se trouve au sud-ouest de celui-ci.

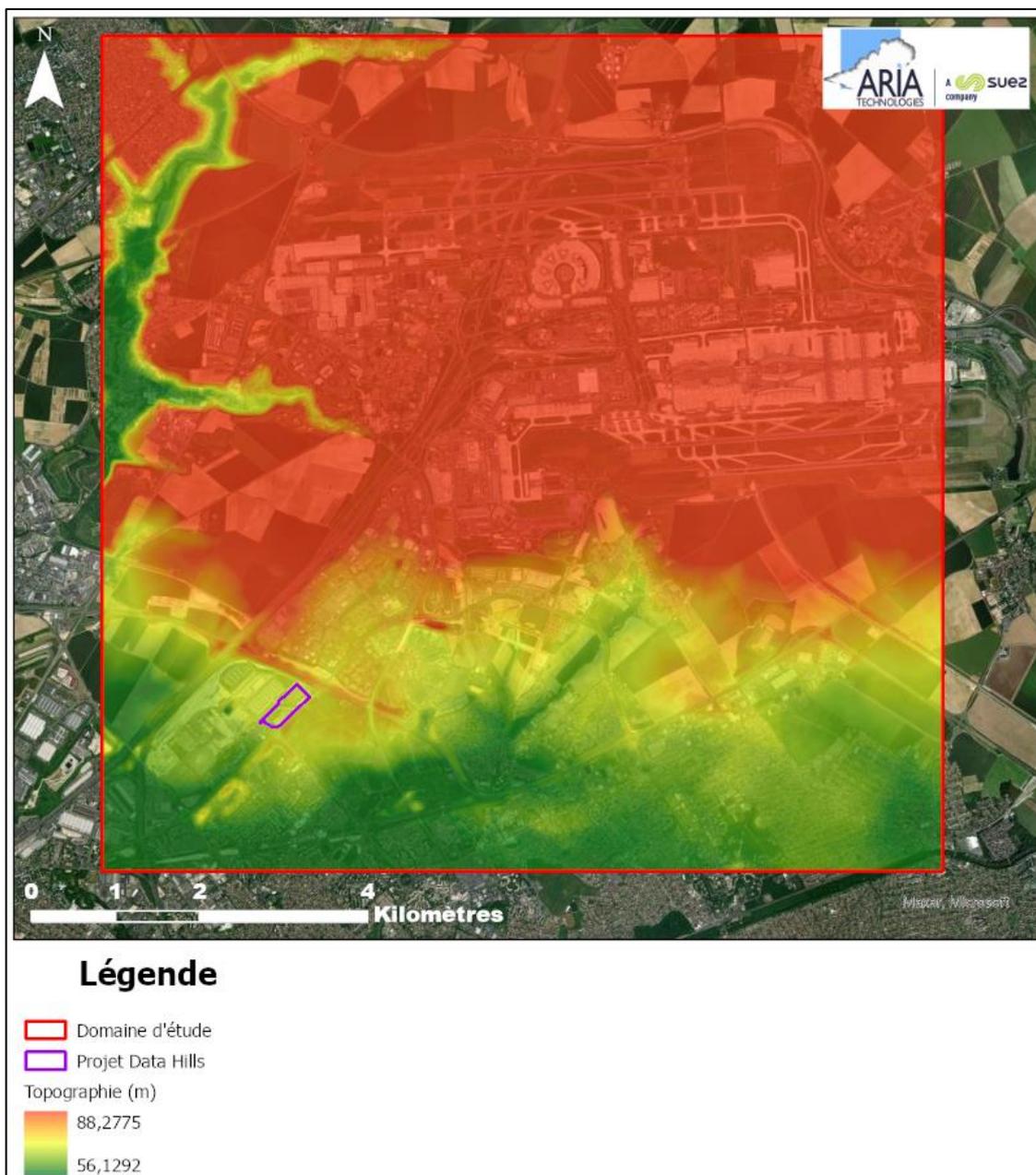
Figure 3 : carte du domaine d'étude



3.1.2 Topographie

La topographie est issue d'un Modèle Numérique de Terrain au pas de 5 mètres (source : IGN). La Figure 4 présente une vue 2D de la topographie sur le domaine d'étude. L'unité est le mètre NGF (Nivellement Général de la France). Le relief du domaine d'étude varie entre 56 et 88 mètres environ.

Figure 4 : topographie du domaine d'étude



3.1.3 Emissions

Les émissions prises en compte correspondent aux termes sources présentés dans le Tableau 1, paragraphe 2.

A noter : les NOx ne sont pas réglementés au niveau de la qualité de l'air, seul le NO₂ fait l'objet d'une réglementation. Dans la présente étude, les NOx sont ainsi assimilés à 100 % à du NO₂ (substance réglementée au niveau de la qualité de l'air), correspondant à une hypothèse majorante.

3.1.4 Obstacles

Les informations concernant les obstacles (bâti existant) sont issues de la BD TOPO® (décembre 2023) de l'IGN. Les bâtiments du projet Data Hills, ainsi que ceux du projet Data Fifty, à proximité immédiate du site, ont été ajoutés. Les plans de masse des deux projets ont été fournis par le Client.

La Figure 5 présente les obstacles de la zone d'étude et la Figure 6 présente des vues 3D des bâtiments.

Figure 5 : bâtiments sur la zone d'étude



Figure 6 : visualisations 3D des obstacles



3.1.5 Météorologie

Les paramètres les plus importants pour les problèmes liés à la pollution atmosphérique sont : la direction du vent, la vitesse du vent, la température extérieure, la pluviométrie et la stabilité de l'atmosphère.

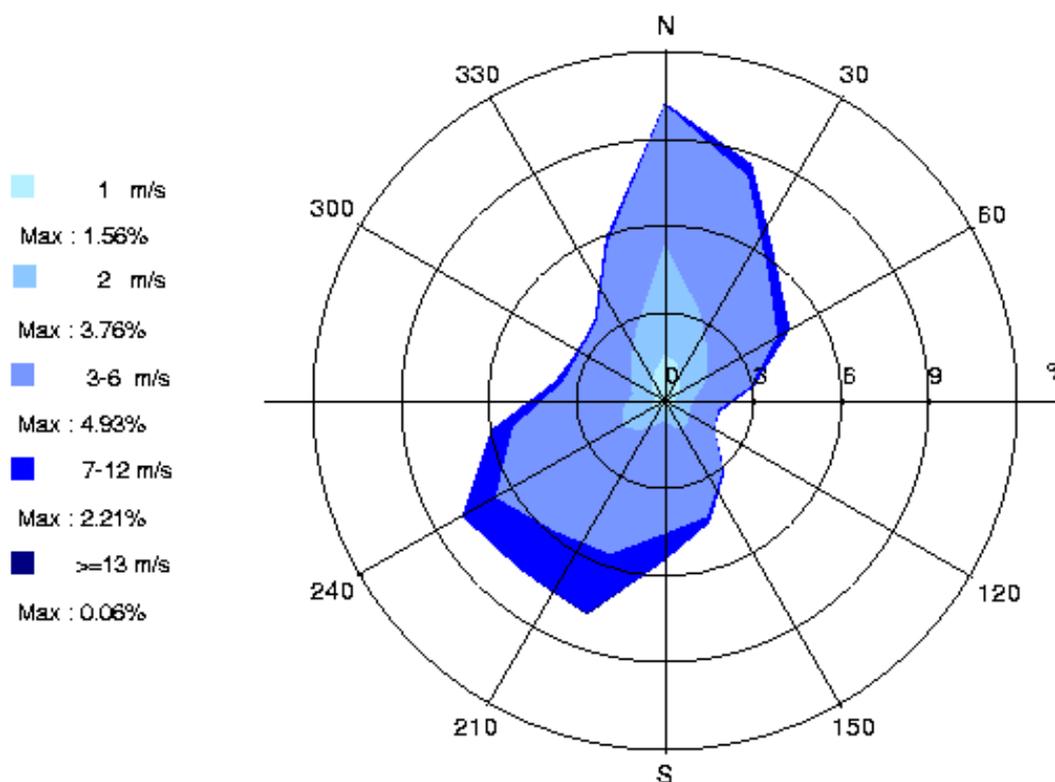
Ces paramètres sont variables dans le temps et dans l'espace. Ils résultent de la superposition de phénomènes atmosphériques à grande échelle (régime cyclonique ou anticyclonique) et de phénomènes locaux (influence de la rugosité, de l'occupation des sols et de la topographie).

3.1.5.1 Données météorologiques utilisées

Les données météorologiques utilisées sont des mesures tri-horaires (1 mesure toutes les 3 heures) sur la période du 01/01/2020 au 31/12/2022. Ces données ont été fournies par le Client. Elles proviennent de la station du Bourget, située à environ 4 km à l'ouest du site et représentative des conditions météorologiques locales.

La Figure 7 présente la rose des vents générale entre 2020 et 2022 (du 01/01/2020 au 31/12/2022).

Figure 7 : rose des vents générale – 2020-2022



3.1.5.2 Conditions météorologiques retenues

- **Scénario 1 : fonctionnement des groupes électrogènes pendant 1h**

Pour ce scénario, la condition météorologique retenue correspond à une condition moyenne sur les trois années étudiées : elle a été choisie sur la base de l'analyse des données météorologiques entre 2020 et 2022.

Cette condition météorologique, présentée dans le Tableau 2, est considérée constante au cours de la simulation (1h de fonctionnement des installations).

Tableau 2 : condition météorologique moyenne retenue

Condition météorologique	Vitesse du vent (m/s)	Direction du vent (degrés)	Température (°C)	Pluie (mm)	Classe de Pasquill
Moyenne	3,5	190	13,0	0,07	4

- **Scénario 2 : fonctionnement des groupes électrogènes pendant 24h**

Les conditions météorologiques retenues pour ce second scénario correspondent aux données météorologiques de la journée la plus pénalisante, journée retenue sur la base des résultats des premières modélisations réalisées par EODD (modélisations gaussiennes). Il s'agit de la journée entraînant les concentrations moyennes journalières les plus importantes. Les conditions météorologiques varient donc toutes les heures au cours de la simulation.

- **Scénario 3 : fonctionnement des groupes électrogènes pendant 1 semaine**

Les conditions météorologiques retenues pour ce troisième scénario correspondent aux données météorologiques de la semaine incluant la journée la plus pénalisante. Les conditions météorologiques varient donc toutes les heures au cours de la simulation sur une durée de 7 jours.

3.2 PRESENTATION DU LOGICIEL DE DISPERSION ET PARAMETRAGES

3.2.1 Présentation générale du logiciel

Deux mécanismes sont prépondérants dans la dispersion des polluants atmosphériques :

- le transport du polluant par le vent (influence des obstacles et des conditions climatiques) ;
- la diffusion du polluant par la turbulence : diffusion (autour de l'axe de propagation) par la turbulence qui reflète les fluctuations du panache par rapport au vent moyen (influence des émissions et de la structure thermique).

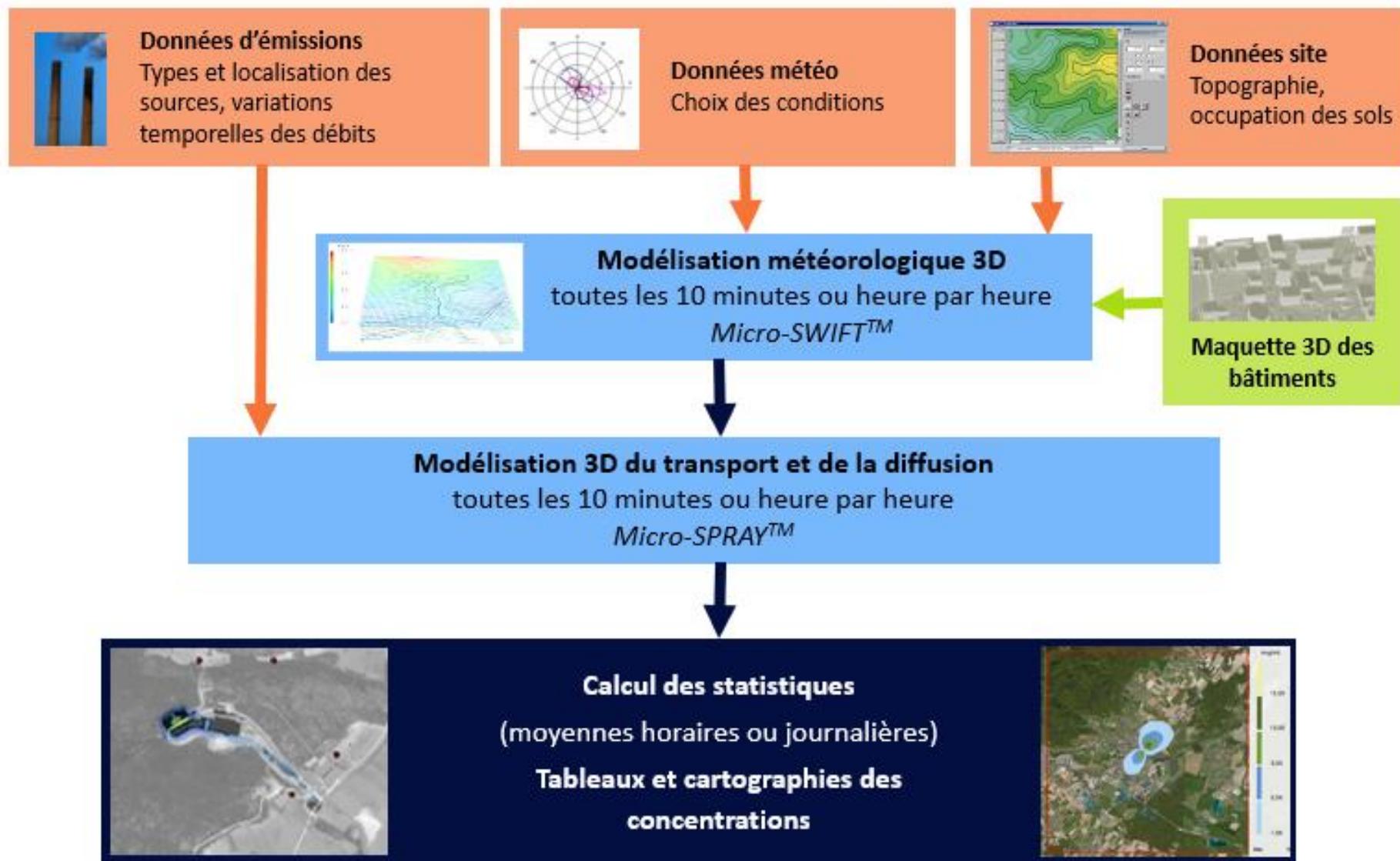
Pour les simuler et compte-tenu du contexte urbain et de la présence de bâtiments autour du site, nous avons utilisé le logiciel **ARIA Impact 3D** en mettant en œuvre le modèle 3D **PMSS** (ou Parallel Micro SWIFT-SPRAY). Contrairement aux modèles gaussiens, ce modèle permet de prendre en compte avec précision les champs météorologiques quelles que soient les conditions atmosphériques et la nature du relief. Il est donc particulièrement adapté à des modélisations de sites complexes, accidentés, ou en milieu urbain, présentant des caractéristiques météorologiques particulières. Grâce à un temps de calcul relativement faible, cet outil permet de représenter les distributions de concentration en présence d'obstacles et d'accéder à l'impact à court terme (situation accidentelle) ou à long terme (moyenne annuelle, centile) des émissions.

PMSS (description technique du logiciel en Annexe 1) repose sur la mise en œuvre de :

- **SWIFT** : modèle de calcul de champs tridimensionnels de vent et de température prenant notamment en compte l'influence du relief, de l'occupation des sols et des bâtiments. Il a été validé sur de nombreuses campagnes de mesures réalisées notamment par le US Department of Defence (Defence and Threat Response Agency) ainsi que sur des mesures en soufflerie atmosphérique ;
- **SPRAY** : modèle lagrangien tridimensionnel de type Monte-Carlo permettant de calculer la dispersion de polluant à partir du champ de vent tridimensionnel calculé par SWIFT, en utilisant un grand nombre de pseudo-particules (le polluant est simulé par des "particules virtuelles").

La Figure 8 présente la méthodologie mise en œuvre pour déterminer les concentrations dans l'air.

Figure 8 : méthodologie mise en œuvre



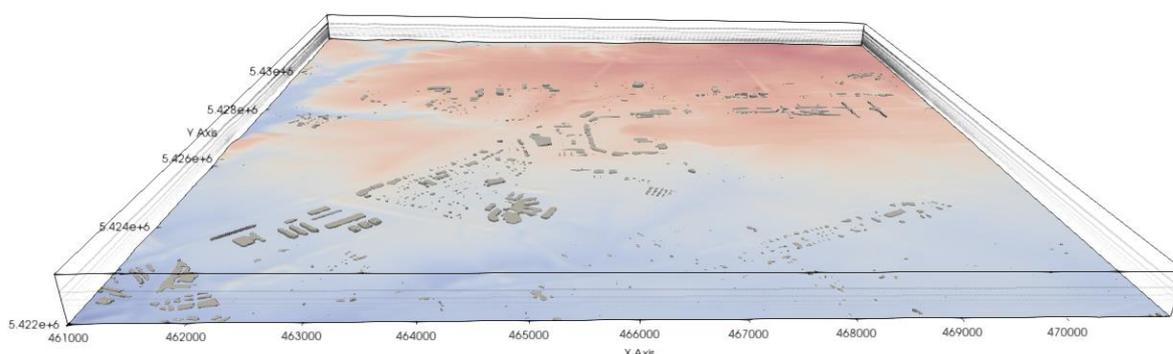
3.2.2 Paramétrages du modèle

3.2.2.1 Grille de calcul

Le but étant de modéliser les obstacles présents dans la zone d'étude et pouvant influencer sur les écoulements d'air, ces obstacles ont été modélisés en fonction de leur volume et surtout de leur hauteur. Ces bâtiments ont été pris en compte avec une résolution de 15 mètres dans le plan horizontal et avec une hauteur qui dépend de la répartition des niveaux verticaux. Pour les simulations de la dispersion des polluants, il a été défini 25 niveaux verticaux répartis entre 0 et 520 mètres d'altitude. La hauteur de maille la plus petite est de 2,1 mètres près du sol et la plus grande maille, au niveau du plafond du domaine, atteint 190 mètres.

La Figure 9 présente les obstacles du domaine d'étude vus par le logiciel de dispersion MSS et posés sur la topographie, ainsi que les niveaux verticaux retenus pour les calculs.

Figure 9 : visualisation des obstacles par le logiciel MSS



3.2.2.2 Autres paramètres de calcul

Les simulations ont été réalisées pour des états stationnaires.

Les valeurs des différents paramètres de calcul pouvant influencer la qualité des résultats de modélisation sont :

- Pas de temps d'émissions des particules : 3 s ;
- Nombre de particules émises par pas de temps : 5 000 ;
- Durée de moyennage : 600 secondes pour le scénario 1 et 3 600 secondes pour les scénarios 2 et 3.

Le Tableau 3 résume les valeurs utilisées dans le cadre de cette étude pour le calcul des concentrations.

Tableau 3 : paramètres de calcul pour l'espèce étudiée

	Phase du polluant	Diamètre de particule (µm)	Vitesse de dépôt (m/s)	Masse volumique (kg/m³)	Coefficient de lessivage (s ⁻¹)
NO _x assimilés au NO ₂	Gaz	0	0	1	1.10 ⁻⁵

3.3 RESULTATS

Les résultats des simulations présentés dans cette partie constituent en tout état de cause des scénarios fortement majorants. En effet, pour rappel, les émissions en sortie de cheminées sont considérées comme étant constituées de 100 % de NOx exprimés en équivalent NO₂, alors que la réglementation NO₂ ne concerne pas les NOx.

Afin de se rapporter à des concentrations en NO₂ dans l'environnement, les résultats en NOx eq. NO₂ obtenus pourraient être convertis en NO₂ sur la base d'une publication scientifique¹.

Compte tenu des niveaux d'ozone mesurés par Airparif au niveau de la station de Tremblay-en-France (à savoir 50 µg/m³ en moyenne annuelle sur 2023), station la plus proche du site mesurant ce paramètre, un ratio NO₂/NOx de 0,1 pourrait être appliqué aux concentrations NOx eq. NO₂.

3.3.1 Présentation des résultats

Les résultats sont exprimés en concentration en moyenne horaire (scénario 1), journalière (scénario 2) ou hebdomadaire (scénario 3) et sont donnés sous forme de cartes et de graphiques. Ces résultats concernent la contribution de l'ensemble des rejets étudiés.

L'unité retenue pour exprimer les concentrations de polluant dans l'air est le µg/m³.

Les résultats sont également présentés au niveau :

- du point géographique le plus exposé du domaine d'étude à chaque échéance pour le scénario 1 ;
- du point géographique le plus exposé en moyenne sur la durée des rejets (1h, 24h ou 1 semaine) ;
- de points d'intérêt se trouvant dans l'axe du panache.

L'ensemble des points d'intérêt définis par le Client sont présentés sur la Figure 10.

¹ A classification of no oxidation rates in power plant plumes based on atmospheric conditions, Janssen, L. H. J. M. ; Van Wakeren, J. H. A. ; Van Duuren, H. ; Elshout, A. J., Atmospheric Environment (1967), Volume 22, Issue 1, p. 43-53, 1988.

Figure 10 : localisation des points cibles



3.3.2 Réglementation de la qualité de l'air

Dans le cadre de cette étude, les concentrations en moyenne horaire, journalière ou hebdomadaire sont calculées. Les concentrations moyennes horaires sont comparées à la valeur réglementaire française de qualité de l'air² et les concentrations moyennes journalières sont comparées à la recommandation 2021 de l'OMS. Il n'existe aucune valeur réglementaire hebdomadaire ou recommandation hebdomadaire de l'OMS pour le NO₂.

Le Tableau 4 présente ces valeurs pour la substance prise en compte dans cette étude.

² Valeurs réglementaires françaises du Code de l'environnement (Livre II : Milieux Physiques, Titre II : Air et Atmosphère, relatif à la surveillance de la qualité de l'air et de ses effets sur la santé et sur l'environnement, aux objectifs de qualité de l'air, aux seuils d'alerte et aux valeurs limites).

Tableau 4 : valeur réglementaire de qualité de l'air et valeur guide de l'OMS 2021

Substance	Réglementation en moyenne horaire	Recommandation en moyenne journalière
Dioxyde d'azote	Valeur limite française : 200 µg/m ³ à ne pas dépasser plus de 18 heures par an	Valeur guide de l'OMS : 25 µg/m ³ à ne pas dépasser plus de 3 à 4 jours par an

3.3.3 Scénario 1 : fonctionnement des groupes électrogènes pendant 1h

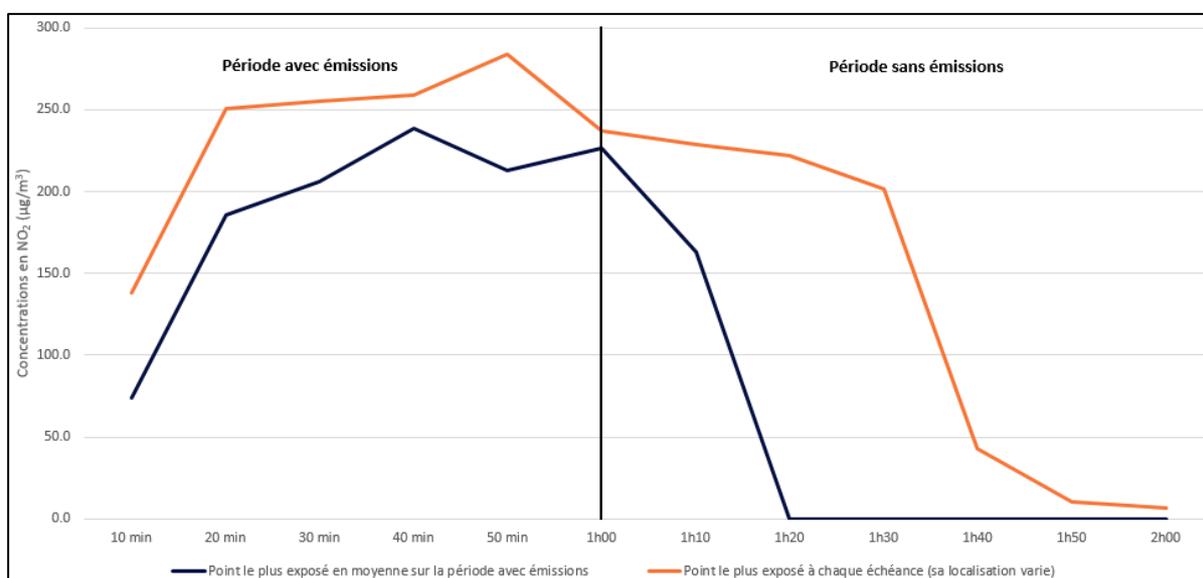
Les concentrations en dioxyde d'azote³ dans l'environnement induites par les rejets du projet Data Hills ont été calculées en cas de fonctionnement des groupes électrogènes pendant 1h.

La simulation a été réalisée avec une condition météorologique moyenne (cf. paragraphe 3.1.5.2) et une concentration à l'émission de 112 mg/Nm³ de NOx assimilés au NO₂ (cf. paragraphe 2).

La Figure 11 présente l'évolution des concentrations moyennes en NO₂ toutes les 10 minutes au niveau des points les plus exposés du domaine d'étude à chaque échéance (10min) et en moyenne sur la période avec émissions (1h). Aucun point d'intérêt ne se trouve dans la direction du panache.

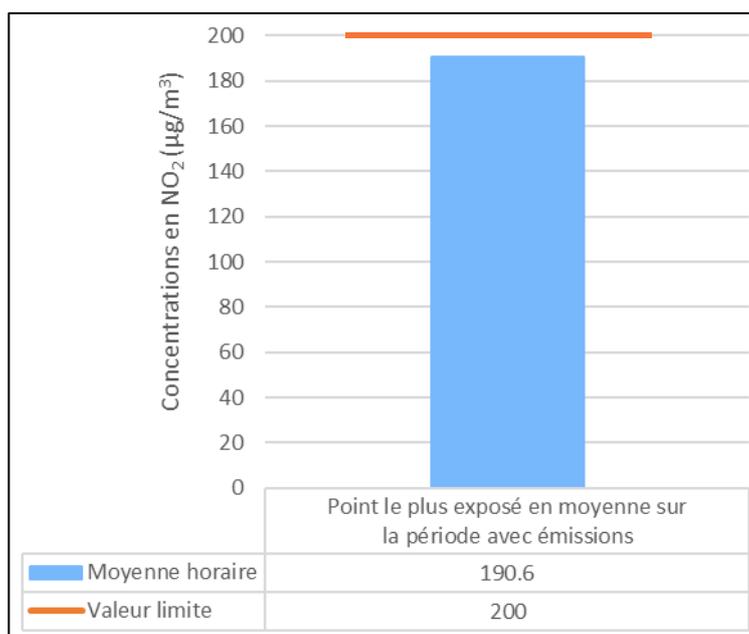
La Figure 12 présente ensuite les concentrations moyennes en NO₂ sur la période d'émissions (1h) au niveau du point le plus exposé du domaine d'étude en moyenne. En effet, le calcul d'une moyenne horaire au niveau du point le plus exposé à chaque échéance n'a pas d'intérêt, sa localisation étant variable par nature.

Figure 11 : évolution des concentrations moyennes en NO₂ sur 10 minutes (µg/m³)



³ Rappelons que les émissions en NOx ont été assimilées à 100 % au NO₂ : c'est une approche majorante.

Figure 12 : concentrations moyennes horaires en NO₂ (µg/m³)

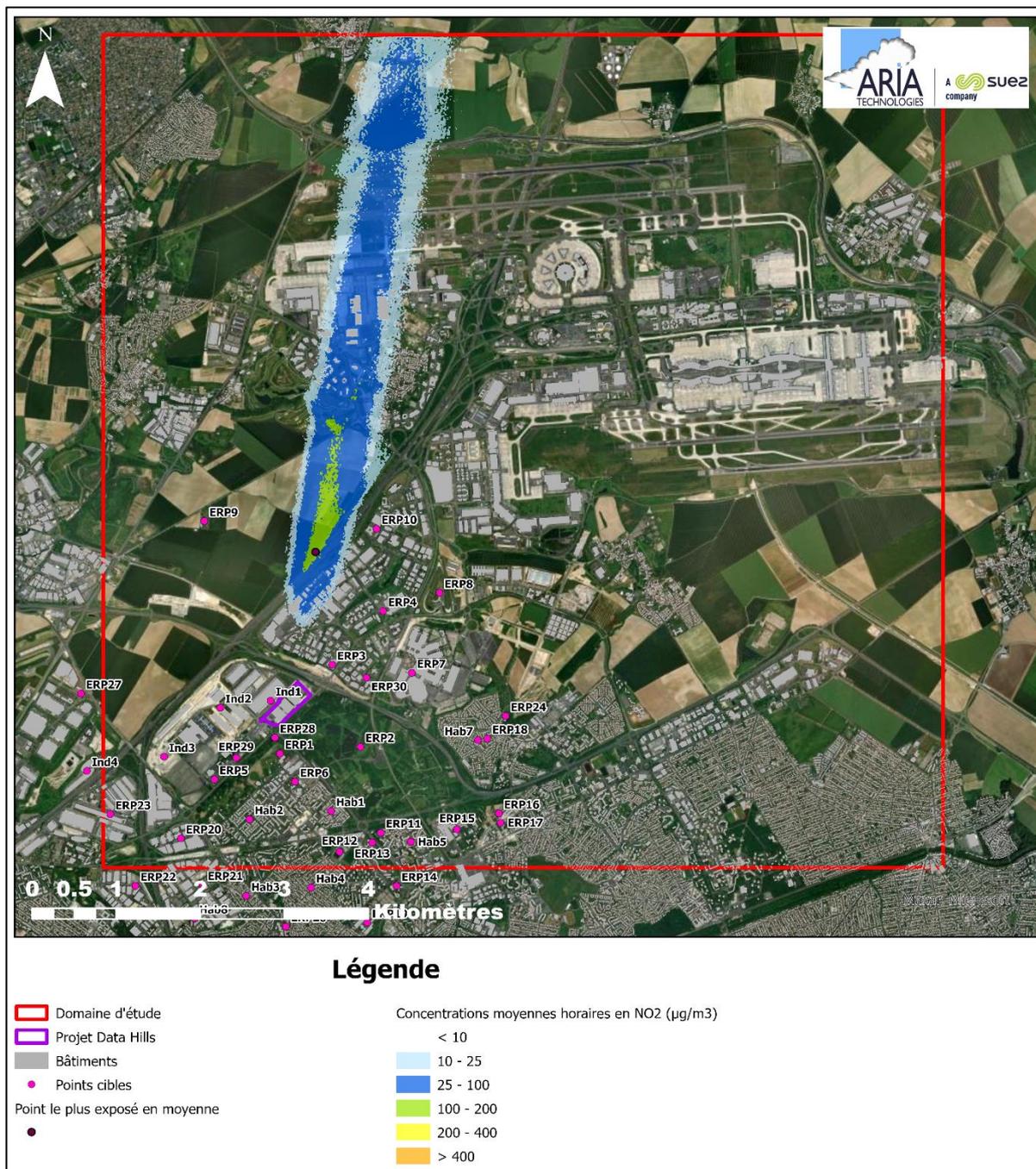


La valeur limite en moyenne horaire⁴ (200 µg/m³) est respectée au niveau du point le plus exposé en moyenne sur la période avec émissions.

La Figure 13 présente la carte de concentrations en moyenne horaire calculées au niveau du sol sur le domaine d'étude pour le NO₂. Les aplats colorés montrent les zones où les concentrations au niveau du sol sont comprises entre deux valeurs, par exemple, les zones en « bleu clair » sur la Figure 13 correspondent à des concentrations en NO₂ comprises entre 10 et 25 µg/m³. La cartographie montre que les concentrations diminuent rapidement au fur et à mesure que l'on s'éloigne du site.

⁴ Valeur limite française et valeur limite de la nouvelle directive européenne.

Figure 13 : carte de concentration en moyenne horaire en NO₂ (µg/m³)



3.3.4 Scénario 2 : fonctionnement des groupes électrogènes pendant 24h

Les concentrations en dioxyde d'azote dans l'environnement induites par les rejets du projet Data Hills ont été calculées en cas de fonctionnement des groupes électrogènes pendant 24h.

La simulation a été réalisée avec des conditions météorologiques pénalisantes (cf. paragraphe 3.1.5.2) et une concentration à l'émission de 112 mg/Nm³ de NOx assimilés au NO₂ (cf. paragraphe 2).

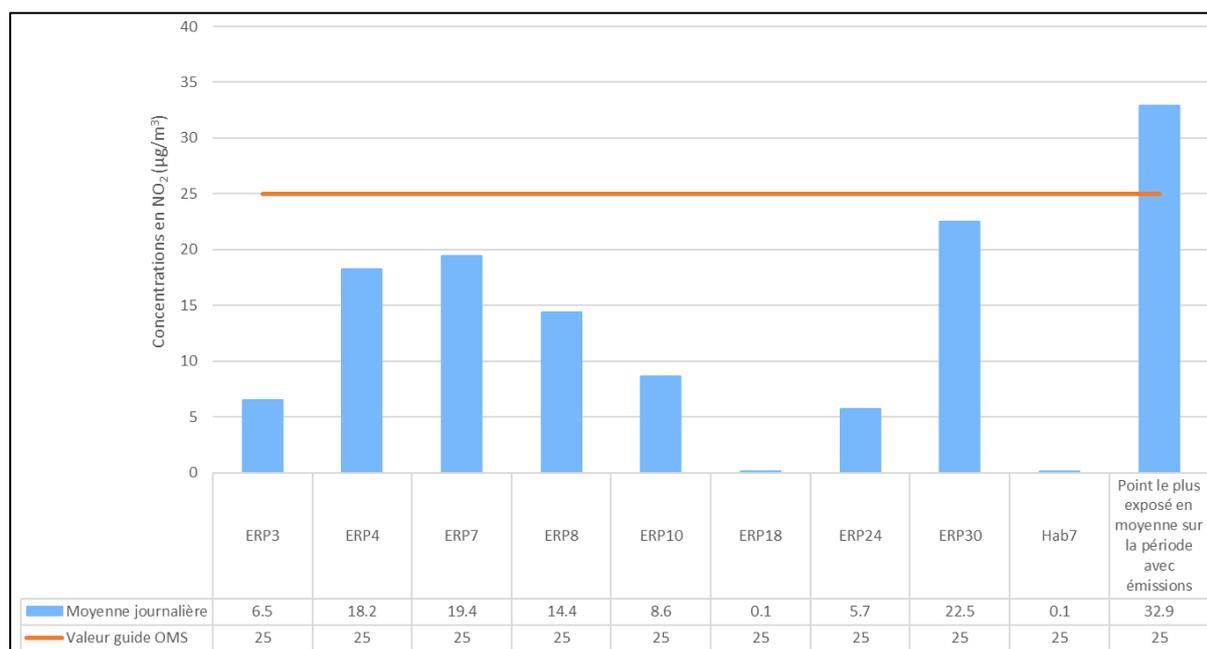
Il s'agit d'un scénario dont aucun élément ne nous permet aujourd'hui de douter de son caractère absolument exceptionnel, dans la mesure où il n'a vocation à se produire qu'en cas d'une panne RTE généralisée sur les deux lignes d'une durée de 24h.

En tout état cause, la valeur guide de l'OMS a vocation à ne pas être dépassée plus de 3 ou 4 jours dans l'année, son dépassement ne saurait donc être caractérisé sur un dépassement ponctuel sur une journée.

On établira, à l'aide de notre scénario 3, si une durée prolongée d'une coupure exceptionnelle d'une durée de 7 jours amène à une concentration hebdomadaire supérieure en moyenne à la valeur guide journalière sur les points sensibles dans le périmètre du site.

La Figure 14 présente les concentrations moyennes en NO₂ sur la période d'émissions (24h) au niveau des points d'intérêt se trouvant dans la direction du panache durant la journée et au niveau du point le plus exposé du domaine d'étude en moyenne.

Figure 14 : concentrations moyennes journalières en NO₂ (µg/m³)



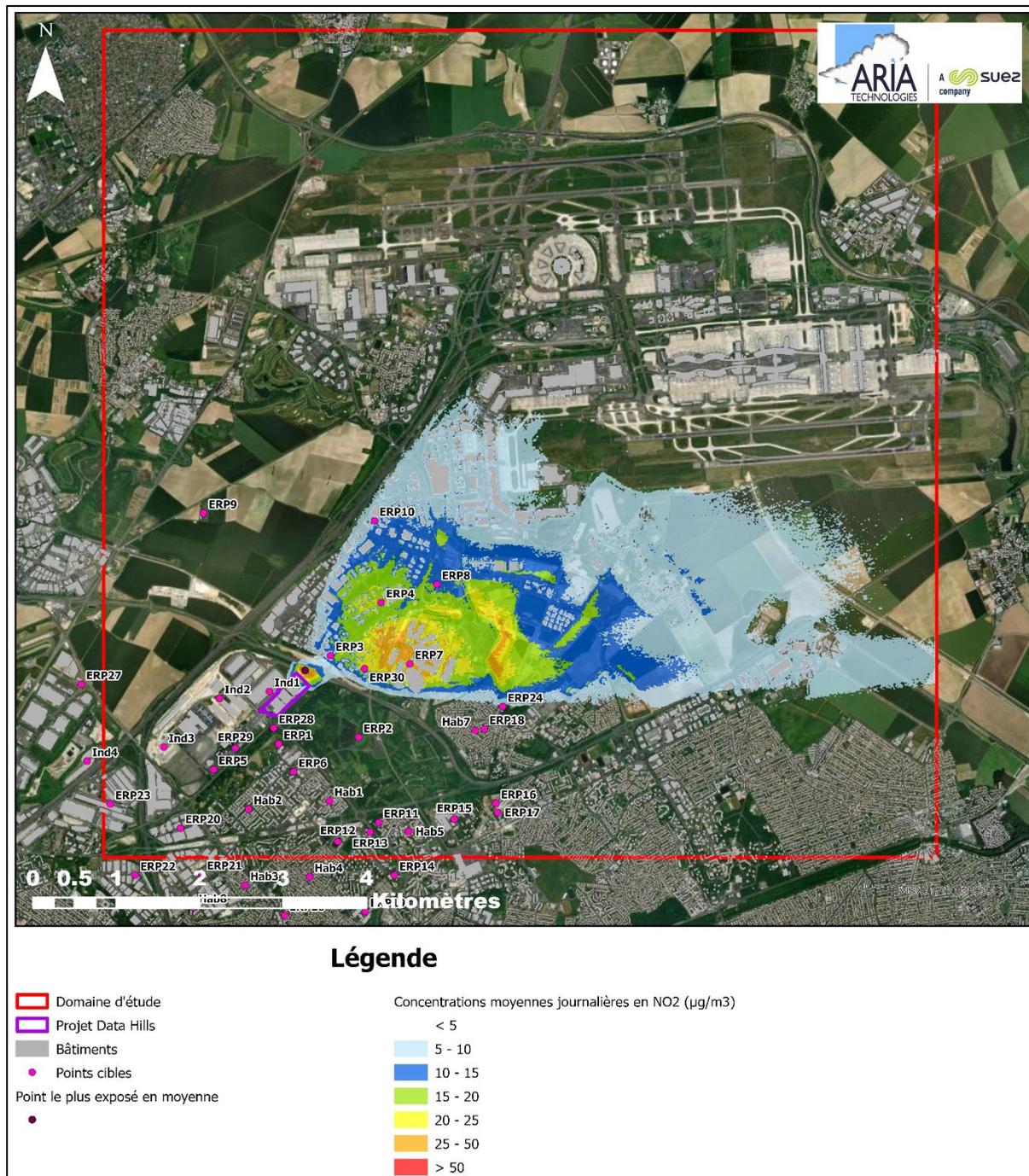
La valeur guide de l'OMS en moyenne journalière (25 µg/m³) est dépassée au niveau du point le plus exposé en moyenne sur la période avec émissions. Ce point se trouve à environ 100 m au nord-est du site, au niveau de l'autoroute (cf. Figure 15).

Pour rappel, les hypothèses retenues sont très majorantes :

- les NOx sont entièrement assimilés à du NO₂ ;
- les conditions météorologiques sont pénalisantes.

La Figure 15 présente la carte de concentrations en moyenne journalière calculées au niveau du sol sur le domaine d'étude pour le NO₂. La cartographie montre que les concentrations diminuent rapidement au fur et à mesure que l'on s'éloigne du site.

Figure 15 : carte de concentration en moyenne journalière en NO₂ (µg/m³)



3.3.5 Scénario 3 : fonctionnement des groupes électrogènes pendant 1 semaine

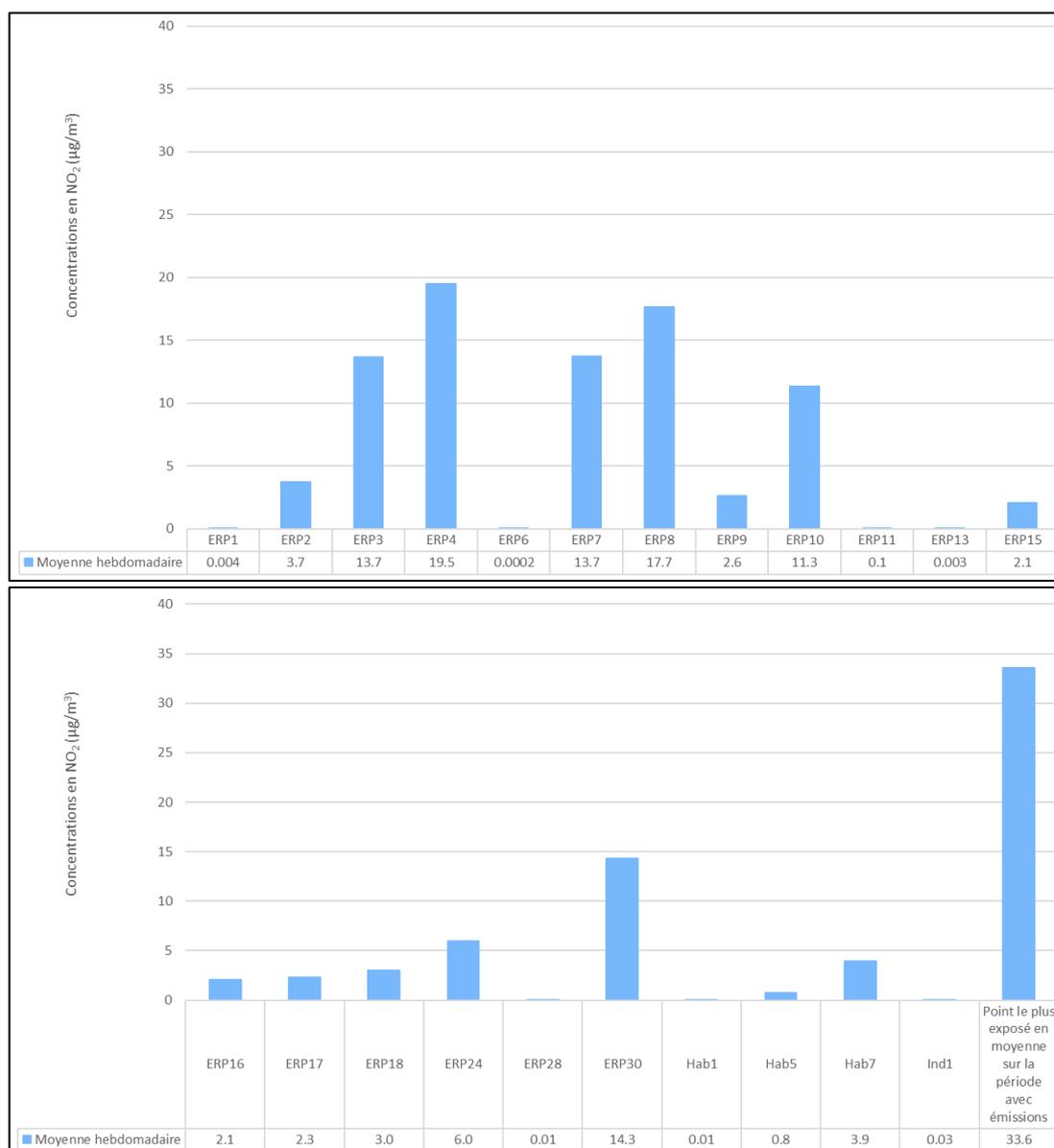
Les concentrations en dioxyde d'azote dans l'environnement induites par les rejets du projet Data Hills ont été calculées en cas de fonctionnement des groupes électrogènes pendant 1 semaine.

La simulation a été réalisée avec des conditions météorologiques incluant la journée la plus pénalisante (cf. paragraphe 3.1.5.2) et une concentration à l'émission de 112 mg/Nm³ de NOx assimilés au NO₂ (cf. paragraphe 2).

Tout comme le scénario précédent, il s'agit d'un scénario très peu plausible dans la mesure où il n'a vocation à se produire qu'en cas d'une panne RTE généralisée sur les deux lignes d'une durée d'une semaine.

La Figure 16 présente les concentrations moyennes en NO₂ sur la période d'émissions (1 semaine) au niveau des points d'intérêt se trouvant dans la direction du panache durant la semaine et au niveau du point le plus exposé du domaine d'étude en moyenne.

Figure 16 : concentrations moyennes hebdomadaires en NO₂ (µg/m³)



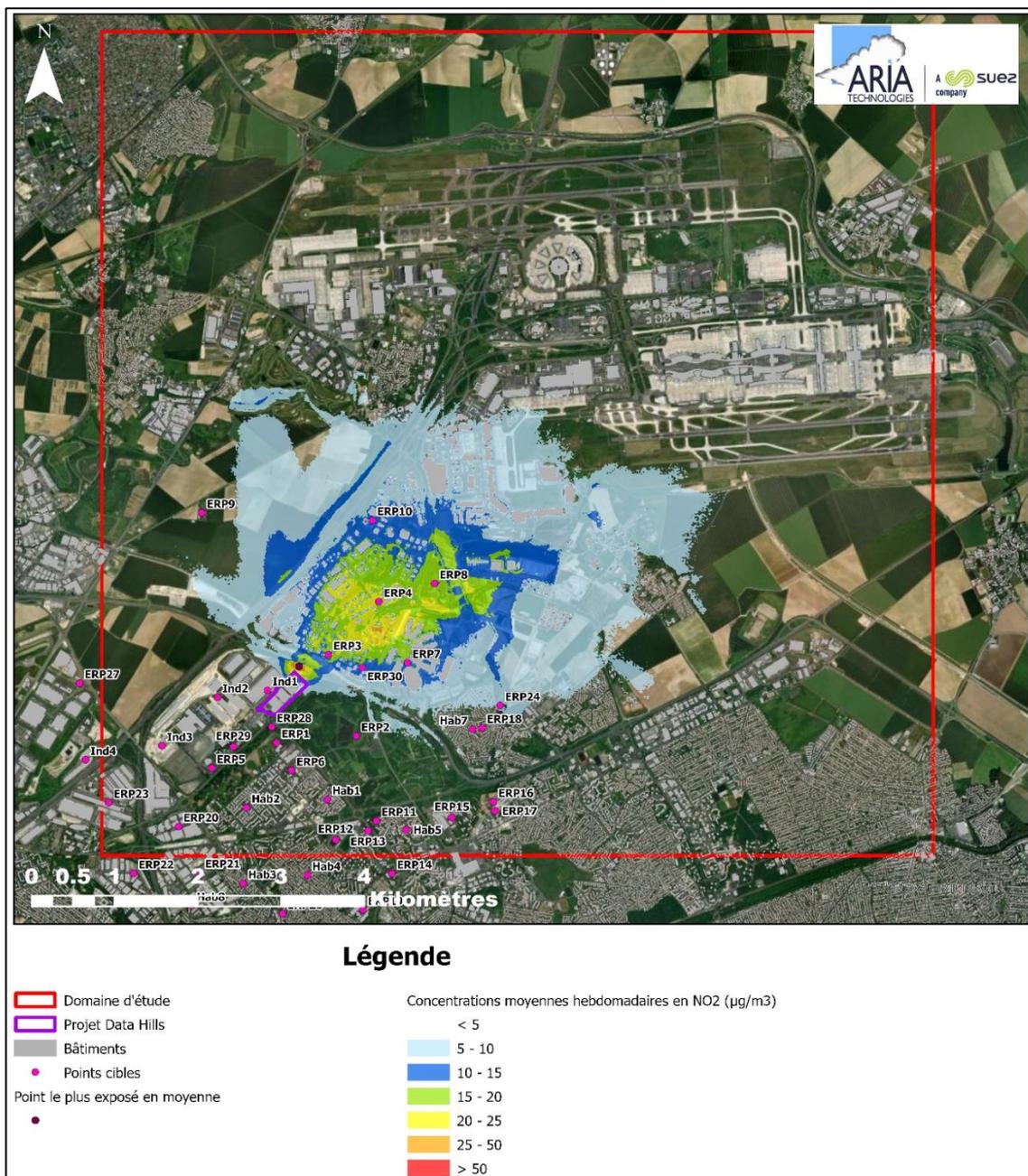
Sur une période d'émissions d'une semaine, le point le plus exposé en moyenne est situé sur l'autoroute, à environ 100 m au nord-est du site (cf. Figure 17). Aucun dépassement significatif de la valeur guide de l'OMS en moyenne journalière ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$) n'est observé au niveau des établissements sensibles identifiés dans le périmètre de l'étude. Rappelons qu'il n'existe aucune valeur réglementaire française et aucune valeur guide de l'OMS en moyenne hebdomadaire.

Pour rappel, les hypothèses retenues sont très majorantes :

- les NOx sont entièrement assimilés à du NO₂ ;
- les conditions météorologiques incluent la journée la plus pénalisante.

La Figure 17 présente la carte de concentrations en moyenne hebdomadaire calculées au niveau du sol sur le domaine d'étude pour le NO₂. La cartographie montre que les concentrations diminuent rapidement au fur et à mesure que l'on s'éloigne du site.

Figure 17 : carte de concentration en moyenne hebdomadaire en NO₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)



4 INCERTITUDES

Les incertitudes liées à la modélisation de pollution de l'air ont été définies (Morgan M.G, 1990) comme étant le cumul, au prorata de leurs contributions, des incertitudes des différentes données nécessaires au fonctionnement du modèle et au modèle lui-même. Ces incertitudes peuvent être résumées par l'équation ci-dessous :

$$\boxed{\text{Incertitudes totales}} = \boxed{\text{Incertitudes dues au modèle}} + \boxed{\text{Incertitudes due aux données}} + \boxed{\text{Variabilité}}$$

Pour d'autres auteurs, elles ont pour origine trois sources majeures (Hanna, 2004) en ce qui concerne la modélisation de la qualité de l'air :

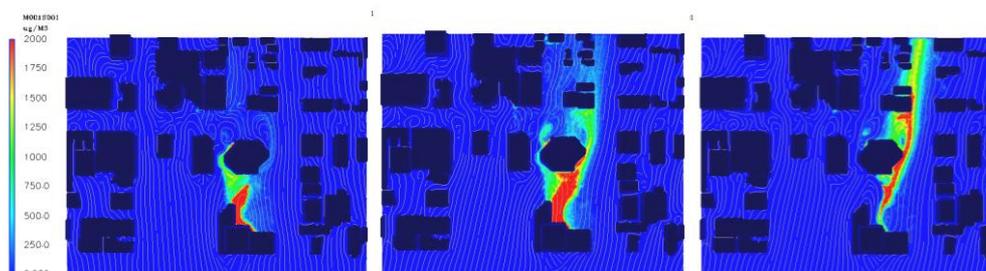
- La variabilité des résultats due aux fluctuations naturelles de la concentration dans l'atmosphère (turbulence aléatoire). Ce type d'incertitude sera présent dans n'importe quel modèle prenant en compte des phénomènes météorologiques ;
- Les erreurs sur les données d'entrées : émissions, données sur les instruments de mesures ou manque de représentativité des instruments de mesures par exemple ;
- Les erreurs dues à la représentation de la physique dans les modèles soit dues à des erreurs de formulation soit dues à des incertitudes dans les paramètres utilisés dans les formulations.

4.1 INCERTITUDES LIEES AU MODELE : VALIDATION DU MODELE MSS

Concernant MSS, des validations ont été réalisées à l'aide de campagnes de mesures effectuées en soufflerie et en milieu urbain réel. Certains de ces cas de validation sont présentés ci-dessous :

- le projet EMU est une simulation de l'émission de scalaires passifs en atmosphère neutre, réalisée au laboratoire EnFlo de l'Université anglaise de Surrey. Il est constitué de plusieurs expériences (formes et nombre de bâtiments divers, données météorologiques et d'émission distinctes) ;
- URBAN 2000 fut une campagne de mesures menée par des chercheurs américains à Salt Lake City en Octobre 2000. Le Département de l'Energie (US-DOE), le DOD, la DTRA, et des laboratoires gouvernementaux anglais et américains se sont réunis afin de mener à bien ce gigantesque projet. L'ensemble des données et des résultats est accessible sur <http://urban.llnl.gov/> ;
- la campagne MUST a également été financée par la DTRA. Elle constitue une expérience intermédiaire entre la soufflerie et un terrain urbain réel puisque les bâtiments ont été simulés par des containers.

Figure 18 : lignes de courant et concentration en SF6 à 4h10, 4h20 et 4h30



MSS a obtenu de bonnes performances dans le cadre de plusieurs campagnes de mesures in situ, ce qui est un gage de qualité.

4.2 INCERTITUDES LIEES AUX DONNEES D'ENTREE

Les données d'entrées du modèle sont de trois natures :

- Les émissions ;
- La météorologie ;
- Les paramètres du modèle choisis.

4.2.1 Incertitudes liées aux émissions

La concentration calculée par le modèle à une échéance donnée est directement proportionnelle aux flux émis par l'installation. Les approximations faites au niveau des émissions ont donc un impact direct sur les concentrations calculées.

4.2.2 Incertitudes liées aux mesures météorologiques

Les données météorologiques ont été fournies par le Client.

L'incertitude la plus grande est l'incertitude sur la direction du vent qui est de +/- 5°. Ce manque de précision sur la direction de vent peut avoir pour incidence la surestimation des concentrations dans les 36 directions « mesurées » et une sous-estimation dans les zones entre deux données de direction « mesurées ». Cette incertitude est compensée dans le modèle ARIA Impact par l'ajout à chaque échéance météorologique d'une direction additionnelle aléatoire comprise entre -5° et +5° afin de mieux simuler les directions réelles.

Les précisions des mesures de vent d'un dixième de m/s et celle de la température d'un dixième de degré Celsius sont largement suffisantes compte tenu de leur intervention dans les équations.

4.2.3 Incertitudes liées aux paramètres du modèle

Dans les modèles complexes prenant en compte de façon fine les géométries et ayant des paramétrisations fines des phénomènes physiques, l'incertitude liée au choix de l'utilisateur des paramètres du modèle, (options de calculs, génération du maillage, etc) peut être grande. Des études ont montré qu'à données identiques, le même modèle mis en œuvre par deux équipes différentes pouvait conduire à des résultats présentant des écarts importants.

Concernant les paramètres liés aux polluants (vitesse de dépôt, coefficient de lessivage, type particulaire ou non), ces paramètres sont issus de l'état de l'art actuel des connaissances.

5 CONCLUSION

Suite aux demandes complémentaires des services de l'état au sujet de l'évaluation des impacts des groupes électrogènes de secours du projet Data Hills, EODD consulte SUEZ Aria Technologies pour réaliser des simulations 3D de l'évolution du panache provenant de ces groupes électrogènes.

Le présent rapport présente les résultats des calculs des concentrations dans l'air, imputables aux rejets canalisés du projet Data Hills. Compte tenu du contexte urbain, les simulations ont été effectuées à l'aide du logiciel ARIA Impact 3D, modèle 3D permettant de prendre en compte les bâtiments.

Les concentrations en dioxyde d'azote dans l'environnement induites par les rejets du projet Data Hills ont été calculées en cas de fonctionnement des groupes électrogènes pendant 1h (scénario 1), 24h (scénario 2) et 1 semaine (scénario 3). Ces trois scénarios ont été choisis par le Client.

A noter que les scénarios 2 et 3 sont très peu probables dans la mesure où ils n'ont vocation à se produire qu'en cas d'une panne RTE généralisée sur les deux lignes d'une durée d'une journée ou d'une semaine.

La concentration en oxydes d'azote à l'émission retenue est de 112 mg/Nm³. L'étude portant sur la dispersion du NO₂, il est fait l'hypothèse majorante que 100 % des NOx émis sont assimilés à du NO₂, substance réglementée au niveau de la qualité de l'air.

Les résultats suivants ont été obtenus :

- **Scénario 1 :**

La simulation a été réalisée avec une condition météorologique moyenne.

La valeur limite en moyenne horaire⁵ (200 µg/m³) est respectée au niveau du point le plus exposé en moyenne sur la période avec émissions, atteignant 190,6 µg/m³.

- **Scénario 2 :**

La simulation a été réalisée avec des conditions météorologiques pénalisantes.

La valeur guide de l'OMS en moyenne journalière (25 µg/m³) est dépassée au niveau du point le plus exposé en moyenne sur la période avec émissions, atteignant 32,9 µg/m³. Ce point se trouve à environ 100 m au nord-est du site, au niveau de l'autoroute.

- **Scénario 3 :**

La simulation a été réalisée sur une semaine avec des conditions météorologiques incluant la journée la plus pénalisante.

Au niveau du point le plus exposé en moyenne sur la période avec émissions, les concentrations calculées atteignent en moyenne 33,6 µg/m³. Ce point se trouve à environ 100 m au nord-est du site,

⁵ Valeur limite française et valeur limite de la nouvelle directive européenne.

au niveau de l'autoroute. Rappelons qu'il n'existe aucune valeur réglementaire française et aucune valeur guide de l'OMS en moyenne hebdomadaire.

Pour rappel, les émissions en sortie de cheminées sont considérées comme étant constituées de 100 % de NOx exprimés en équivalent NO₂, alors que la réglementation NO₂ ne concerne pas les NOx.

Afin de se rapporter à des concentrations en NO₂ dans l'environnement, les résultats en NOx eq. NO₂ obtenus pourraient être convertis en NO₂ sur la base d'une publication scientifique⁶.

Compte tenu des niveaux d'ozone mesurés par Airparif au niveau de la station de Tremblay-en-France (à savoir 50 µg/m³ en moyenne annuelle sur 2023), station la plus proche du site mesurant ce paramètre, un ratio NO₂/NOx de 0,1 pourrait être appliqué aux concentrations NOx eq. NO₂.

En conclusion, en retenant des hypothèses très majorantes (NOx 100 % assimilés à du NO₂, conditions météorologiques pénalisantes), aucun dépassement de la valeur limite de la qualité de l'air en moyenne horaire (200 µg/m³) et de la valeur guide de l'OMS en moyenne journalière (25 µg/m³) n'est envisagé au niveau des établissements sensibles se trouvant dans le périmètre d'étude.

⁶ A classification of no oxidation rates in power plant plumes based on atmospheric conditions, Janssen, L. H. J. M. ; Van Wakeren, J. H. A. ; Van Duuren, H. ; Elshout, A. J., Atmospheric Environment (1967), Volume 22, Issue 1, p. 43-53, 1988.

ANNEXE

Annexe 1 : Description du logiciel MSS

Descriptif du modèle Micro SWIFT

1. Le domaine

Le domaine horizontal est un rectangle (L_x , L_y) dans le système de projection plane choisi (ex.: Lambert, UTM). Les dimensions L_x et L_y varient de 500 m à 500 km.

Le domaine vertical est défini par les masses d'air comprises entre la topographie (définie par un MNT, ie Modèle Numérique de Terrain) et une altitude de contrôle H , typiquement de l'ordre de 1500 à 2500 m, qui doit être plus élevée si le domaine comprend une topographie importante (domaines montagneux).

2. Le maillage

Le maillage horizontal définit un réseau X-Y régulier ou irrégulier, dont le pas peut varier de 1 mètre (en cas de prise en compte de bâtiments) à plusieurs kilomètres. Le maillage horizontal coïncide exactement avec les données du MNT, contenant la matrice des altitudes $Z_{Gij} = Z_G(X_i, Y_j)$, où Z_G est l'altitude de contrôle de chaque maille.

Le maillage vertical est défini par deux choix :

1. Définition d'une coordonnée verticale transformée S permettant de suivre le terrain:

$$S = (Z - Z_G) / (H - Z_G)$$

où: Z = altitude / mer de chaque point du maillage.

On a $S=0$ au sol et $S=1$ à l'altitude H par définition.

2. Définition d'un vecteur S_k contenant les valeurs de la coordonnée verticale S pour chaque niveau vertical de maillage, de sorte que les niveaux sont plus rapprochés près du sol ($S=0$) qu'en altitude ($S=1$).

3. Variables

Les variables 3D principales traitées sont toujours les trois composantes du vecteur vent moyen $V(u,v,w)$ dans un système cartésien classique, et de manière optionnelle la température (T) et la diffusivité turbulente suivant la verticale (K_z).

Les variables 3D auxiliaires sont un champ de potentiel de Lagrange intermédiaire (P) calculé pour assurer la conservation de la masse (divergence nulle) et un facteur de transmissivité verticale (α) lié à la stabilité, et dépendant éventuellement de la température et de la vitesse du vent.

4. Données d'entrée

Les données d'entrée du modèle sont :

Le modèle numérique de terrain (MNT) ;

La description de l'occupation des sols sur le même maillage horizontal ;

Le masque terre - mer (le cas échéant) ;

Une description des bâtiments (facultatif) ;

Toutes les données météorologiques disponibles (Vent, Température).

Les données météorologiques fournies en entrée peuvent être des données de mesure éparses, des données de prévision, des valeurs arbitraires (simulations à caractère académique). Il n'est pas obligatoire que les données météorologiques soient situées à l'intérieur du domaine géographique traité, défini par le MNT.

5. Méthodes de calcul

Micro SWIFT comporte trois étapes de calcul distinctes :

Interpolation des données existantes pour fournir une première ébauche des champs de vent et de température recherchés.

Ajustement itératif, par une méthode variationnelle, de la solution, destiné à créer un champ de vitesses à divergence nulle, en prenant en compte les contraintes imposées par la stabilité atmosphérique.

Calcul de la turbulence de fond (méthode EPA) et éventuellement de la turbulence induite du fait de la présence de bâtiments.

6. Description des sorties

Les champs de vent 3D et de turbulence obtenus à l'issue de l'étape de turbulence :

Respectent les valeurs fournies en entrée au voisinage des points de données.

Satisfont l'équation de continuité sous sa forme incompressible (divergence nulle)

Restituent l'influence de la stabilité atmosphérique sur les déviations du vent.

Comportent un champ de vitesse verticale cohérent avec la topographie et les obstacles.

Fournissent une turbulence tridimensionnelle représentative du site étudié.

7. Références

Micro SWIFT appartient à la famille des modèles d'analyse objective à divergence nulle. Il est dérivé du modèle MINERVE, développé à partir de 1980 initialement par Electricité de France (EDF), qui a été appliqué à l'étude des sites nucléaires français, et validé notamment par EDF à l'occasion de campagnes météorologiques intensives, comportant une couverture météorologique à petite échelle rarement atteinte: jusqu'à 15 stations sol et 3 radars acoustiques vent (SODARS). On peut citer entre autres les expériences EDF de CREYS-MALVILLE 1983, CHOOZ 1986, VALLEE DU RHONE 1989 et la Campagne Européenne FOS 1983.

Les principales références applicatives commerciales du modèle MINERVE (études ou systèmes) sont les suivantes :

SNCF (2000)

CERTU, DDE 42, ADEME (1999)

DRIRE Haut.10-Normandie (1998)

BORDEAUX - Etude pour le compte de l'ADEME et EDF (1996-1997)

ROUEN-LE HAVRE Réseau AIR NORMAND (1997)

Regione Campania (NAPLES-ITALIE) Réseau de surveillance de la qualité de l'air.

Regione ABBRUZZO (ATRI-ITALIE) Réseau de surveillance de la qualité de l'air.

ENEL Centre de Recherches (MILAN-ITALIE)
CISE Centre d'études (SEGRAT.10-ITALIE)
RHONE-POULENC SA (LYON-FRANCE)
Institut Paul SCHERRER (VILLIGEN-CH)
Institut Josef STEFAN (Slovénie)
IBERDROLA SA (Madrid- Espagne)
Defence Nuclear Agency (Washington - USA)
HANFORD Nuclear Center (Seattle - USA)
CNRS Service d'aéronomie et LMD (Paris - France)
FOS-BERRE 1995 - Etude pour le compte de DRIR.10-PACA (Marseille - France)

Les principales références applicatives commerciales du modèle Micro SWIFT (études ou systèmes) sont les suivantes:

United States Department of Defence (US-DOD) (2002-2005)
CEA-DAM (2005)
Città di BOLOGNA (2003)

Description du modèle Micro SPRAY

INFORMATIONS DE BASE

Version :

Version 5.0

Champs d'application :

Modèle de dispersion lagrangien à particules. Il simule la dispersion des émissions atmosphériques par le mouvement stochastique de pseudo-particules dans le flux turbulent atmosphérique sur terrain complexe. Il peut effectuer des simulations de l'échelle locale (500 m-5 km) à la méso-échelle (100 km).

INFORMATIONS DETAILLEES

Description :

Micro SPRAY est un modèle tridimensionnel pour la simulation de la dispersion des polluants dans l'atmosphère et peut tenir compte des variations du flux et de la turbulence atmosphérique aussi bien dans l'espace (conditions hétérogènes) que dans le temps (conditions non stationnaires). Il est en mesure de reconstruire des champs de concentration à partir de sources ponctuelles, linéaires, surfaciques ou volumiques.

Le polluant est simulé par des "particules virtuelles" dont le mouvement dans un domaine tridimensionnel est défini par le vent local et dont la dispersion est obtenue par le truchement de fluctuations de vitesse aléatoires solution des équations différentielles stochastiques, qui reproduisent les caractéristiques de la turbulence atmosphérique locale. De cette façon, différentes parties du panache émis peuvent "voir" différentes conditions atmosphériques, permettant des simulations plus réalistes en conditions difficiles que des modèles traditionnels (vent calme, inversion de température avec l'altitude, impact avec une topographie complexe, dispersion sur des sites avec de fortes discontinuités spatiales de type "terre - mer" ou "ville - campagne").

Le modèle simule la dispersion des polluants à l'intérieur d'un domaine de calcul de forme parallélépipédique dont la limite inférieure est représentée par une fonction $Z_G(x,y)$ obtenue en interpolant avec une bilinéaire les niveaux du terrain dans chaque cellule d'un maillage tridimensionnel défini par l'utilisateur. Le mouvement moyen des particules est décrit par des matrices tridimensionnelles de module de vent dans le système de référence "terrain-following" x, y, s dont la coordonnée verticale s est définie comme:

$$s = \frac{Z - Z_g}{Z_{top} - Z_g}$$

où:

Z est la coordonnée géométrique verticale

Z_{top} est l'altitude du sommet du domaine fluide étudié (en m)

$Z_g = Z_g(x,y)$ est l'altitude du relief (en m) au point de coordonnées (x,y) du maillage horizontal considéré.

Les particules interpolent linéairement la valeur du vent au point x, y, z où elles se trouvent en utilisant les valeurs de ces matrices. Il est possible de simuler des conditions non stationnaires en interpolant linéairement dans le temps la valeur entre deux matrices successives.

Le mouvement turbulent des particules est décrit à l'aide de l'intégration le long des axes cartésiens x , y , z , de 3 équations de Langevin pour les composantes des vitesses selon les schémas optionnels suivants :

Equations linéaires couplées avec une fonction de forçage aléatoire correspondant à une distribution de probabilité tridimensionnelle non gaussienne selon une réalisation du schéma de Thomson (1984). Des schémas de travail plus simples sont en outre pris en compte (équations découplées) pour traiter des problèmes à plus grande échelle.

Equations non linéaires avec forçage gaussien selon le schéma de Thomson (1987). Des schémas de description non gaussienne de la turbulence verticale sont également pris en compte selon la distribution bi-gaussienne Gram-Charlier du 3^{ème} ordre ou du 4^{ème} ordre. Sur le niveau de la couche limite, la part turbulente du mouvement des particules peut être optionnellement obtenue par l'intégration des équations stochastiques sur les déplacements.

La turbulence est décrite par des matrices tridimensionnelles dans le système x, y, z de :

$$\sigma_{u'_x}, \sigma_{u'_y}, \sigma_{u'_z}, \overline{u'_z{}^3}$$

$$\overline{u'_x u'_y}, \overline{u'_x u'_z}, \overline{u'_y u'_z}$$

$$\mathbf{T}_{L_{u'_x}}, \mathbf{T}_{L_{u'_y}}, \mathbf{T}_{L_{u'_z}}$$

dans le cas des schémas de Thomson 1984 ou bien :

$$\sigma_{u'_x}, \sigma_{u'_y}, \sigma_{u'_z}, \overline{u'_z{}^3}$$

$$\mathbf{T}_{L_{u'_x}}, \mathbf{T}_{L_{u'_y}}, \mathbf{T}_{L_{u'_z}}$$

K_x, K_y, K_z (options sur la couche limite)

dans le cas des schémas de Thomson 1987.

Schéma de génération interne des champs de turbulence, construits à travers les profils verticaux de similarité obtenus en considérant les caractéristiques du terrain.

Les variables d'échelle de la couche de surface (hauteur de la couche limite h_{mix} , vitesse de frottement u_* , longueur de Monin-Obukhov L , et vitesse convective verticale d'échelle w_*) sont calculées, sur la base des données d'entrée, pour chaque point du maillage grâce à un pré-processeur météorologique (Paine, 1988). Puis, les profils verticaux des variables turbulentes nécessaires à la simulation sont générés à partir de relations dépendantes de la stabilité atmosphérique (Hanna, 1982). La surhauteur des panaches est calculée par la formule d'Anfossi (Anfossi, 1985), capable de tenir compte des variations verticales et horizontales du vent et de la stabilité atmosphérique, grâce à une matrice tridimensionnelle de température sur la même grille que les matrices météorologiques.

Limitations :

Le modèle ne contient pas de réactions chimiques entre les espèces émises, qui sont donc considérées comme inertes. La version 3.0 contient un schéma de dépôt sec et humide, et peut tenir compte de la chute gravitationnelle. La radio décroissance radioactive peut être également appliquée.

Résolution :

Résolution spatiale horizontale :

Maillage à pas fixe régulier: $\Delta x = \Delta y$

Résolution minimale conseillée: 0,1 m (en cas de prise en compte de bâtiments)

Résolution maximale conseillée: 10km

Résolution spatiale verticale :

Maillage de type "terrain - following" de coordonnée S à pas variable défini par l'utilisateur.

Résolution temporelle :

Possibilité de choisir entre des pas d'intégration Δt des équations de mouvement fixes ou variables.

Δt variables limités automatiquement par les caractéristiques du vent moyen et de la turbulence vue par la particule.

Techniques de résolution :

Différences finies pour l'évolution temporelle des particules.

Optimisation du choix des pas de temps sur des échelles de temps Lagrangien dans le cas du schéma à Δt variable.

Données d'entrées requises :

Générales :

Le positionnement, les dimensions, la structure horizontale et verticale du domaine, la topographie sont définis dans un fichier météorologique, en format binaire, contenant au minimum les champs de vent tridimensionnels. Les options du calcul (période et durée de la simulation, schémas numériques, conditions initiales et aux limites) sont contenues dans un fichier ASCII.

Météorologiques :

Micro SPRAY reçoit en entrée une série temporelle de champs tridimensionnels de vent, de température voire de turbulence sur le maillage décrit précédemment, dans un format binaire. Les champs de turbulence peuvent être générés en interne ou fournis sur le même maillage dans le même fichier que le vent, issu d'un modèle de dynamique des fluides externe. Dans le premier cas, doivent être fournies au modèle les matrices bidimensionnelles de caractérisation du sol, contenant les valeurs de: la hauteur de la rugosité Z_o , l'albédo et le rapport de Bowen (rapport entre le flux de chaleur sensible et latente au point du maillage). Il est en outre nécessaire d'avoir une série temporelle des données météorologiques qui couvre la période complète de simulation, en particulier pour la radiation solaire, la température et le gradient thermique vertical à l'aube, utilisés dans les schémas de paramétrisation de la turbulence de la couche limite.

Emissions :

La description des émissions: des sources de typologie multiple sont prévues (ponctuelles, linéaires et surfaciques) ce qui permet donc de simuler des cheminées ou des routes. Chacune peut émettre diverses espèces non réactives. On doit définir: la position, la géométrie et le taux d'émissions de chaque source pour chaque espèce considérée, sur des intervalles de temps quelconques non réguliers. Le nombre de particules pour chaque source est sélectionné par l'utilisateur et le modèle en détermine automatiquement la masse en fonction des caractéristiques de l'émission.

Données de sorties générées :

Fichiers binaires de particules contenant la position, la masse, la source d'origine et le temps de vie de chaque particule, mémorisées à des intervalles de temps sélectionnés par l'utilisateur.

Matrices tridimensionnelles de concentrations sur un maillage "terrain-following" sélectionné par l'utilisateur, sur des temps moyennés et à des intervalles présélectionnés, avec la méthode du comptage dans chaque maille, sur un fichier binaire de structure similaire à celle du fichier de vents utilisé en entrée.

Fichiers binaires de reprise générés à des intervalles réguliers choisis par l'utilisateur et utilisés soit pour la récupération après d'éventuelles ruptures du calcul, soit pour diviser les simulations de longue durée en sections plus brèves analysées séparément.

Fichier ASCII d'informations sur le déroulement de la simulation.

Disponibilité d'interfaces :

Le modèle a une interface à fichiers et ne nécessite pas d'interfaces utilisateurs graphiques particulières. Pour effectuer une simulation, seuls sont suffisants les outils d'édition standard présents sous les divers systèmes. Cette modalité permet la portabilité du code.

Il existe des interfaces utilisateurs graphiques développées par ARIA Technologies pour définir en mode interactif le contenu informatique de tous les fichiers ASCII d'entrée.

Les sorties binaires de particules et de concentration peuvent être lues et interfacées avec le pack graphique EWB de WINDLOGICS.

Documentation :

La documentation est disponible en français, en italien et en anglais sur support papier ou sur support informatique.

Validation :

Simulations sur terrain plat :

Confrontation à des données mesurées durant une campagne dans la vallée du Rhin près de Karlsruhe (Thomas et al., 1983).

Le modèle a été modifié dans la partie relative à l'équation de mouvement vertical, de façon à tenir compte des hétérogénéités de la turbulence et a été appliqué pour la simulation des conditions neutres et convectives de l'expérience de Karlsruhe (Brusasca et al., 1989).

Simulation en conditions d'atmosphère stable et vent faible.

Il a été implémenté un algorithme ad hoc pour la simulation du vent meandering dans des conditions de vent faible et dans cette version, le modèle a été utilisé pour simuler l'expérience de traçage réalisé près du laboratoire INEL en Idaho (Sagendorf and Dickson, 1974). Les résultats ont été publiés dans deux articles (Anfossi et al., 1990; Brusasca et al., 1992).

Simulations de la surhauteur dynamique.

Il a été inséré et validé un algorithme pour le calcul de la surhauteur des fumées chaudes. Les résultats ont été confrontés avec des données de Lidar enregistrés durant la campagne internationale de Sostanj en 1991 en Slovénie (Anfossi et al., 1993).

Simulations sur terrain complexe :

Expérimentation en soufflerie EPA sur des collines bidimensionnelles.

Des confrontations avec les données obtenues dans le cadre de l'expérience EPA RUSHIL (Khurshudyan et al., 1981) de dispersion sur des collines bidimensionnelles ont été réalisées. Les résultats obtenus ont été publiés (Tinarelli et al., 1994) et présentés aux congrès internationaux de l'American Meteorological Society de Portland - 1992 (Tinarelli et al., 1992) et du CCMS NATO à Valencia - Espagne (Tinarelli et al., 1993).

Expérience Transalpine.

Des simulations ont été effectuées sur l'expérience Transalp. 1989, qui consistait au rejet d'une substance traçante à l'embouchure des vallées Levantina et Blenio dans le canton Ticino (Suisse) dans le but de vérifier les effets de la canalisation. Le jour simulé est le 19 octobre, de 11h à 17h, avec des conditions d'atmosphère instable à stable et sur une topographie extrêmement complexe. Les résultats ont été publiés dans un numéro spécial "d'Atmospheric Environment" consacré à la campagne Transalp. (Anfossi et al., 1998). Le travail a été entre autre présenté au congrès international CCMS NATO de 1995 à Baltimore (Brusasca et al., 1995).

Campagne Sostani.

Des simulations de la période relative à la campagne de 1991 près de la centrale thermique de Sostani en Slovénie ont été réalisées conjointement par ENEL, CISE et Josef Stefan Institute de Lubiana. Le site est modérément montagneux et les situations de stabilité simulées étaient caractérisées par des conditions neutres et instables, avec quelques périodes de vent calme. Les résultats, présentés au congrès ENVIROSOFT 1994 de Barcelone (Espagne) et au workshop de Manno "Intercomparison of advanced practical short range atmospheric dispersion models" de 1993 (Tinarelli et al., 1993), ont été comparés avec ceux de modèles eulériens simples pour terrain complexe et d'un modèle lagrangien à bouffées montrant une supériorité de la part du modèle SPRAY qui se prête mieux à la simulation de situations complexes. Le travail mis en œuvre pour effectuer ces simulations avec SPRAY est décrit entre autre dans un rapport interne de l'ENEL (Tinarelli et al., 1994).

Applications :

Poste de centralisation intelligent de Fusina et Porto Marghera. Une version simplifiée du code dénommée SPRAY/S a été mis en œuvre sur le nœud automatique de relevé environnemental de la région de Fusina et port Marghera (Stefani et al. 1997) où il est en mesure de fonctionner en temps réel, alimenté par des données fournies en automatique par le système d'acquisition des données.

Système de mesure environnemental de la décharge de Barricalla (Torino). A été mis en œuvre, sur un financement européen dans le cadre du projet LIFE 1, un système de contrôle de l'impact des émissions provenant de la décharge d'ordures toxiques située près de Turin dans la commune Barricalla (Pacitti et al., 1997). Le modèle SPRAY a été inséré dans ce système sur PC (Pacitti et al., 1997), et est utilisable sur demande pour réaliser des simulations de la dispersion des substances émises par la décharge ou des émissions du trafic provenant des axes routiers environnements.

Application dans le cadre de l'étude pluridisciplinaire du dépérissement du pin forestier et des autres espèces biogéniques de la vallée d'Aoste (Manzi et al., 1998). Des simulations de la dispersion des polluants provenant des principales émissions (trafic routier, industrie et chauffage domestique) recensées dans la région ont été effectuées sur un domaine de 100 × 80 km². Les simulations, sur une durée moyenne de 10 à 15 jours, ont permis de fournir une description climatologique du site sur un domaine extrêmement complexe, aussi bien pour des conditions estivales qu'hivernales.

Simulation des émissions provenant de la centrale thermoélectrique de Vado Ligure, pour le compte de la province de Savone. Des simulations de la dispersion des fumées émises par la centrale ont été réalisées sur une durée d'environ 10 jours sur un domaine de 20 × 23 km². L'objectif était de contrôler l'impact de la centrale sur le territoire environnant, à forte complexité topographique, et le niveau de représentativité du réseau de mesures météorologiques ou de qualité de l'air géré par l'ENEL et la province de Savone.

Références :

- Anfossi D. (1985) Analysis of plume rise data from five TVA Steam Plants. *J. Clim. appl. Met.* 24, 1225-1236
- Anfossi D., Brusasca G., Tinarelli G. (1990): "Simulation of atmospheric diffusion in low windspeed meandering conditions by a Monte Carlo dispersion model". *Il Nuovo Cimento C* 13, N. 6, 995 - 1006.
- Anfossi D., Brusasca G., Tinarelli G. (1990): "Results from a random walk dispersion model in low windspeed stable conditions", Proc. of 9th Symposium on Turbulence and Diffusion, American Meteorological Society, Roskilde (Denmark), April 30 - May 3, 6.1, 160-163.
- Anfossi D., Ferrero E., Brusasca G., Marzorati A., Tinarelli G. (1993): "A simple way of computing buoyant plume rise in Lagrangian stochastic dispersion models", *Atmospheric Environment* 27A, 1443-1451.
- Anfossi D., Desiato F., Tinarelli G., Brusasca G., Ferrero E., Sacchetti D.(1998): "TRANSALP 1989 Experimental Campaign - part II: Simulation of a tracer experiment with Lagrangian particle models.", *Atmospheric Environment*, 32, 7, 1157-1166.
- Brusasca G., Tinarelli G., Anfossi D. (1989): "Comparison between the results of a Monte Carlo atmospheric diffusion model and tracer experiments", *Atmospheric Environment* 23, 1263-1280.
- Brusasca G., Tinarelli G., Anfossi D. (1992): "Particle model simulation of diffusion in low windspeed stable conditions", *Atmospheric Environment* 26, 707-723.
- Brusasca G., Ferrero E., Anfossi D., Desiato F., Tinarelli G., Morselli M.G., Finardi S., Sacchetti D. (1995): "Intercomparison of 3-D flow and particle models with Transalp 1989 meteorological and tracer data", Proc. of the 21st CCMS-NATO meeting, Baltimore, 6-10 November, 1995, 386-394. *Air Pollution Modelling and its Application XI*, Plenum Press, 559-567
- Hanna S. R. Application in air pollution modelling in "Atmospheric Turbulence and Air Pollution Modelling". Ed. by S.T.M. Nieuwstadt and H.Van Dop, D.Reitell Pub. Comp., 1982, pp.275-310.
- Berkowicz, R., Hertel, O., Sørensen, N.N. and Michelsen, J.A., (1997), Modelling air pollution from traffic in urban areas. In *Flow and Dispersion Through Groups of Obstacles*, R.J. Perkins and S.E. Belcher (editors), Clarendon Press, Oxford, pp. 121-141.
- Hertel, O. and Berkowicz, R., (1989), Modelling pollution from traffic in a street canyon. Evaluation of data and model development, DMU Luft A-129, 77pp.
- Hertel, O and Berkowicz, R., (1989), Operational Street Pollution Model (OSPM). Evaluation of model on data from St. Olavs street in Oslo, DMU Luft A-135, 34pp. Khurshudyan L.H., W.H. Snyder, and I.Y. Nekrasov, 1981: Flow and dispersion of pollutants over two-dimensional hills. Rpt. No. EPA-600/4-81-067, Envir. Prot. Agcy., Res. Tri. Pk., N.C., USA
- Manzi G., Brusasca G., Morselli M.G., Tinarelli G. (1998): "Indagine generale per lo studio pluridisciplinare del deperimento del pino silvestre ed altre specie botaniche in Val D'Aosta, simulazione della dispersione in atmosfera degli inquinanti emessi dal traffico veicolare e dal riscaldamento", relazione ENEL/CRAM 1998-0022
- Pacitti M., Mensio P., Brusasca G., Tinarelli G., Genon G., Marchese F., Nobile G., Malvasi G. (1997): "Global evaluation of the activity of toxic and hazardous waste landfills using monitoring and modeling integrated system". Proc. of 5th International Conference "Air Pollution 1997", 16-18 September, Bologna, Italy. *Air Pollution V, modelling, monitoring and management*, 517-526, Computational Mechanics Publications.

- Paine, R.J. User's guide to the CTDM meteorological preprocessor (METPRO) program. US-EPA report EPA/600/8-88/004, 1988.
- Sagendorf J.D. and Dickson C.R. (1974): Diffusion under low windspeed, inversion conditions. NOAA Technical Memorandum ERL ARL-52
- Stefani A., Brusasca G., Grigolon E., Martinelli U., Marzorati A. (1997) "Integrazione di un sistema di supervisione ambientale nel sistema informativo della Centrale Termoelettrica di Fusina", Atti del 97° convegno AEI - Baveno (VB) 7-9 Maggio 1997.
- Tinarelli G., Giostra U., Ferrero E., Tampieri F., Anfossi D., Brusasca G., Trombetti F., (1992): "SPRAY, a 3-D particle model for complex terrain dispersion", Proc. of 10th Symposium on Turbulence and Diffusion, American Meteorological Society, Portland, Oregon (USA), 29-Sept. - 2 Oct, P2.9, 147-150.
- Tinarelli G., D. Anfossi, G. Brusasca, E. Ferrero, J. Moussafir (1993) "A complete 3-D Lagrangian particle model to simulate the dispersion of non-reacting airborne pollutants over complex terrain". Workshop on: Intercomparison of Advanced Practical Short-Range Atmospheric Dispersion Models. Manno (Svizzera), August 29 - September 3, 1993
- Tinarelli G., Anfossi D., Brusasca G., Ferrero E., Giostra U., Morselli M.G., Tampieri F., Trombetti F. (1993): "Lagrangian model simulation of 3-d concentration distribution over complex terrain", Proc. of the 20th CCMS-NATO meeting, Valencia, 29 November-3 December 1993; Air Pollution Modelling and its Application X, Plenum Press, 621-622.
- Tinarelli G., Anfossi D., Brusasca G., Ferrero E., Giostra U., Morselli M.G., Moussafir J., Tampieri F., Trombetti F. (1994): "Lagrangian particle simulation of tracer dispersion in the lee of a schematic two-dimensional hill", Journal of Applied Meteorology, Vol. 33, N. 6, 744-756.
- Tinarelli G., Brusasca G., Morselli M.G. (1994): "Il modello Lagrangiano a particelle SPRAY - Descrizione generale e validazioni", relazione ENEL/CRAM N. E1/94/10.
- Thomas P., Hubschmann W., Schuttelkops H., Vogt S., (1983): "Experimental determination of the atmospheric dispersion parameters at the Karlsruhe Nuclear Research Center for 160 m and 195 m emission heights. Part I: measured data. KfK Report 3456.
- Thomson D.J., (1984), Random walk modelling of diffusion in inhomogeneous turbulence, Q.J.R.Met.Soc. 110, 1107-1120.
- Thomson D.J. (1987), Criteria for the selection of stochastic models of particle trajectories in turbulent flows. J. Fluid Mech., 1987, 180, 529-556.