



(ID Modèle = 454913)

Ineris - 177722 - 1865607 - v1.0

09/07/2021

Etude des distances d'impact – Règle de Stern

PRÉAMBULE

Le présent document a été réalisé au titre de la mission d'appui aux pouvoirs publics confiée à l'Ineris, en vertu des dispositions de l'article R131-36 du Code de l'environnement.

La responsabilité de l'Ineris ne peut pas être engagée, directement ou indirectement, du fait d'inexactitudes, d'omissions ou d'erreurs ou tous faits équivalents relatifs aux informations utilisées.

L'exactitude de ce document doit être appréciée en fonction des connaissances disponibles et objectives et, le cas échéant, de la réglementation en vigueur à la date d'établissement du document. Par conséquent, l'Ineris ne peut pas être tenu responsable en raison de l'évolution de ces éléments postérieurement à cette date. La mission ne comporte aucune obligation pour l'Ineris d'actualiser ce document après cette date.

Au vu de ses missions qui lui incombent, l'Ineris, n'est pas décideur. Les avis, recommandations, préconisations ou équivalents qui seraient proposés par l'Ineris dans le cadre des missions qui lui sont confiées, ont uniquement pour objectif de conseiller le décideur dans sa prise de décision. Par conséquent, la responsabilité de l'Ineris ne peut pas se substituer à celle du décideur qui est donc notamment seul responsable des interprétations qu'il pourrait réaliser sur la base de ce document. Tout destinataire du document utilisera les résultats qui y sont inclus intégralement ou sinon de manière objective. L'utilisation du document sous forme d'extraits ou de notes de synthèse s'effectuera également sous la seule et entière responsabilité de ce destinataire. Il en est de même pour toute autre modification qui y serait apportée. L'Ineris dégage également toute responsabilité pour chaque utilisation du document en dehors de l'objet de la mission.

Nom de la Direction en charge du rapport : Direction Milieux et Impacts sur le Vivant

Rédaction : GAUTIER Francois - LEROY GUILLAUME; TOGNET FREDERIC

Vérification : QUERON JESSICA

Approbation : DURIF MARC - le 09/07/2021

Liste des personnes ayant participé à l'étude :

Table des matières

1	Contexte	7
2	Objectifs	7
3	Phase 1	7
3.1	Analyse des paramètres caractéristiques d'une source canalisée	7
3.2	Choix des valeurs et incréments des paramètres choisis pour la modélisation	9
3.2.1	Hauteur de la cheminée	9
3.2.2	Diamètre de la cheminée	9
3.2.3	Température à l'émission	9
3.2.4	Vitesse à l'émission	9
3.3	Choix des polluants étudiés	9
3.4	Choix des paramètres relatifs à l'environnement	9
3.4.1	Météorologie	9
3.4.2	Rugosité du sol	10
3.5	Choix de la maille de calcul	10
3.6	Création d'un programme de préparation automatique des fichiers ADMS	10
3.7	Réalisation des calculs	11
3.8	Visualisation des résultats	11
3.8.1	Post-traitement des fichiers de sortie	11
3.8.2	Développement d'un outil de visualisation des résultats	12
3.8.3	Analyse des résultats	13
3.9	Résultats	13
3.9.1	Distances d'impact maximal	13
3.9.2	Valeurs du rapport pour les situations testées	14
4	Phase 2	15
4.1	Choix des valeurs et incréments des paramètres choisis pour la modélisation	15
4.1.1	Hauteur de la cheminée	15
4.1.2	Diamètre de la cheminée	15
4.1.3	Température à l'émission	15
4.1.4	Vitesse à l'émission	15
4.2	Choix des polluants étudiés	15
4.3	Choix des paramètres relatifs à l'environnement	16
4.3.1	Météorologie	16
4.3.2	Rugosité du sol	16
4.4	Dimensions de la maille de calcul	16
4.5	Résultats	16
4.5.1	Distances d'impact maximal	16
4.5.2	Valeurs du rapport pour les situations testées	18
5	Conclusions	19
6	Bibliographie	20

Liste des tableaux

Tableau 1 : Valeurs communes des paramètres caractérisant un émissaire canalisé.....	8
Tableau 2: Rappel des bornes des paramètres caractéristiques des sources canalisées.....	10
Tableau 3: Récapitulatif des 16 configurations possibles pouvant être créées à partir des deux bornes de chaque paramètre	11
Tableau 4 : Temps de calcul nécessaire à la réalisation des 4 groupes de modélisations	11
Tableau 5 : Statistiques – distances d'impact maximal	14
Tableau 6 : Statistiques – distances d'impact maximal	18
Tableau 7 : Indicatif et nom des stations météorologiques utilisées dans cette étude.....	23

Liste des figures

Figure 1 : Capture d'écran de l'outil de visualisation en cours d'adaptation à l'étude de la règle empirique	12
Figure 2 : Localisation des points d'impact maximum par rapport à la source	13
Figure 3 : Fréquence d'occurrence des valeurs prises par r	14
Figure 4 : Positions des emplacements d'impact maximal.....	16
Figure 5 : Histogramme des ratios Distance d'impact/Hauteur d'émissaire, N = 17980	18
Figure 6 : Localisation des stations météorologiques retenues.....	23

Résumé

La règle de Stern [1] est une formule empirique qui permet d'estimer pour une émission canalisée placée dans un environnement non complexe, la distance du point d'impact maximum sur l'axe des vents dominants (Air pollution – A. Stern – Academic Press – 1974). Selon l'auteur elle se situe à 20 fois la hauteur du point d'émission pour des conditions de stabilité atmosphérique neutre ou instable.

Dans le guide méthodologique pour la surveillance dans l'air des installations classées publiées par l'Ineris en 2016 [2] malgré l'intérêt qu'elle pourrait représenter pour obtenir une première estimation de la distance d'impact maximal, cette règle est considérée comme trop incertaine. Avant d'être utilisée elle mériterait d'être évaluée au regard de l'évolution des modèles de calcul actuels.

Les travaux effectués et présentés dans ce rapport ont pour objectif de vérifier la robustesse de cette règle. En effet, elle pourrait représenter une alternative intéressante pour estimer les distances d'impact maximum pour un site industriel avec un émetteur canalisé situé dans un environnement non complexe. Dans ce but, l'Ineris a réalisé la modélisation de la dispersion atmosphérique d'émissaires canalisés fictifs via le modèle gaussien ADMS 5, couplés à des données météorologiques réelles, représentatives des différentes conditions météorologiques que l'on peut rencontrer en France.

Une première phase de l'étude a consisté à limiter les travaux aux bornes extrêmes des paramètres d'influence retenus, ceci afin de déterminer les grandes tendances sur les distances d'impact et d'affiner par la suite chaque paramètre de manière à limiter les calculs correspondants. La seconde phase de l'étude, plus précise, a ensuite permis de préciser les résultats.

Les résultats obtenus dans cette étude n'ont pas permis de confirmer la règle de Stern, ni d'en proposer une autre. Dans les conditions testées, la grande majorité des typologies d'émissaires testés dans cette étude ont en moyenne annuelle des distances d'impact maximal ne dépassent pas 1500 mètres, seule la catégorie d'émissaires de hauteur importante (entre 100 et 300 mètres) peuvent-être associée à des distances d'impact maximal plus importantes.

Compte tenu de ces résultats et des autres paramètres d'influence non testées dans cette étude, il semble donc que cette règle ne peut être utilisée pour estimer les distances d'impact et qu'un modèle de dispersion atmosphérique reste l'outil à privilégier.

Pour citer ce document, utilisez le lien ci-après :

Institut national de l'environnement industriel et des risques, , Verneuil-en-Halatte : Ineris - 177722 - v1.0, 09/07/2021.

Mots-clés :

ICPE, distance d'impact, Stern, modélisation atmosphérique

1 Contexte

La règle de Stern [1] est une formule empirique qui permet d'estimer pour une émission canalisée placée dans un environnement non complexe, la distance du point d'impact maximum sur l'axe des vents dominants (Air pollution – A. Stern – Academic Press – 1974). Selon l'auteur elle se situe à 20 fois la hauteur du point d'émission pour des conditions de stabilité atmosphérique neutre ou instable.

Dans le guide méthodologique pour la surveillance dans l'air des installations classées publiées par l'Ineris en 2016 [2] malgré l'intérêt qu'elle pourrait représenter pour obtenir une première estimation de la distance d'impact maximal, cette règle est considérée comme trop incertaine. Avant d'être utilisée elle mériterait d'être évaluée au regard de l'évolution des modèles de calcul actuels.

2 Objectifs

Les travaux effectués et présentés ci-après ont pour objectif de vérifier la règle empirique de Stern. Dans ce but, l'Ineris a réalisé la modélisation de la dispersion atmosphérique d'émissaires canalisés fictifs, couplés à des données météorologiques réelles, représentatives des différentes conditions météorologiques que l'on peut rencontrer en France.

Les modélisations de la dispersion atmosphérique des rejets canalisés ont été réalisées via le modèle gaussien ADMS 5. Celui-ci permet de simuler la dispersion atmosphérique de rejets issus d'une ou de plusieurs sources canalisées dans un environnement non complexe ([3], [4]). Une première phase de l'étude a consisté à limiter les travaux aux bornes extrêmes des paramètres d'influence, ceci afin de déterminer les grandes tendances sur les distances d'impact et d'affiner par la suite chaque paramètre de manière à limiter les calculs correspondants. La seconde phase de l'étude a ensuite permis de préciser les résultats.

3 Phase 1

Le modèle ADMS 5 permet de simuler la dispersion des rejets atmosphériques d'une ou de plusieurs sources, caractérisées par différents paramètres :

- La nature de l'émission : ponctuelle, surfacique ou volumique,
- Les dimensions physiques : hauteur, diamètre,
- La vitesse et la température du rejet,
- La nature physico-chimique du polluant émis.

La modélisation nécessite également la définition de la météorologie moyenne autour du site. Afin de réaliser des modélisations les plus représentatives des conditions rencontrées en cas réel, une première étape de l'étude a consisté à définir le plus précisément les paramètres caractéristiques des sources d'émission et les jeux de données météorologiques.

3.1 Analyse des paramètres caractéristiques d'une source canalisée

La première étape de l'étude a consisté à définir précisément les valeurs des paramètres caractérisant une source canalisée en situation réelle. Les hauteurs des émissaires canalisés faisant l'objet d'une déclaration des émissions polluantes ont été récupérés dans le registre français des émissions polluantes BDREP¹. Pour les autres paramètres, les données ont été collectées à partir de l'exploitation de différents rapports d'études sur sites industriels réalisées par l'Ineris. Elles sont présentées dans le Tableau 1 et classées par secteur d'activité.

¹ Inventaire national des substances et polluants potentiellement dangereux rejetés dans l'air, l'eau et le sol, et de la production et du traitement des déchets dangereux et non dangereux.

Tableau 1 : Valeurs communes des paramètres caractérisant un émissaire canalisé

Paramètre	UIOM	Process Chimiques	Sidérurgie	Cimenterie	Installations de combustion	Bornes des paramètres retenues
Hauteur de cheminée (h)	$10 \text{ m} \leq h \leq 50 \text{ m}$	$10 \text{ m} \leq h \leq 50 \text{ m}$	$10 \text{ m} \leq h \leq 50 \text{ m}$	$10 \text{ m} \leq h \leq 80 \text{ m}$	$10 \text{ m} \leq h \leq 100 \text{ m}$	$10 \text{ m} \leq h \leq 200 \text{ m}$
Température (T)	$130 \leq T \leq 170 \text{ °C}$	$20 \leq T \leq 70 \text{ °C}$	$90 \leq T \leq 160 \text{ °C}$	$100 \leq T \leq 130 \text{ °C}$	$150 \leq T \leq 200 \text{ °C}$	$20 \leq T \leq 200 \text{ °C}$
Vitesse (V)	$12 \leq V \leq 30 \text{ m/s}$	$? \leq V \leq ?$	$11,5 \leq V \leq 13 \text{ m/s}$	$8 \leq V \leq 16 \text{ m/s}$	$? \leq V \leq 30 \text{ m/s}$	$5 \leq V \leq 30 \text{ m/s}$
Diamètre des conduits (D)	$1 \leq D \leq 6 \text{ m}$	$1 \leq D \leq 6 \text{ m}$	$1 \leq D \leq 8 \text{ m}$	$1 \leq D \leq 6 \text{ m}$	$1 \leq D \leq 6 \text{ m}$	$0.5 \leq D \leq 8.5 \text{ m}$

3.2 Choix des valeurs et incréments des paramètres choisis pour la modélisation

Afin de pouvoir tester la règle de Stern suivant différentes configurations d'émission, une gamme de valeurs relativement large a été définie pour chacun des différents paramètres caractérisant la source d'émission.

3.2.1 Hauteur de la cheminée

La hauteur d'une cheminée ne peut pas être inférieure à 10 mètres pour une installation classée soumise à autorisation². Les hauteurs maximales dépassant rarement 100 mètres, sauf pour des activités particulières comme le raffinage du pétrole et la production d'électricité, la valeur de 200 mètres est retenue comme valeur maximale.

3.2.2 Diamètre de la cheminée

Le diamètre des cheminées d'une ICPE soumise à autorisation est régulièrement compris entre 1 et 6 mètres. Des valeurs inférieures à 1 mètre ou proches de 8 mètres sont également observées, en particulier pour de petites ou très grosses installations. La gamme allant de 0.5 à 8.5 m pour le diamètre est retenue.

3.2.3 Température à l'émission

La température des rejets dépend du secteur d'activité et du système de traitement utilisé. Pour les process chimiques, les températures de rejets sont assez faibles (température ambiante à 70°C), pour d'autres elles sont plus élevées (jusqu'à 200°C pour la combustion).

3.2.4 Vitesse à l'émission

La vitesse des rejets gazeux est réglementée³. Selon le secteur d'activité, les vitesses varient de 5 à 30 m/s. Pour la vitesse, les valeurs testées s'échelonnent de 0.5 à 30.5 m/s. L'intérêt de choisir une borne minimale (0.5 m/s) plus faible que la valeur réglementée s'explique par la nécessité de prendre en compte des gammes de valeurs caractéristiques des émissions diffuses, pour laquelle les vitesses sont en général plus faibles.

3.3 Choix des polluants étudiés

L'ensemble des simulations prend en compte quatre polluants : un gaz (NOx) et trois types de particules : PM_{2.5}, PM₁₀ et PM₅₀. Ce choix se justifie par la nécessité de prendre en compte les différences relatives à la dispersion et au dépôt atmosphérique de ces polluants. Chacun des polluants est défini pour la source canalisée par un flux unitaire.

3.4 Choix des paramètres relatifs à l'environnement

3.4.1 Météorologie

Afin de pouvoir obtenir des résultats représentatifs des différentes conditions météorologiques rencontrées sur le territoire national, les données météorologiques de 40 stations Météo France de métropole ont été utilisées [5]. Ces données libres, au format tri-horaire, ont dans un premier temps été formatées pour être lisibles par ADMS. Seuls les paramètres requis ont été extraits : année, jour julien, heure, température, vitesse et direction du vent, taux de précipitation, humidité relative et nébulosité.

² Arrêté du 02 février 1998, article 52

³ Arrêté du 02/02/1998, article 57 : « La vitesse d'éjection des gaz en marche continue maximale est au moins égale à 8 m/s si le débit d'émission de la cheminée considérée dépasse 5 000 m³/h, 5 m/s si ce débit est inférieur ou égal à 5 000 m³/h. »

Ce dernier paramètre contenait de nombreuses données manquantes qui ont été interpolées via une macro Excel.

Afin de prendre en compte les variations temporelles des conditions météorologiques, il est recommandé de simuler des périodes de plusieurs années [3]. Dans notre étude, les données météorologiques des cinq dernières années (du 1^{er} juin 2011 au 31 mai 2016) ont été sélectionnées pour chaque station.

3.4.2 Rugosité du sol

La rugosité du sol définit le type d'occupation du sol pris en compte pour les simulations. La hauteur de rugosité dépend du type de terrain étudié.

Les terrains proches des sources d'émission canalisées sont le plus souvent urbanisés et le choix de la hauteur de rugosité s'est donc porté sur une valeur correspondante, soit $z_0 = 1$ mètre. Cette valeur est fixée pour l'ensemble des tests afin de limiter le nombre de simulations dans un premier temps.

3.5 Choix de la maille de calcul

Le temps de calcul lié à chacune des simulations effectuées dépend directement du nombre de points de calcul. Il est donc nécessaire de définir précisément les dimensions du domaine d'étude autour de la source d'émission afin de réduire le temps de calcul associé à chaque simulation.

Dans cet objectif, les hypothèses suivantes ont été retenues :

- Si la règle empirique est vérifiée, pour les hauteurs maximales de cheminées considérées pour cette étude (200 mètres), la distance du point d'impact maximum dans l'axe des vents dominants serait proche de 4000 mètres.
- La grande variabilité des conditions météorologiques (notamment le vent) en fonction des stations incite à définir une zone plus grande pour vérification.

A partir de ces deux hypothèses, le domaine d'étude retenu est de 20 km x 20 km, centré sur la source d'émission (soit 10 km de part et d'autre de la source). Le nombre de points de calcul étant limité dans ADMS 5, le choix s'est porté sur une maille carrée de 200 mètres de côté, soit 10 000 points de calcul sur tout le domaine d'étude. Pour chacun des points de ce maillage, ADMS réalisera un calcul « long-terme », à savoir un calcul de la concentration moyenne de chaque polluant sur la période choisie (5 ans).

3.6 Création d'un programme de préparation automatique des fichiers ADMS

Le nombre de simulations à effectuer croit très rapidement en fonction de l'incrément choisi pour chacun de ces paramètres. Afin d'obtenir de premiers résultats mobilisant peu de temps de calcul, il est choisi de ne tester dans un premier temps que les bornes de ces quatre paramètres. Le nombre de sources correspondant est alors de 2^4 , soit 16 simulations [6].

Tableau 2: Rappel des bornes des paramètres caractéristiques des sources canalisées

Paramètre	Hauteur	Vitesse	Diamètre	Température
Minimum	10	0.5	0.5	20
Maximum	200	30.5	8.5	200

Tableau 3: Récapitulatif des 16 configurations possibles pouvant être créées à partir des deux bornes de chaque paramètre

Source n°	Hauteur	Vitesse	Diamètre	Température
1	10	0.5	0.5	20
2	10	0.5	0.5	200
3	10	0.5	8.5	20
4	10	0.5	8.5	200
5	10	30.5	0.5	20
6	10	30.5	0.5	200
7	10	30.5	8.5	20
8	10	30.5	8.5	200
9	200	0.5	0.5	20
10	200	0.5	0.5	200
11	200	0.5	8.5	20
12	200	0.5	8.5	200
13	200	30.5	0.5	20
14	200	30.5	0.5	200
15	200	30.5	8.5	20
16	200	30.5	8.5	200

En prenant en compte 40 situations météorologiques différentes, le nombre total de simulations à créer via l'interface du modèle ADMS sera de : 16 x 40 soit 640 simulations.

Il est donc utile d'automatiser la création des fichiers de paramétrage des modélisations ADMS (fichiers APL). Ces fichiers texte contiennent tous les paramètres choisis par l'utilisateur (le scénario de la simulation) et sont lus par le modèle lors de son exécution. Un programme d'automatisation a été créé en langage C++.

3.7 Réalisation des calculs

Une fois les fichiers APL créés, les 640 modélisations ont été réalisées automatiquement par le modèle ADMS 5 en 4 groupes distincts. Les temps de calcul correspondants sont détaillés dans le Tableau 4.

Tableau 4 : Temps de calcul nécessaire à la réalisation des 4 groupes de modélisations

Groupe 1	Groupe 2	Groupe 3	Groupe 4
21h	17h	22h	22h

3.8 Visualisation des résultats

3.8.1 Post-traitement des fichiers de sortie

Chacune des 640 modélisations conduit à la création d'un fichier de sortie contenant les valeurs de concentrations moyennes (sur 5 ans) des différents polluants au niveau du sol pour chacun des 10 000 points de calcul.

Afin de pouvoir visualiser facilement et rapidement les 640 fichiers de sortie, l'Ineris a utilisé un outil de visualisation des résultats ADMS. Une étape de post-traitement des fichiers de sortie ADMS, a également été réalisée afin d'extraire des fichiers les concentrations des différents polluants pour chaque point du maillage. Ce programme crée alors un fichier « .csv » par polluant, contenant trois colonnes (X, Y, Concentration).

3.8.2 Développement d'un outil de visualisation des résultats

Un outil de visualisation (figure 1) développé en C++ permet de tracer les champs de concentrations calculés par ADMS. Il s'appuie pour cela sur les données de concentrations issues des fichiers précédemment créés.

Trois onglets permettent de visualiser différents champs de concentration situés à hauteur d'homme des gaz et particules générées par la source :

- Onglet 1 : Les oxydes d'azote (NOx) en $\mu\text{g}/\text{m}^3$,
- Onglet 2 : Les particules PM_{10} en $\mu\text{g}/\text{m}^3$,
- Onglet 3 : Les particules $\text{PM}_{2.5}$ en $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Un quatrième onglet « rapport » synthétise toutes les données d'entrées choisies et les résultats (export possible dans un document au format PDF).

Une fenêtre à gauche permet de renseigner :

- Les caractéristiques de la source (hauteur, diamètre, vitesse et température de la cheminée),
- Les conditions environnementales (situation météorologique).

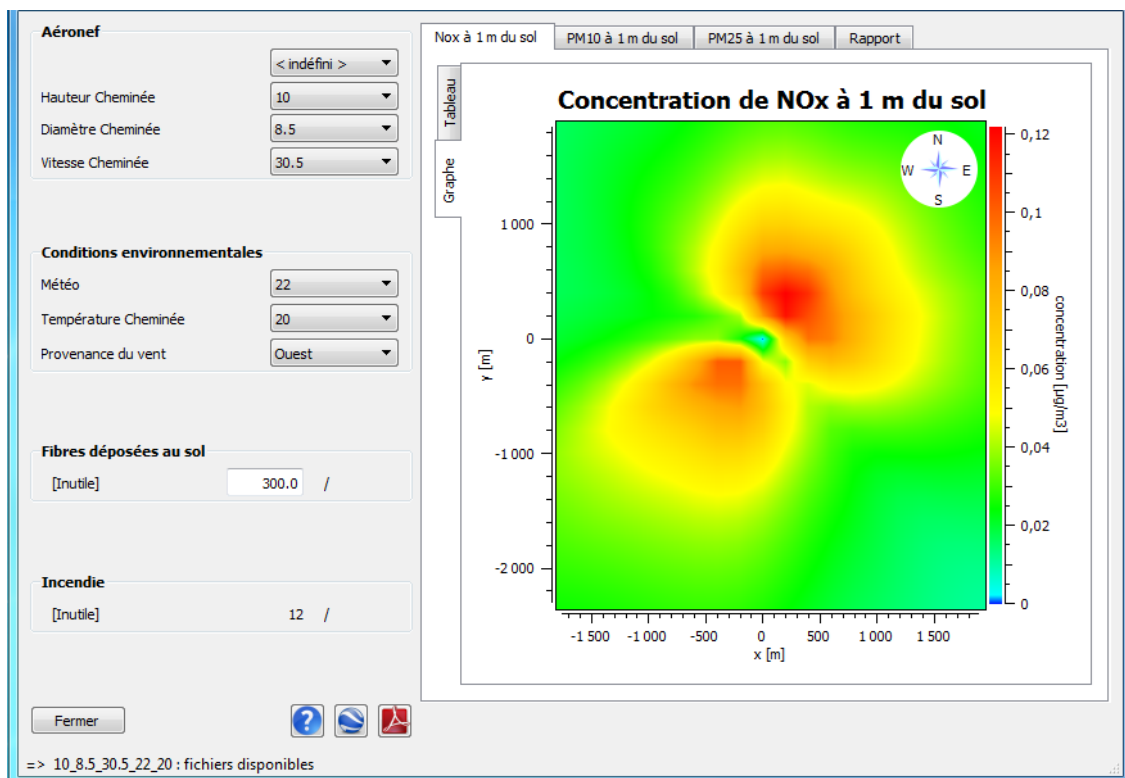


Figure 1 : Capture d'écran de l'outil de visualisation en cours d'adaptation à l'étude de la règle empirique

A chacune des combinaisons de paramètres possibles, l'outil affecte le fichier csv correspondant en comparant les valeurs des paramètres choisis par l'utilisateur à celles indiquées dans le nom du fichier csv. Les 3 onglets se mettent alors automatiquement à jour et permettent de visualiser l'étendue horizontale de l'impact de la source, située au point de coordonnées $X = 0$ m et $Y = 0$ m. Les données sur les champs de concentration sont également présentées sous la forme d'un tableau disponible sur l'onglet « tableau ».

Un bouton rapport permet de synthétiser toutes les données d'entrées choisies et les résultats dans un document au format PDF. Les 3 graphes présentant les champs de concentration des gaz et particules sont présentés.

La présentation actuelle de l'outil ne permet pas une visualisation optimale de toutes les données obtenues via les calculs ADMS. Un certain nombre d'optimisations est donc nécessaire. Le chapitre 6.2 de cette note regroupe toutes les informations jugées utiles à prendre en compte pour la suite de l'étude.

3.8.3 Analyse des résultats

L'outil permet de visualiser les résultats des simulations ADMS sous forme graphique et de prendre connaissance de la localisation des zones de concentration maximum par rapport à la source. Il ne permet cependant pas de distinguer facilement le point de calcul pour lequel la concentration est maximale ni d'en déduire rapidement la distance de ce point par rapport à la source. L'ensemble des modélisations sont basées sur une configuration proche d'une émission diffuse.

Le modèle ADMS crée, en fin de simulation, un fichier texte d'extension dans lequel les valeurs de concentrations maximales, ainsi que les coordonnées X et Y des points correspondants, sont écrits pour chaque polluant.

Dans l'objectif de traiter les résultats issus de la phase de test et de référencer les différents points à améliorer concernant l'étude, un programme a été développé en langage C en parallèle de l'outil de visualisation.

Ce programme est particulièrement utile afin de traiter rapidement les résultats d'un grand nombre de simulations et d'obtenir pour chaque situation la distance du point d'impact maximum par rapport à la source. Cependant, il ne permet pas de prendre en compte avec précision les situations pour lesquelles la rose des vents associée est bimodale et les cas où aucune direction de vent n'est privilégiée.

3.9 Résultats

3.9.1 Distances d'impact maximal

Le fichier de sortie regroupe l'ensemble des coordonnées des points d'impact maximum, tous paramètres confondus (NO_x, PM_{2.5}, PM₁₀ et PM₅₀). Le graphique de la Figure 2 permet de déterminer rapidement la localisation de ces points par rapport à la source.

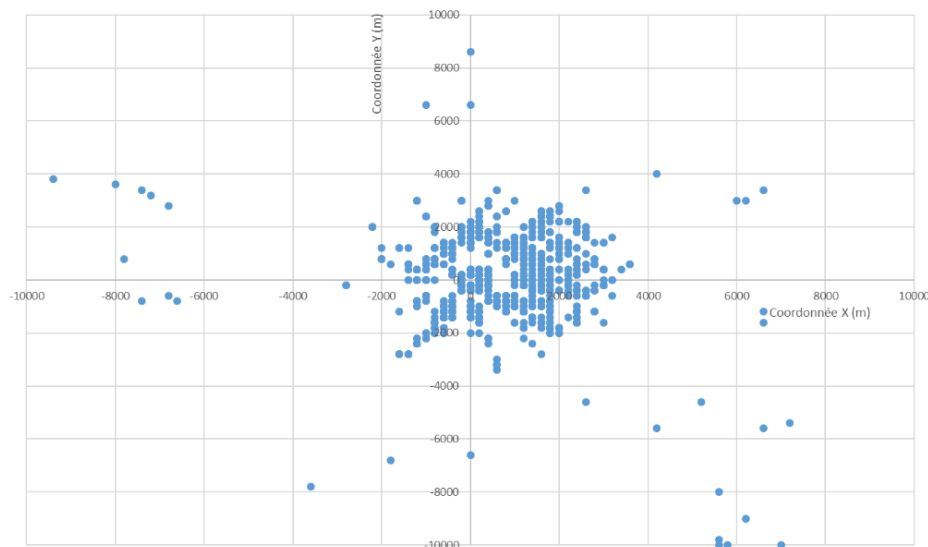


Figure 2 : Localisation des points d'impact maximum par rapport à la source

Dans les conditions testées, la grande majorité des points d'impact maximum d'une source canalisée est localisée à moins de 4 kilomètres autour de la source, principalement en quart Nord Est ou Sud Est. Les statistiques générales sur les résultats des 2404 modélisations sont présentées dans le tableau suivant.

Tableau 5 : Statistiques – distances d'impact maximal

	Distance d'impact maximal (m)
Médiane	1 020
Centile 80	1 844
Centile 90	2 408
Centile 98	3 256

Seules 33 configurations (2%) présentent une distance d'impact supérieure à 4000 mètres. Elles correspondent toutes à une configuration d'émetteur de hauteur 200 mètres. Pour ce qui est de la météorologie associée, ces distances sont obtenues pour 13 stations sur les 40 utilisées.

En revanche, l'ensemble des modélisations basées sur une configuration proche d'une émission diffuse (N=484), c'est-à-dire hauteur de 10 m et vitesse de 0,5 m/s, conduit à une distance d'impact de 200 mètres (N=441) ou de 282 mètres (N=43). Si cela confirme que l'impact maximal des émissions diffuses se fait très près des sources, la taille de la maille utilisée ici (carré de 200 m de côté) ne permet pas d'étudier plus finement cette configuration.

3.9.2 Valeurs du rapport pour les situations testées

Grâce au calcul automatique de r pour toutes les situations testées, il est possible de faire une première comparaison des résultats à la règle empirique en portant un regard sur les fréquences d'occurrence des valeurs prises par r .

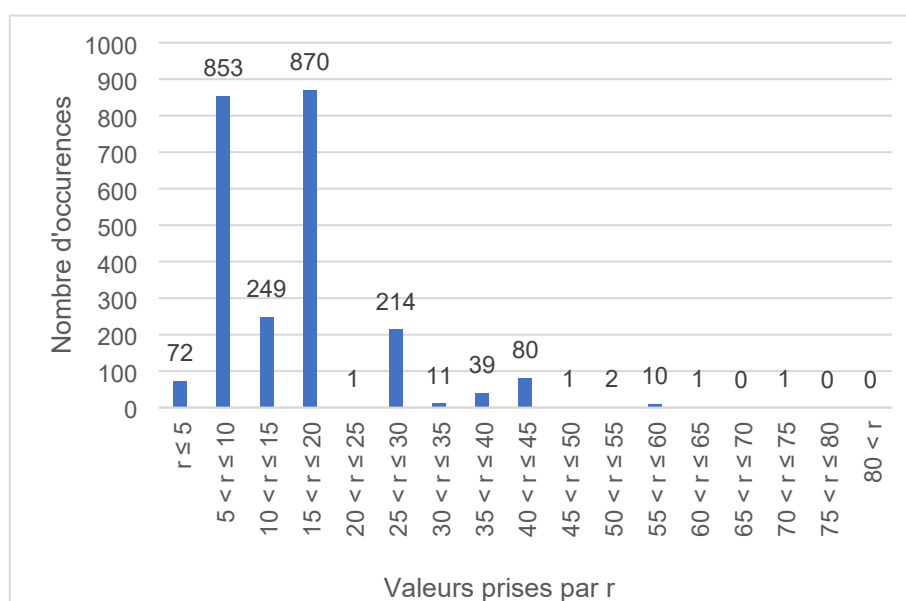


Figure 3 : Fréquence d'occurrence des valeurs prises par r

La Figure 3 montre que la grande majorité des valeurs de r sont situées entre 5 et 20 (1972 valeurs, soit 82 %). La classe $15 < r \leq 20$ est celle qui donne le plus grand nombre d'occurrences ; un nombre de situations quasiment équivalent correspond à la classe $5 < r \leq 10$. La moyenne de r pour l'ensemble de simulations est de 16,4.

Bien que ces premiers résultats soient intéressants, ils ne permettent pas de confirmer ni d'infirmer la règle empirique en regardant uniquement les résultats de l'étude des bornes. En effet, le rapport dépend directement des coordonnées des points d'impact maximum déterminés par ADMS. Le maillage choisi (maille de 200 m) laisse une grande incertitude sur les distances et n'apporte pas la précision nécessaire pour vérifier la règle empirique. Il a été nécessaire de réaliser des tests supplémentaires avec des valeurs intermédiaires pour les paramètres relatifs aux sources (hauteur, vitesse, diamètre, température).

4 Phase 2

Sur la base des résultats obtenus en phase 1, une seconde phase de modélisations a été réalisée. Afin d'optimiser les temps de calculs correspondants, une optimisation de chaque paramètre a été effectuée.

4.1 Choix des valeurs et incréments des paramètres choisis pour la modélisation

4.1.1 Hauteur de la cheminée

Une première étape a consisté à récupérer les hauteurs des émissaires canalisés faisant l'objet d'une déclaration des émissions polluantes sous le registre français des émissions polluantes BDREP⁴. En 2015, les hauteurs de 5927 émissaires canalisés ont ainsi pu être récupérées.

D'après les données récupérées sous BDREP pour l'année 2015, 50 % des 5927 émissaires canalisés déclarant des émissions polluantes ont une hauteur inférieure à 15 mètres. 95 % de ces mêmes émissaires ont une hauteur inférieure à 60 m. Seuls 1 % des émissaires (soit N=56) ont une hauteur supérieure à 90 mètres. On les retrouve majoritairement dans le secteur de la production d'électricité (N=14), du raffinage de pétrole (N=10), des cimenteries (N=7) ou encore de la sidérurgie (N=3). On peut considérer que la modélisation de la dispersion atmosphérique des rejets de ce type d'émissaire est bien maîtrisée et que par conséquent les distances d'impact sont connues avec précision.

Par conséquent, les hauteurs d'émissaires suivantes sont prises en compte : 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 et 90 mètres.

4.1.2 Diamètre de la cheminée

Le diamètre des cheminées d'une ICPE soumise à autorisation est régulièrement compris entre 1 et 6 mètres. Des valeurs inférieures à 1 mètre ou proches de 8 mètres sont également observées, en particulier pour de petites ou très grosses installations.

La gamme allant de 0.5 à 8.5 m pour le diamètre est retenue, mais avec plus de détails : 0.5, 2.5, 4.5, 6.5 et 8.5 mètres.

4.1.3 Température à l'émission

Afin d'avoir plus de valeurs au sein de la gamme, les valeurs suivantes sont retenues : 20, 50, 100, 150 et 200° C.

4.1.4 Vitesse à l'émission

Pour la vitesse, les seules valeurs testées sont 5 et 30 m/s.

4.2 Choix des polluants étudiés

L'ensemble des simulations prend en compte quatre polluants : un gaz (NOx) et trois types de particules : PM_{2.5}, PM₁₀ et PM₅₀. Ce choix se justifie par la nécessité de prendre en compte les différences relatives à la dispersion et au dépôt atmosphérique de ces polluants. Chacun des polluants est défini pour la source canalisée par un flux unitaire.

⁴ Inventaire national des substances et polluants potentiellement dangereux rejetés dans l'air, l'eau et le sol, et de la production et du traitement des déchets dangereux et non dangereux.

4.3 Choix des paramètres relatifs à l'environnement

4.3.1 Météorologie

L'ensemble de données issue des stations utilisées en phase 1 sont reprises en phase 2.

4.3.2 Rugosité du sol

Une rugosité $z_0 = 1$ mètre est maintenue pour l'ensemble des tests.

4.4 Dimensions de la maille de calcul

Sur le domaine d'étude optimisé (6x6 km), une maille carrée de 50 mètres de côté est retenue pour permettre d'affiner les distances d'impact et de pouvoir étudier plus finement la règle de Stern.

4.5 Résultats

4.5.1 Distances d'impact maximal

La position des points d'impact maximal issus des 17980 modélisations, tous paramètres confondus (NO_x, PM_{2.5}, PM₁₀ et PM₅₀) est présenté sur la Figure 4.

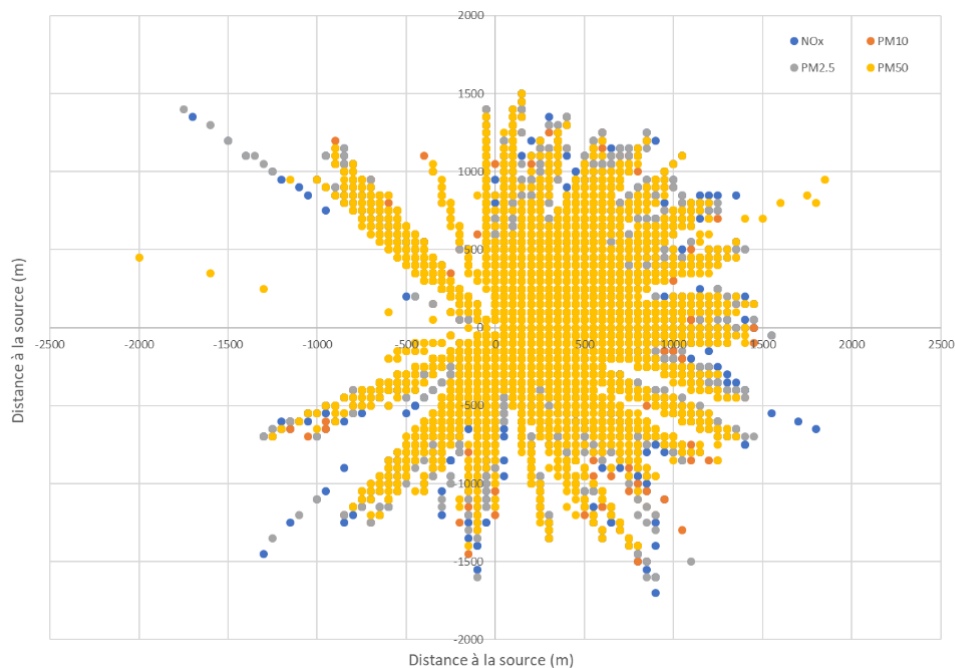


Figure 4 : Positions des emplacements d'impact maximal

Pour les conditions testées, la grande majorité des points d'impact maximum d'une source canalisée de hauteur comprise entre 10 et 90 mètres est localisée à moins de 1 500 mètres de la source, principalement en quart Nord Est (N=8371, soit 47 %) ou Sud Est (N=7280, soit 40 %). Les statistiques générales sur les résultats des 17980 modélisations sont présentées dans le

Tableau 6.

Tableau 6 : Statistiques – distances d'impact maximal

	Distance d'impact max (m)
Médiane	461
Centile 80	762
Centile 90	951
Centile 98	1 250

Seules 19 configurations (0.1%) présentent une distance d'impact supérieure à 2000 mètres. Elles correspondent toutes à une configuration d'émetteur de hauteur 70, 80 ou 90 mètres associée uniquement aux stations météorologiques n°24, 27 et 30. Compte tenu de la faible représentativité statistique de ces données, il a été décidé de les exclure de l'exploitation.

4.5.2 Valeurs du rapport pour les situations testées

Pour chacune des 17980 modélisations réalisées, la valeur du ratio Distance d'impact max/Hauteur émissaire a été calculée. L'histogramme de l'ensemble des valeurs est présenté ci-dessous.

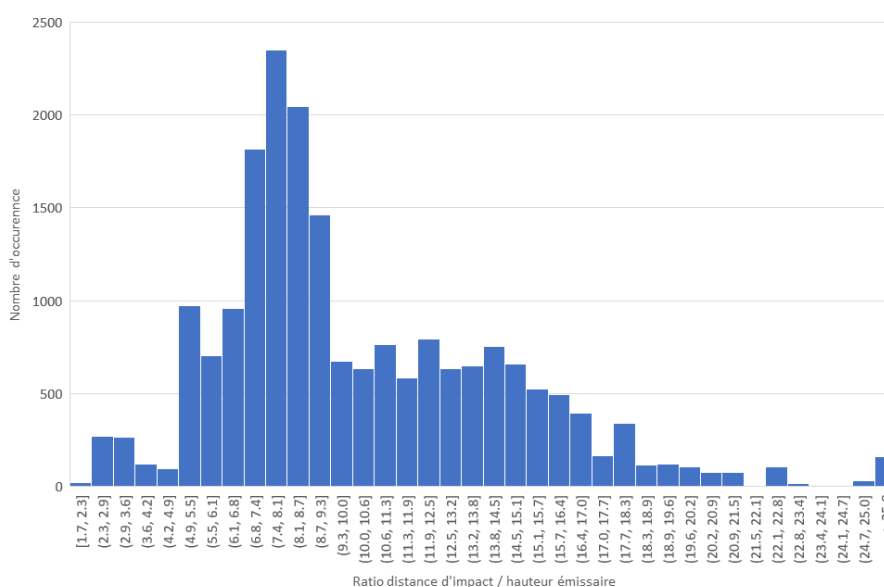


Figure 5 : Histogramme des ratios Distance d'impact/Hauteur d'émissaire, N = 17980

D'après les données présentées sur la figure précédente, il apparaît très difficile de confirmer la règle de Stern pour les cas testés. La quasi-majorité des ratios est très inférieure au ratio de 20 proposé. Même si de nombreuses hypothèses ont été formulées dans cette étude, ces résultats tendent à démontrer que les distances d'impact maximal sont plus petites que celles proposées par Stern, ceci quelle que soit la hauteur de l'émissaire. La gamme de valeurs présentée par le ratio étant très large, il n'est pas non plus possible de proposer une mise à jour de cette valeur de manière fiable.

5 Conclusions

Dans les conditions testées, la grande majorité des typologies d'émissaires testés dans cette étude ont en moyenne annuelle des distances d'impact maximal ne dépassent pas 1500 mètres, seule la catégorie d'émissaires de hauteur importante (entre 100 et 300 mètres) peuvent-être associée à des distances d'impact maximal plus importantes.

Ils montrent par ailleurs qu'il n'est ni possible de confirmer la règle de Stern, ni possible d'en proposer une autre pour estimer la distance du point d'impact maximal.

Compte tenu de ces résultats et des autres paramètres d'influence non testées dans cette étude, il semble donc que cette règle ne peut être utilisée pour estimer les distances d'impact maximal et qu'un modèle de dispersion atmosphérique reste l'outil à privilégier.

6 Bibliographie

[1] A. Stern, 1974. Air pollution. Academic Press.

[2] INERIS, 2016. Surveillance dans l'air autour des installations classées (No. DRC-14-136338-00126A).

[3] NUMTECH, 2016. Guide utilisateur ADMS Version 5.1.

[4] CERC, 2015. ADMS 5.1, User Guide.

[5] Données publiques Météo-France. Paramètres inclus dans les fichiers de données SYNOP. https://donneespubliques.meteofrance.fr/?fond=produit&id_produit=90&id_rubrique=32

[6] INERIS, Djeddou, M., LEROY, G., 2014. Etude de la dispersion des fumées d'incendie au moyen du code de calcul ADMS. Elaboration d'un outil d'aide à la décision.

ANNEXE 1

Stations météorologiques utilisées dans cette étude



Figure 6 : Localisation des stations météorologiques retenues

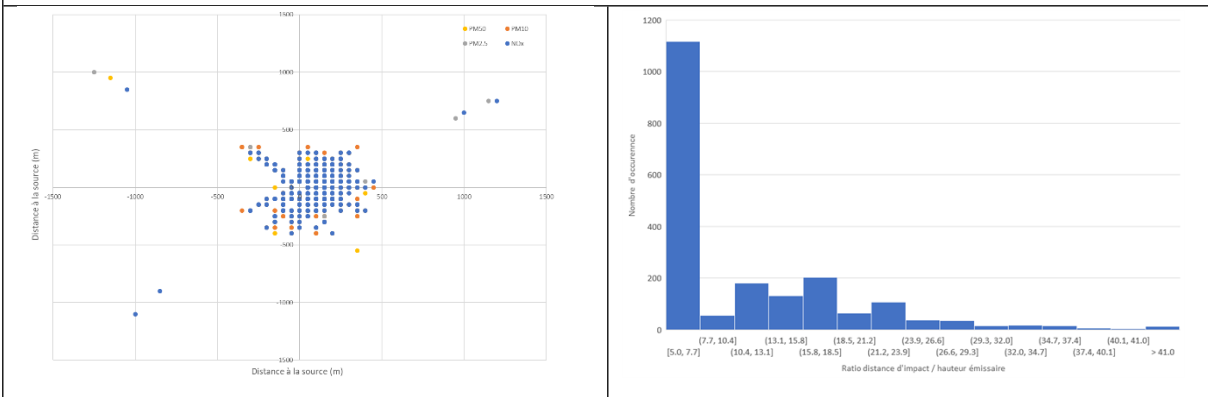
Tableau 7 : Indicatif et nom des stations météorologiques utilisées dans cette étude

ID	Nom	ID	Nom	ID	Nom
07005	ABBEVILLE	07240	TOURS	07621	TARBES-OSSUN
07015	LILLE-LESQUIN	07255	BOURGES	07627	ST GIRONS
07020	PTE DE LA HAGUE	07280	DIJON-LONGVIC	07630	TOULOUSE-BLAGNAC
07027	CAEN-CARPIQUET	07299	BALE-MULHOUSE	07643	MONTPELLIER
07037	ROUEN-BOOS	07314	PTE DE CHASSIRON	07650	MARIGNANE
07072	REIMS-PRUNAY	07335	POITIERS-BIARD	07661	CAP CEPET
07110	BREST-GUIPAVAS	07434	LIMOGES-	07690	NICE
07117	PLOUMANAC'H	07460	CLERMONT-FD	07747	PERPIGNAN
07130	RENNES-ST	07471	LE PUY-LOUDES	07761	AJACCIO
07139	ALENCON	07481	LYON-ST EXUPERY	07790	BASTIA
07149	ORLY	07510	BORDEAUX-		
07168	TROYES-BARBEREY	07535	GOURDON		
07181	NANCY-OCHEY	07558	MILLAU		
07190	STRASBOURG-	07577	MONTELMAR		
07207	BELLE ILE-LE TALUT	07591	EMBRUN		
07222	NANTES-	07607	MONT-DE-MARSAN		

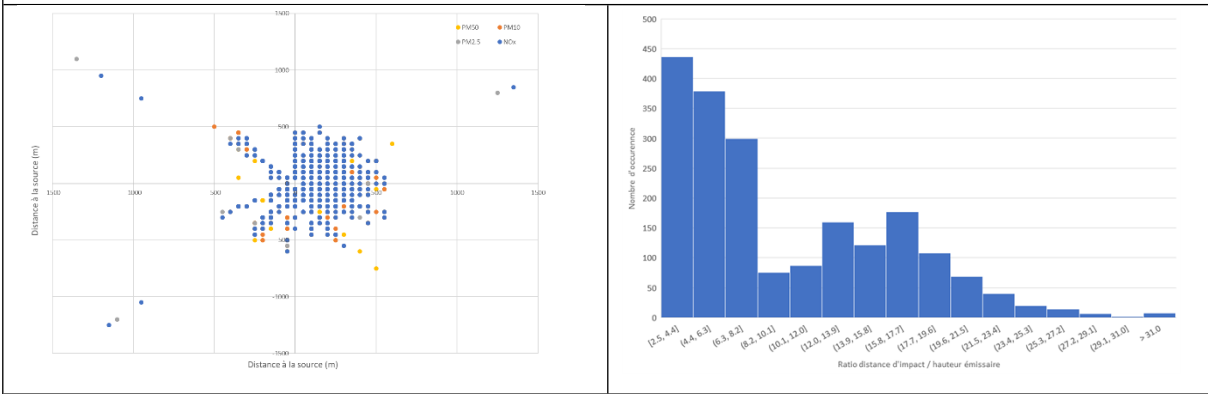
ANNEXE 2

Distances d'impact et ratios D/H par hauteur d'émissaire

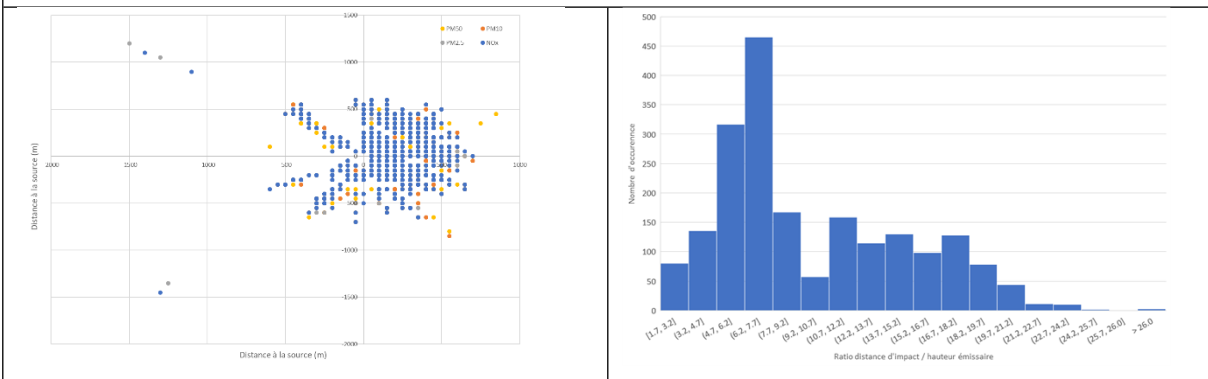
Hauteur H = 10 mètres



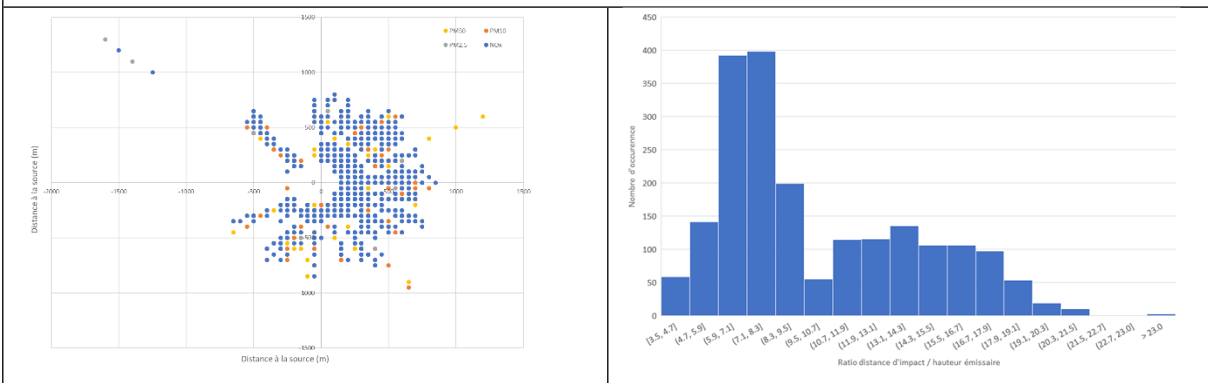
Hauteur H = 20 mètres



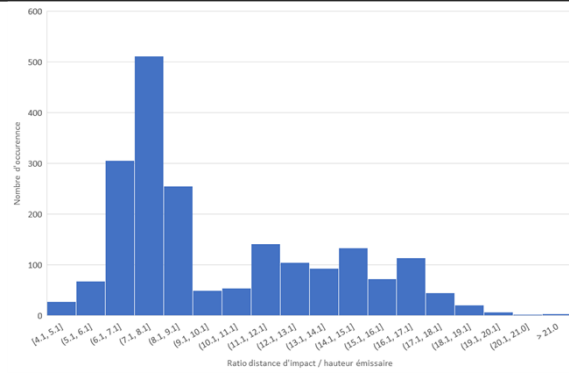
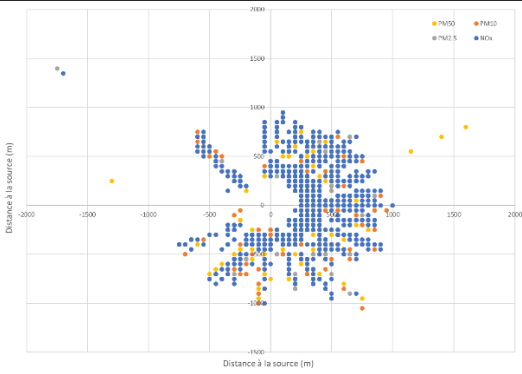
Hauteur H = 30 mètres



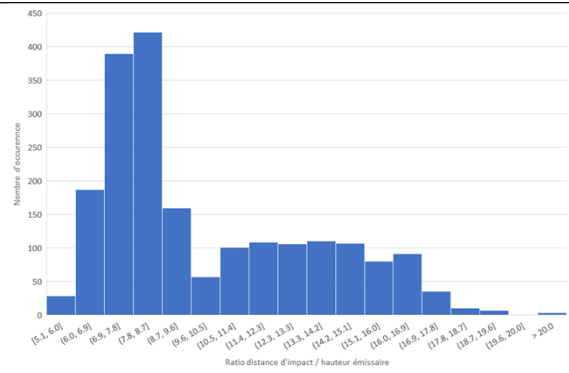
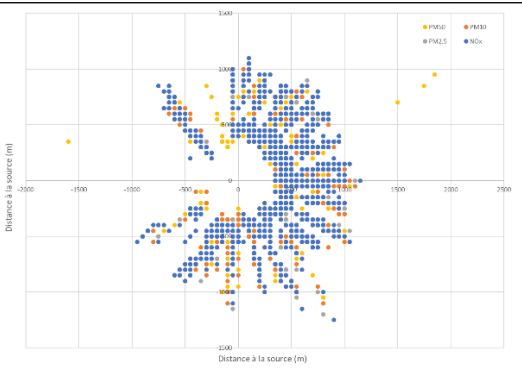
Hauteur H = 40 mètres



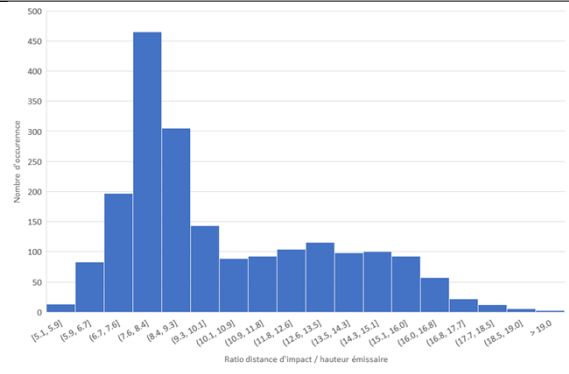
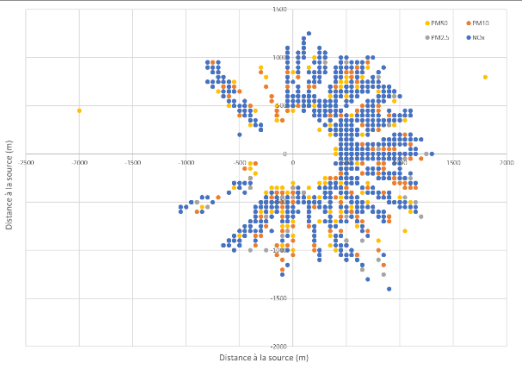
Hauteur H = 50 mètres



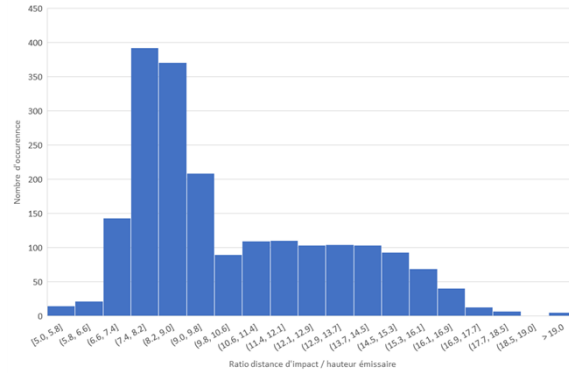
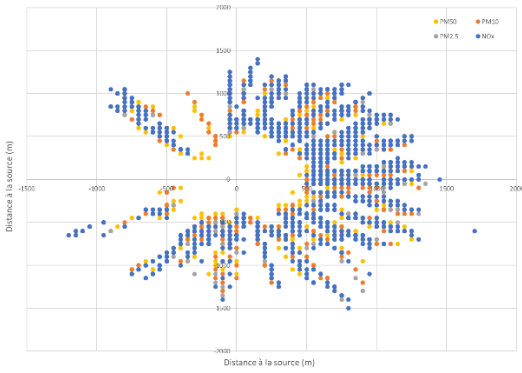
Hauteur H = 60 mètres



Hauteur H = 70 mètres



Hauteur H = 80 mètres



Hauteur H = 90 mètres

