
Analyse de sensibilité et d'incertitude associée aux calculs des risques pour la santé humaine

*Projet Laurentia de quai en eau profonde dans le port de
Québec - Secteur Beauport, Québec*

RAPPORT FINAL



IMAGE 1 GRAPH SYNERGY

Mars 2021

N/Réf. : 220358



**Analyse de sensibilité et d'incertitude
associée aux calculs des risques pour la santé humaine**

***Projet Laurentia de quai en eau profonde
dans le port de Québec -Secteur Beauport, Québec***

Rapport préparé pour :

M. Philippe Charest-Gélinas, Chef de projets
Études environnementales et Relations avec les communautés
Englobe Corp.
505, boul. du Parc-Technologique, bureau 200
Québec (Québec) G1P 4S9

Préparé par :

<Original signé par>

Sylvain Loranger, Ph.D.
Toxicologue (santé communautaire)

MESIQ inc.
302-4255 rue des Francs-Bourgeois
Boisbriand (Québec) J7H 0E3

N/Réf. : 220358

SOMMAIRE

L'Agence d'évaluation d'impact du Canada (AÉIC) a procédé à l'analyse de l'étude d'impact relative au projet de construction et d'opération d'un quai en eau profonde au port de Québec (Projet Laurentia) soumis par l'Administration portuaire de Québec (APQ). Ce projet soumis initialement en 2015 a été réorienté et optimisé en 2018 afin de considérer la création d'un terminal de conteneurs en eau profonde utilisant des technologies de pointe, notamment par l'électrification des opérations de manutention. Au cours de l'année 2017, l'AÉIC et ses différents ministères experts, dont Santé Canada (SC) et Environnement et Changement climatique Canada (ECCC), ont fourni à l'APQ leurs avis d'experts sur le projet Laurentia dans le cadre du processus d'évaluation. Entre août 2019 et février 2020, différents feuillets et documents explicatifs ont été transmis à l'AÉIC par l'APQ afin de répondre aux différentes interrogations et préoccupations des experts.

Par ailleurs, un document de réponses spécifiques aux plans sanitaire et socioéconomique a été produit en septembre 2020 en continuité avec le processus en cours d'évaluation environnementale par l'AÉIC. Parmi les demandes formulées par l'AÉIC, celle-ci a demandé la réalisation d'une analyse de sensibilité (Question PS-12a) afin d'identifier les paramètres les plus sensibles ou ceux qui affectent le plus l'estimation des risques pour la santé.

Par ailleurs, la variabilité spatiale et temporelle des concentrations mesurées ou modélisées dans l'air selon les scénarios et hypothèses considérés (phases de construction et d'exploitation), ainsi que l'hétérogénéité des populations affectées en termes d'âge ou de patrons d'activité individuelle, entraînent un certain niveau d'incertitude sur l'estimation des risques pour la santé pour la population locale. Dans ce contexte, l'analyse quantitative de l'incertitude liée aux risques pour la santé s'avère un complément essentiel, voire indissociable de l'analyse de sensibilité. Ce type d'analyse constitue en fait une évaluation des risques pour la santé humaine de 2e niveau s'appuyant sur des méthodes probabilistes (simulations Monte-Carlo). La présente étude vise ainsi à obtenir une représentation plus réaliste de l'exposition aux polluants gazeux et particulaires via une analyse de l'incertitude et de la sensibilité des variables/paramètres utilisés pour les calculs de risque (réponse à la question PS-12a).

Afin d'évaluer l'impact des émissions atmosphériques du projet Laurentia sur la santé des populations locales, et ce, tant durant la phase de construction que d'exploitation, trois (3) approches ont été utilisées jusqu'à maintenant, à savoir : l'approche normative, l'approche toxicologique et l'approche épidémiologique.

L'approche normative se base essentiellement sur la comparaison des concentrations maximales (1 h et 24 h) ou moyennes (an) mesurées à la station d'échantillonnage du Vieux Limoilou, combinées aux concentrations maximales modélisées en phases construction et exploitation, aux normes québécoises, canadiennes ou internationales applicables ou disponibles. Cette approche a été utilisée dans le contexte de l'étude d'impact et afin de pouvoir identifier les enjeux potentiels sur lesquels le promoteur devait optimiser les mesures d'atténuation et assurer un programme de surveillance et de suivi efficace. Cette approche, guidée par le principe de précaution, permet également d'évaluer de façon préliminaire le niveau d'exposition et les risques potentiels d'effets délétères pour la santé humaine et pour l'environnement.

L'approche toxicologique s'appuie sur la démarche d'évaluation des risques pour la santé humaine (ÉRSH) définie par les organismes de santé publique québécois et canadien. Elle vise

généralement à calculer le niveau d'exposition de populations et groupes cibles (p. ex., résidents-enfants, travailleurs-adultes) et le risque qui en découle en considérant un scénario d'exposition conservateur (p. ex. concentrations maximales mesurées ou modélisées).

Enfin, **l'approche épidémiologique** vise à estimer le taux de mortalité ou de morbidité (p. ex., taux d'hospitalisation, taux d'augmentation de symptômes respiratoires, d'absentéisme) pour la population affectée en considérant les résultats d'études épidémiologiques liées à une exposition à court ou à long terme à des polluants atmosphériques particuliers (PM_{10} , $PM_{2.5}$) ou gazeux (NO_2 , SO_2 , O_3) en considérant également un scénario d'exposition conservateur.

Considérant l'ensemble des composés potentiellement préoccupants (CPP) identifiés dans les études soumises à l'AÉIC et les résultats obtenus en considérant l'approche conservatrice utilisée (Niveau 1 : valeur déterministe basée sur le pire cas réaliste), la présente étude s'est concentrée sur le NO_2 et les $PM_{2.5}$, soit des indicateurs reconnus et représentatifs de la pollution atmosphérique et de leurs effets sur la santé.

Par ailleurs, les concentrations inhalées par les individus dans le secteur à l'étude au cours d'une année se rapprochent probablement beaucoup plus de la valeur médiane des concentrations mesurées ou modélisées. De fait, le patron d'activité général de la population de Limoilou, la variation spatio-temporelle des polluants atmosphériques dans l'air et la distribution logarithmique des concentrations mesurées dans l'air ambiant (fréquence élevée de faibles concentrations) entraînent un niveau d'exposition général de la population locale plus faible qu'un scénario basé sur une exposition continue à une concentration maximale (ou 98^e centile). Ce paramètre statistique (médiane) a donc été considéré pour les simulations Monte-Carlo (approche probabiliste; scénario réaliste ou niveau 2) et il sert de base de comparaison avec les résultats provenant de l'étude d'impact (approche déterministe; scénario du pire cas réaliste ou niveau 1).

De manière générale, l'utilisation de concentrations maximales (ou du 98^e centile) mesurées ou modélisées pour prédire l'exposition humaine aux polluants atmosphériques entraîne une surestimation systématique des risques pour la santé pouvant atteindre plus d'un ordre de grandeur, et ce, tant pour l'approche normative, que pour l'approche toxicologique ou l'approche épidémiologique. Le scénario du pire cas, qui s'appuie sur le principe de précaution, ne tient pas compte de la variabilité naturelle des concentrations, ni de l'incertitude liée à la modélisation atmosphérique, aux patrons d'activité humaine ou aux différents micro-environnements présents sur le territoire (p. ex., résidence, commerce, secteur industriel, etc.).

En conclusion, les résultats de l'évaluation préliminaire des risques pour la santé (niveau 1) selon les approches normative, toxicologique et épidémiologique s'appuyant sur des scénarios conservateurs (pire cas réaliste) ont mis en évidence une problématique potentielle pour certains polluants gazeux et particuliers, notamment les particules $PM_{2.5}$, PM_{10} , PMT et le NO_2 . Toutefois, en considérant une approche probabiliste basée sur une analyse de sensibilité et d'incertitude, les résultats de cette évaluation préliminaire sont nettement surestimés. De fait, les concentrations prédites en $PM_{2.5}$ et en NO_2 à la suite des phases de construction et d'exploitation du projet Laurentia ne poseraient pas de risques significatifs pour la santé de la population environnante. Cependant, afin de valider les prédictions du modèle de dispersion et s'assurer que la contribution du projet de l'APQ aux concentrations atmosphériques de polluants gazeux et particuliers ambiantes demeure faible, il importe d'effectuer un suivi de la qualité de l'air sur le site et en périphérie. Dans ce contexte, la mesure continue des particules fines ($PM_{2.5}$) et du NO_2 durant la phase de construction et d'exploitation s'avère importante afin de s'assurer du niveau d'exposition potentielle de la population environnante. Ces deux (2) polluants sont reconnus par Santé Canada et par l'INSPQ comme parmi les meilleurs indicateurs de l'exposition à moyen et

long terme, et les plus sensibles pour détecter des incidences de mortalité ou de morbidité dans la population. Par conséquent, il est recommandé de procéder à un échantillonnage périodique de l'air ambiant pour le NO₂ (horaire) et les PM_{2,5} (en continu) Ces mesures visent, d'une part, à s'assurer que la contribution du projet Laurentia à la qualité de l'air demeure faible et, d'autre part, à valider les prédictions du modèle de dispersion atmosphérique. La localisation des stations d'échantillonnage devrait tenir compte du point d'impact maximum modélisé.

TABLE DES MATIÈRES

	PAGE
SOMMAIRE	i
TABLE DES MATIÈRES.....	v
LISTE DES TABLEAUX.....	viii
LISTE DES FIGURES.....	ix
LISTE DES ANNEXES	x
1 INTRODUCTION.....	1
1.1 Mise en contexte et objectifs.....	1
1.2 Structure du rapport.....	2
2 APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE	3
2.1 Évaluation des risques pour la santé humaine	3
2.1.1 Approche normative ou par critère.....	3
2.1.2 Approche par évaluation des risques pour la santé humaine (toxicologiques)4	
2.1.3 Approche épidémiologique.....	5
2.2 Généralités sur la notion de variabilité et d’incertitude.....	6
2.2.1 Analyse de l’incertitude	8
2.2.2 Analyse de sensibilité.....	8
2.3 Choix des composés potentiellement préoccupants (CPP) et des scénarios d’exposition	9
2.4 Données d’entrée utilisées pour le calcul des risques pour la santé humaine....	11
2.4.1 Données de qualité de l’air (état de référence).....	11
2.4.2 Données modélisées (Phases construction et exploitation).....	11
2.4.3 Paramètres d’exposition.....	12
2.4.4 Valeurs toxicologiques de référence (VTR)	12

2.4.5 Données épidémiologiques	12
3 ANALYSE DE SENSIBILITÉ ET D'INCERTITUDE	13
3.1 Étapes de construction d'un modèle de simulation Monte-Carlo	13
3.1.1 Objectifs et collecte de données	13
3.1.2 Création des modèles de calcul d'exposition et de risque	13
3.1.3 Choix des préférences de calcul	14
3.2 Choix des hypothèses (variables) et des prédictions pour les simulations Monte-Carlo	14
3.2.1 Concentrations mesurées dans l'air (état de référence)	14
3.2.2 Concentrations modélisées (Phases construction et exploitation)	15
3.2.3 Durée d'exposition	15
3.2.4 Données épidémiologiques et populationnelles	16
3.2.5 Valeurs guides et valeurs toxicologique de référence	16
3.3 Résultats des simulations pour l'estimation du risque pour la santé (approche normative)	17
3.3.1 Simulations Monte-Carlo	17
3.3.2 Analyse de sensibilité	18
3.4 Résultats des simulations pour l'estimation des risques pour la santé (approche toxicologique)	18
3.4.1 Simulations Monte-Carlo	18
3.4.2 Analyse de sensibilité	19
3.5 Résultats des simulations pour l'estimation du risque pour la santé (approche épidémiologique)	19
3.5.1 Simulations Monte-Carlo	19
3.5.2 Analyse de sensibilité	20
4 Discussion générale	20
4.1 Évaluation de la propagation de l'incertitude en fonction du dépassement des normes applicables	21

4.2	Évaluation de la propagation de l'incertitude sur l'estimation du risque toxicologique	23
4.3	Évaluation de la propagation de l'incertitude sur l'estimation du risque épidémiologique	24
4.4	Identification des variables (paramètres) sensibles	25
4.5	Identification des paramètres à considérer dans le cadre d'un suivi environnemental	26
5	CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS	26
	RÉFÉRENCES	28
	LIMITATIONS	31

LISTE DES TABLEAUX

	PAGE
Tableau 1 : Indicateurs de mortalité ou de morbidité (taux quotidien) pour évaluer les effets de la pollution atmosphérique pour la population de Limoilou à Québec	35
Tableau 2 : Statistiques descriptives des concentrations horaires et journalières en dioxyde d'azote (NO ₂) mesurées à la station Vieux-Limoilou à Québec entre 2014 et 2016.....	37
Tableau 3 : Statistiques descriptives des concentrations horaires et journalières en PM _{2,5} mesurées à la station Vieux-Limoilou à Québec entre 2014 et 2016	39
Tableau 4 : Statistiques descriptives des coefficients de variation (CV %) calculés à partir des concentrations horaires en NO ₂ et en PM _{2,5} mesurées simultanément aux stations du Vieux-Limoilou (50308), du Collège St-Charles-Garnier (50310) et de l'École Les Primevères (50311) à Québec.	41
Tableau 5 : Concentrations de NO ₂ et le PM _{2,5} mesurées dans l'air ambiant (Station Vieux-Limoilou – 2014-2016) considérées dans le cadre de l'étude d'impact et des simulations Monte-Carlo	43
Tableau 6 : Statistiques descriptives des concentrations horaires, journalières et annuelles modélisées (AERMOD) en phases construction et exploitation dans le rayon de la zone d'étude du projet Laurentia au port de Québec.....	45
Tableau 7 : Concentrations de NO ₂ et le PM _{2,5} modélisées (AERMOD) considérées dans le cadre de l'étude d'impact et des simulations Monte-Carlo	47
Tableau 8 : Durée d'exposition et récepteurs humains considérés pour la simulation Monte-Carlo	49
Tableau 9 : Indicateurs de mortalité et de morbidité et taux d'incidence associés à une exposition au NO ₂ et aux PM _{2,5} utilisés pour la simulation Monte-Carlo.....	51
Tableau 10 : Résultats de l'analyse de sensibilité – Approche normative – Pourcentage de dépassement des normes (RAA) ou du critère (OMS) pour le NO ₂ et les PM _{2,5}	53
Tableau 11 : Résultats de l'analyse de sensibilité – Approche ÉRSH – Indice de risque (effets non cancérogènes) pour une exposition aiguë et chronique au NO ₂ et aux PM _{2,5}	55
Tableau 12 : Résultats de l'analyse de sensibilité – Approche épidémiologique – Indicateurs de mortalité et de morbidité pour une exposition aiguë et chronique au NO ₂ et aux PM _{2,5}	57

LISTE DES FIGURES

	PAGE
Figure 1 : Phases de construction et d'exploitation du projet Laurentia à Québec. Source : Englobe, 2020a	61
Figure 2 : Niveaux d'analyse pour l'évaluation des risques toxicologiques (santé humaine). 63	63
Figure 3 : Localisation des trois (3) stations d'échantillonnage de la qualité de l'air du réseau national de surveillance des polluants atmosphériques (NSPA) situées en amont des vents dominants du port de Québec. Source : Google Earth, 2021	65
Figure 4 : Localisation des récepteurs utilisés pour la modélisation de dispersion (AERMOD) dans le secteur du projet Laurentia à Québec. Source : Englobe, 2020c.....	67
Figure 5 : Histogrammes de fréquence des concentrations horaires en dioxyde d'azote (NO ₂) et en PM _{2.5} mesurées à la station Vieux-Limoilou à Québec entre 2014 et 2016 ..	69
Figure 6 : Approche normative - Simulation Monte-Carlo – Pourcentage de dépassement de la norme 1 h (RAA) pour le NO ₂ -.....	71
Figure 7 : Approche normative - Simulation Monte-Carlo – Pourcentage de dépassement de la norme 24 h (RAA) pour les PM _{2.5}	73
Figure 8 : Approche par ÉRSH - Simulation Monte-Carlo – Indice de risque (effets non cancérigènes) – Tout-petits – Résidentiel - NO ₂ – Norme 1 h (RAA)	75
Figure 9 : Approche par ÉRSH - Simulation Monte-Carlo – Indice de risque (effets non cancérigènes) – Tout-petits – Résidentiel - PM _{2.5} - Norme 24 h (RAA)	77
Figure 10 : Approche épidémiologique - Simulation Monte-Carlo – NO ₂ – Exposition aiguë – Mortalité quotidienne.....	79
Figure 11 : Approche épidémiologique - Simulation Monte-Carlo – PM _{2.5} – Exposition aiguë – Mortalité quotidienne.....	81
Figure 12 : Nombre maximal de jours de dépassement de la norme journalière en NO ₂ et ne PM _{2.5} par année -Phase Construction.....	83

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : Simulations Monte-Carlo – Résultats bruts – Approche normative

Annexe 2 : Simulations Monte-Carlo – Résultats bruts – Approche toxicologique

Annexe 3 : Simulations Monte-Carlo – Résultats bruts – Approche épidémiologique

Annexe 4: Qualifications de l'expert

1 INTRODUCTION

1.1 Mise en contexte et objectifs

L'Agence d'évaluation d'impact du Canada (AÉIC) a procédé à l'analyse de l'étude d'impact relative au projet de construction et d'opération d'un quai en eau profonde dans le port de Québec (Projet Laurentia) soumis par l'Administration portuaire de Québec (APQ). Ce projet, soumis initialement en 2015 a été réorienté et optimisé en 2018 [1] afin de considérer la création d'un terminal de conteneurs en eau profonde utilisant des technologies de pointe, notamment par l'électrification des opérations de manutention [2] (Figure 1).

Au cours de l'année 2017, l'AÉIC et ses différents ministères experts, dont Santé Canada (SC) et Environnement et Changement climatique Canada (ECCC), ont fourni à l'APQ leurs commentaires techniques sur le projet Laurentia. Entre août 2019 et septembre 2020, différents feuillets ou documents explicatifs ont été transmis à l'AÉIC afin de répondre aux différentes exigences de l'organisme. Par ailleurs, un document de réponses spécifiques aux plans sanitaire et socioéconomique a été produit en septembre 2020 par Englobe en continuité avec le processus en cours d'évaluation environnementale par l'AÉIC [3]. Ce document propose notamment un projet intégré qui tient compte de l'évolution des connaissances et des préoccupations recueillies auprès des différentes parties prenantes rencontrées depuis avril 2018.

Parmi les demandes formulées par l'AÉIC, celle-ci souhaite obtenir une analyse de sensibilité (Question PS-12a) [3] afin d'identifier les paramètres les plus sensibles ou ceux qui affectent le plus l'estimation des risques pour la santé. Par ailleurs, la variabilité spatiale et temporelle des concentrations mesurées ou modélisées dans l'air selon les scénarios et hypothèses considérés (phases de construction et d'exploitation), ainsi que l'hétérogénéité des populations affectées en termes d'âge ou de patrons d'activité individuelle, entraînent un certain niveau d'incertitude sur l'estimation des risques pour la santé pour la population locale. Dans ce contexte, l'analyse quantitative de l'incertitude liée aux risques pour la santé s'avère un complément essentiel, voire indissociable de l'analyse de sensibilité [4, 5]. Ce type d'analyse, basée sur une approche probabiliste (simulations Monte-Carlo), constitue également une étape subséquente (niveau 2) à l'évaluation quantitative préliminaire des risques pour la santé humaine (ÉQPR) basée sur des scénarios et des hypothèses conservatrices (niveau 1).

L'objectif du présent rapport vise par conséquent à réaliser une analyse de sensibilité et d'incertitude liée aux risques pour la santé humaine. À la suite de cette analyse, différentes recommandations sont formulées afin de déterminer les paramètres les plus sensibles et d'identifier les composés potentiellement préoccupants (CPP) qui devraient faire l'objet d'un suivi environnemental en phase de construction et d'exploitation dans la zone d'étude du port de Québec.

1.2 Structure du rapport

Outre l'introduction présentée à la section 1, la section 2 décrit l'approche méthodologique utilisée afin de réaliser l'analyse de sensibilité et d'incertitude en précisant notamment les approches d'évaluation des risques pour la santé humaine utilisées ainsi que les données qui ont été considérées. La section 3 présente les résultats de l'analyse de sensibilité et d'incertitude en fonction de ces approches. Enfin, la discussion générale ainsi que la conclusion et les recommandations sont fournies aux sections 4 et 5 respectivement.

2 APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE

2.1 Évaluation des risques pour la santé humaine

De manière générale, trois (3) approches ou méthodes d'évaluation des risques pour la santé humaine (ÉRSH) ont déjà été considérées pour l'évaluation des impacts du projet sur la santé et la qualité de vie de la population environnante et des travailleurs potentiellement affectés, soit :

- Une approche normative ou par critère de qualité de l'air [6];
- Une approche par évaluation des risques toxicologiques (risque individuel) [7];
- Une approche par épidémiologique (risque populationnel) [3].

2.1.1 Approche normative ou par critère

De manière générale, les normes ou les critères de qualité de l'atmosphère ont été déterminés de manière **à protéger la santé humaine et à minimiser les nuisances et les effets sur l'environnement**. Au Québec, on distingue les normes de qualité de l'air, qui sont intégrées au Règlement sur l'assainissement de l'atmosphère (R.A.A. chapitre Q-2, r.4.1) [8], et les critères¹ qui visent à établir un niveau de risque négligeable ou acceptable pour la santé et pour l'environnement [9]. Tel que le précise le Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC) [9] : ... « *L'élaboration des normes et des critères de qualité de l'atmosphère est réalisée dans l'esprit du principe de précaution. Ainsi, face à des options comportant des incertitudes, les éléments apportant une plus grande protection de la santé et du milieu devraient être favorisés.* ».

Au Canada, le Conseil canadien des ministres de l'environnement (CCME) a établi des normes canadiennes de qualité de l'air ambiant (NCQAA) pour les PM₁₀, les PM_{2,5}, l'ozone (O₃), le dioxyde de soufre (SO₂), et le dioxyde d'azote (NO₂) [10]. Ces normes sont révisées régulièrement et de nouvelles valeurs guides ont été proposées pour 2025. Précisons ici que les normes annuelles visent à protéger la population contre les effets chroniques des composés chimiques

¹ **Critère de qualité de l'atmosphère** : Concentration limite dans l'air ambiant pour un contaminant qui est établie à un niveau de risque négligeable. **Critère provisoire de gestion** : Concentration limite dans l'air ambiant pour un contaminant déterminée à partir d'un niveau de risque acceptable après considération des facteurs technologiques et socioéconomiques.

présents dans l'atmosphère, c'est-à-dire des effets qui peuvent apparaître à la suite d'une exposition de longue durée. D'autres effets, apparaissant à la suite d'une exposition de courte durée sont pris en compte par des normes établies sur des intervalles de 4 minutes, d'une heure ou de 24 heures. Notons enfin, qu'il existe également certaines valeurs guides ou lignes directrices proposées par l'Organisation mondiale de la santé (OMS) qui peuvent servir de base de comparaison ou d'analyse pour évaluer la qualité de l'air afin de protéger la santé publique [11].

L'approche normative a été utilisée dans l'évaluation préliminaire des niveaux d'exposition de la population environnante et des travailleurs en fonction des concentrations des différents polluants atmosphériques mesurées à la station Vieux-Limoilou (2014-2016) et de celles modélisées selon les scénarios de construction et d'exploitation du port de Québec dans le cadre du projet Laurentia [3, 7].

2.1.2 Approche par évaluation des risques pour la santé humaine (toxicologiques)

L'ÉRSH (ou risques toxicologiques) constitue une démarche scientifique visant à évaluer quantitativement l'exposition humaine à des contaminants présents dans l'environnement, leurs effets sur la santé et les risques qui en découlent pour la population en général. Depuis l'énoncé de ce paradigme [12], l'ÉRSH est devenue un outil d'aide à la décision de plus en plus utilisé en gestion environnementale. De nombreux organismes gouvernementaux, nationaux et internationaux ont adapté cette démarche en fonction de leurs particularités juridiques et administratives, notamment au Québec [13] et au Canada [14, 15].

La plupart de ces démarches préconisent différents niveaux d'analyses selon une échelle de complexité croissante. Afin d'augmenter la précision de l'évaluation, chaque niveau nécessite une qualité et une quantité d'informations toujours plus importantes, tant en ce qui a trait à l'estimation de l'exposition qu'au choix des méthodes de détermination des valeurs toxicologiques de référence (VTR). On compte généralement trois (3) niveaux d'analyse, soit :

- Niveau 1 : Une analyse préliminaire conservatrice basée sur des scénarios dit du pire cas réaliste en considérant **une approche déterministe**¹;
- Niveau 2 : Une analyse réaliste basée sur des mesures complémentaires, un niveau d'exposition réaliste et une **approche probabiliste ou stochastique** pour estimer cette exposition²;
- Niveau 3 : Une analyse détaillée basée sur des mesures directes de l'exposition (p. ex. micro-environnement) et des effets délétères chez l'humain.

L'utilisation successive de ces différents niveaux permet de réduire l'incertitude au niveau de l'exposition avec des scénarios plus réalistes et plus spécifiques (Figure 2). Toutefois, quel que soit le niveau d'analyse, le seuil de risque acceptable est généralement fixe et ne peut être modifié, et ce, malgré le niveau d'incertitude intégré aux valeurs seuils considérés (p. ex., VTR, valeurs cibles dans l'air).

L'ÉRSH vise à quantifier les risques pour la santé liés à l'exposition des populations locales aux polluants présents dans l'air ambiant et à ceux potentiellement émis lors des travaux de construction et d'exploitation du projet Laurentia [7]. La méthodologie générale retenue s'appuie sur la démarche générale commune aux procédures préconisées par Santé Canada [15-17] et par l'INSPQ [13] dans leurs documents respectifs. Cette évaluation a été réalisée pour le projet Laurentia en considérant une analyse de niveau 1 (approche déterministe) [7]. Par conséquent, les scénarios et les hypothèses sont basés sur l'approche du pire cas réaliste (conservateur), notamment en ce qui a trait aux concentrations dans l'air (p. ex. 98^e centile) et aux conditions d'exposition.

2.1.3 Approche épidémiologique

Depuis une trentaine d'années, les évidences d'un lien entre la pollution atmosphérique et les effets sur la santé se sont accumulées, particulièrement en ce qui a trait à l'exposition à de faibles

¹ Pour Santé Canada, il s'agit de l'Évaluation quantitative préliminaire des risques pour la santé humaine (ÉQPR).

² Pour Santé Canada, il s'agit de l'Évaluation quantitative détaillée des risques pour la santé humaine (ÉQDR). De manière générale, les VTR sont considérées comme des constantes et elles ne varient pas dans les modèles stochastiques (p. ex. simulation Monte-Carlo).

concentrations de particules aéroportées [18-25]. Ainsi, plusieurs études épidémiologiques dites « longitudinales », « chronologiques » ou « écologiques » ont été réalisées à travers le monde afin d'évaluer les effets aigus (à court terme) et chroniques (à long terme) liés à l'exposition de travailleurs ou de populations à des particules fines (PM_{2.5}) et grossières (PM₁₀), ainsi qu'à de nombreux polluants primaires (p. ex., poussières, fumée) et secondaires (p. ex., NO_x, O₃, etc.) [25-29].

Dans le cadre du projet Laurentia, une évaluation des effets de la pollution atmosphérique (p. ex., mortalité, taux d'hospitalisation, taux d'augmentation de symptômes respiratoires, absentéisme) et de l'incidence sur la santé de la population de Limoilou et des utilisateurs du secteur récréatif de la Baie de Beauport durant la phase de construction et d'exploitation a été réalisée et présentée à l'AÉIC en septembre 2020 [3]. Le tableau 1 fournit la liste des indicateurs de mortalité et de morbidité évalués dans ce document. La méthodologie générale employée est décrite dans un document de l'INSPQ [30]

2.2 Généralités sur la notion de variabilité et d'incertitude

Au cours du processus d'ÉRSR, la quantification des sources de variabilité et d'incertitude est essentielle afin de pouvoir établir les mesures de gestion des risques les mieux adaptées à la problématique à l'étude [31]. De cette façon on évite de considérer des mesures s'appuyant essentiellement sur le **principe de précaution**¹ pour combler le manque d'informations (« *lack of knowledge* ») [32]. Cette dernière approche limite généralement les options de gestion des risques qui peuvent être inadéquates ou inadéquates, et force le gestionnaire à adopter des mesures conservatrices pouvant avoir des conséquences sociales, économiques ou environnementales. Par exemple, dans le cas de projets futurs pour lesquels les données environnementales sont de toute évidence inexistantes, les scénarios ou les hypothèses considérés auront tendance à pallier ce manque d'information et à exagérer les conséquences éventuelles, même si celles-ci deviennent irréalistes ou non représentatives des conditions actuelles ou futures. Dans ce contexte, on pourra facilement confondre une situation potentiellement dangereuse (p. ex. émission de poussières) et les impacts potentiels (p. ex. effets sur la santé) sans que le niveau d'exposition soit clairement établi ou que l'incertitude entourant

¹ « Le principe de précaution vise à permettre aux décideurs de prendre des mesures de protection lorsque les preuves scientifiques relatives à un danger pour l'environnement ou la santé humaine sont **incertaines** et que les enjeux sont importants » (Service de recherche du parlement européen (EPRS), 2015, p.1).

son estimation soit bien définie. Ainsi, en considérant l'équation suivante : **Risque = Exposition x Danger**, les scénarios s'appuyant sur un principe de précaution auront alors tendance à exagérer le niveau d'exposition, et donc le risque qui en découle.

Par définition, la variabilité a trait aux variations observées ou mesurées au niveau populationnel (p. ex. variabilité interindividuelle) et à l'hétérogénéité spatiale et temporelle d'un phénomène. Cette variabilité peut généralement être estimée à partir d'une variable aléatoire ayant une distribution de probabilité connue. Cette variable est affectée par une erreur statistique possédant une composante aléatoire (précision) et systématique (biais). Cette erreur statistique peut être contrôlée en augmentant, par exemple la précision statistique des mesures (p. ex. augmentation de l'effectif), ou en réduisant l'erreur systématique (biais) en procédant à un échantillonnage représentatif (p. ex. échantillonnage aléatoire) ou en calibrant le dispositif d'échantillonnage (p. ex. appareil de mesure de qualité de l'air).

Quant à l'incertitude, elle est liée essentiellement au manque d'information ou de connaissance relatif à une problématique environnementale donnée. Cette incertitude peut générer des impacts sur le calcul du risque pour la santé humaine ou sur l'environnement [5, 33, 34]. Le choix d'hypothèses ou de scénarios conservateurs (p. ex., scénario du pire cas raisonnable, modélisation des concentrations maximales, 98^e centile) vise généralement à pallier certains éléments inconnus ou méconnus de la problématique. Par ailleurs, il est toujours possible de réduire une source d'incertitude en procédant à une prise de mesures pour évaluer quantitativement (idéalement sur une base statistique) un paramètre donné. Il peut s'agir d'évaluer les conditions environnementales actuelles (p. ex. qualité de l'air), ou de procéder à l'acquisition de données pendant la phase de construction ou d'exploitation (suivi environnemental).

Dans le cas de modèles mathématiques (p. ex. modèle de dispersion atmosphérique), l'incertitude associée aux estimations peut être considérablement réduite par la prise de mesures visant à confirmer les résultats de la modélisation (validation ou vérification). Cette étape est évidemment impossible avant la réalisation du projet.

Par ailleurs, selon la complexité du processus à modéliser ou à décrire, il est souvent difficile de distinguer une source de variabilité d'une source d'incertitude [4, 35]. Il est par conséquent plus facile de les combiner et d'évaluer l'incertitude globale de la quantité ou du paramètre que l'on veut prédire (p. ex. indice de risque). Dans ce contexte, une approche probabiliste ou stochastique

faisant intervenir un processus de tirage aléatoire (simulations Monte-Carlo) permet de combiner des distributions de probabilité connues (p. ex. concentrations de $PM_{2.5}$ dans l'air ambiant) à d'autres distributions de probabilité associées à des paramètres dont la variabilité est incertaine ou inconnue (p. ex. concentrations modélisées dans l'air ambiant). Cette approche sera décrite à la section suivante.

2.2.1 Analyse de l'incertitude

L'analyse de l'incertitude d'un modèle (équation) implique une évaluation des variations ou de l'imprécision de la variable de sortie (p. ex. indice de risque) considérant l'ensemble des variables ou des paramètres d'entrée nécessaires au calcul de cette variable de sortie. Ce type d'analyse vise à intégrer toutes les sources de variabilité et d'incertitude liées à la variable de sortie.

Par exemple, dans le cas de l'évaluation de l'incertitude entourant le taux de mortalité dans la population (Y) associé à une exposition chronique (annuelle) aux $PM_{2.5}$, tous les paramètres ou variables impliqués dans le calcul de cette concentration (p. ex., X_1 = Taux de mortalité populationnel; X_2 = Augmentation relative de la mortalité en fonction de la concentration dans l'air; X_3 = Nombre d'individus dans la population visée) sont analysés simultanément en tenant compte de leur distribution de probabilité respective (théorique ou réelle). Suivant un processus d'échantillonnage aléatoire simple informatisé (méthode Monte-Carlo), un certain nombre de valeurs (p. ex. 10 000 itérations) sont sélectionnées successivement à partir de chacune de ces distributions, et la distribution de la variable de sortie « Y » que l'on veut évaluer est alors générée. Cette dernière distribution possède différentes caractéristiques statistiques (moyenne, médiane, 95^e centile, etc.) qu'il est possible d'analyser graphiquement ou sous forme tabloïde.

2.2.2 Analyse de sensibilité

L'analyse de sensibilité vise à évaluer l'importance relative de chaque paramètre ou variable d'entrée (p. ex., concentrations dans l'air, taux d'inhalation) sur le calcul d'une variable de sortie donnée (p. ex. indice de risque). En d'autres mots, cette analyse permet d'évaluer le comportement de certains paramètres sur le résultat final du modèle.

L'évaluation des paramètres sensibles est généralement réalisée via un processus itératif ou de simulation (Monte-Carlo) par lequel la réponse de la variable à l'étude (Y) est analysée en fonction de faibles variations (p. ex. 1 %) de chacun des paramètres du modèle pris individuellement (X).

Dans le cas du logiciel utilisé pour la présente étude (Crystal Ball™¹), l'analyse de sensibilité s'effectue en calculant des coefficients de corrélation de rang entre chaque variable d'entrée (X) et la variable de sortie (Y) pendant que la simulation Monte-Carlo (tirages aléatoires) est en cours d'exécution. Les coefficients de corrélation permettent d'évaluer dans quelle mesure chaque variable d'entrée influence le résultat d'une prévision donnée.

Une sortie graphique permet d'illustrer le classement des différentes variables du modèle en fonction de leur importance ou sensibilité relative. Si une variable a un coefficient de corrélation élevé, cela signifie que cette variable a un impact significatif sur la prévision (à la fois par sa variabilité globale et sa sensibilité). Des coefficients positifs indiquent qu'une augmentation de la variable d'entrée est associée à une augmentation de la valeur prédite. Plus la valeur absolue du coefficient de corrélation est élevée, plus la sensibilité de cette variable est élevée.

2.3 Choix des composés potentiellement préoccupants (CPP) et des scénarios d'exposition

Les CPP évalués dans le cadre de l'ÉERSH ont été sélectionnés en fonction des concentrations maximales potentiellement émises par les activités de construction et d'exploitation du projet Laurentia, à savoir :

- Le dioxyde d'azote (NO₂);
- Les particules fines (PM_{2.5});
- Les particules grossières (PM₁₀);
- Les particules totales (PMT);
- Le 1,3-butadiène;
- L'acétaldéhyde;
- Le formaldéhyde;
- Les biphényles polychlorés (BPC);
- L'arsenic;
- Le nickel.

Selon les résultats des calculs de risque effectués pour les CPP à effets cancérigènes et non cancérigènes [7], il appert que la plupart des dépassements des seuils acceptables

¹ Pour la présente étude, l'analyse de sensibilité et d'incertitude a été effectuée à l'aide du logiciel Oracle Crystal Ball (Version 11.1.2.4.900 – 64 bits) 36. Oracle. *Crystal Ball*. 2021; Available from: <https://www.oracle.com/ca-fr/applications/crystalball/resources.html>. fonctionnant avec Excel (Microsoft).

sont attribuables aux conditions initiales (bruit de fond); les phases construction et exploitation n'entraînant qu'un risque résiduel et mineur par rapport à l'état de référence.

En revanche, l'effet cumulé (projet + état de référence) génère inévitablement des dépassements des seuils acceptables pour plusieurs CPP, notamment pour les particules (PMT, PM_{2.5}, PM₁₀), le NO₂, l'arsenic et le nickel. Il faut rappeler toutefois que ces calculs sont basés sur des scénarios conservateurs qui maximisent l'exposition des individus dans des conditions environnementales qui ne sont pas représentatives de la réalité. De fait, aucun individu n'est exposé de façon continue à des concentrations maximales dans l'air au point d'impact (concentrations modélisées) ou à la station d'échantillonnage du Vieux-Limoilou (concentrations mesurées).

Considérant les approches conservatrices (p. ex., 98^e centile des concentrations dans l'air ambiant, valeurs guides pour la qualité de l'air) et les marges de sécurité utilisées pour la modélisation de la dispersion atmosphérique, alliées aux hypothèses conservatrices (p. ex., durée d'exposition, lait maternel) et aux facteurs d'incertitude (p. ex. VTR) inhérents à l'ÉRSR, les risques estimés pour les différents CPP sont de toute évidence surestimés. Cette surestimation vise à compenser pour les sources de variabilité et d'incertitude associées au projet et aux conditions environnementales en s'appuyant sur un **principe de précaution**.

Afin d'illustrer le niveau d'incertitude et de conservatisme des calculs, l'analyse de sensibilité et d'incertitude n'a considéré que deux (2) CPP, soit les **PM_{2.5}** et le **NO₂**. Ces composés se veulent représentatifs des CPP particulaires et gazeux ayant entraîné un risque potentiel pour la santé. De plus, les preuves épidémiologiques à l'égard de leurs impacts négatifs sur la santé et la disponibilité des données concernant leur distribution spatiale pour l'ensemble du territoire canadien sont bien documentées [25, 29]. À l'instar de l'ÉRSR, la présente analyse a également considéré trois (3) scénarios, à savoir l'état de référence (bruit de fond) seul, ainsi que les scénarios des phases de construction et d'exploitation en intégrant les conditions de l'état de référence.

2.4 Données d'entrée utilisées pour le calcul des risques pour la santé humaine

2.4.1 Données de qualité de l'air (état de référence)

Les données de qualité de l'air ambiant proviennent de la station du Vieux-Limoilou (station 50308) du réseau de surveillance nationale de la pollution atmosphérique (SNPA) d'Environnement et Changement climatique Canada [37] pour la période s'étendant de 2014 à 2016 inclusivement. Elles comprennent les résultats horaires pour le NO₂ et les PM_{2.5} pour la période considérée. Cette station est située à environ 2,5 km du secteur visé par le projet Laurentia du port de Québec. Dans le présent rapport, ces données ont été rapportées sur une base horaire, journalière ou annuelle selon les besoins de comparaison avec les normes applicables ou pour le calcul des risques pour la santé (toxicologique et épidémiologique).

Par ailleurs, afin d'obtenir une comparaison spatiale des concentrations horaires sur une base régionale, les données des stations du Collège St-Charles-Garnier (50310) et de l'École Les Primevères (50311) ont été également considérées pour l'analyse (Figure 3). Ces stations sont situées respectivement à environ 6 et 15 km du projet Laurentia au port de Québec dans l'axe des vents dominants. Dans le cas des PM_{2.5}, la période de référence a été utilisée (2014-2016) tandis que pour le NO₂, seules les années 2010 et 2011 ont été utilisées puisque des mesures ont été prises simultanément aux trois (3) stations d'intérêt que durant cette période.

2.4.2 Données modélisées (Phases construction et exploitation)

Les concentrations maximales horaires, journalières et annuelles prédites par le modèle AERMOD pour le NO₂ et les PM_{2.5}, en considérant les récepteurs définis pour le secteur à l'étude, ont été utilisées pour l'analyse d'incertitude. Les précisions sur la méthodologie employée ainsi que les résultats détaillés obtenus à la suite de la modélisation sont présentés dans un autre rapport réalisé par Englobe [7].

Pour la phase de construction, au total 4 695 récepteurs ont été identifiés dans un rayon de 6 km du futur développement portuaire (Figure 4). De ce nombre, 3 837 récepteurs font partie de la zone définie pour l'évaluation des risques pour la santé. Il s'agit de récepteurs situés en dehors du périmètre industriel du port, de la zone tampon et du fleuve Saint-Laurent. Pour la phase d'exploitation, 3 763 récepteurs sont situés dans la zone d'intérêt sur les 4611 récepteurs considérés pour la modélisation.

2.4.3 Paramètres d'exposition

Considérant que seule la voie d'exposition par inhalation a été considérée dans le cas du NO₂ et des PM_{2.5}, les paramètres d'exposition considérés sont associés essentiellement à une durée d'exposition, soit :

- Temps passé à l'intérieur (inhalation) (h/j);
- Temps passé à l'extérieur (inhalation) (h/j);
- Nombre d'heures par jour passé dans la zone d'étude (J1);
- Nombre de jours par semaine passé dans la zone d'étude (J2);
- Nombre de semaines par an passé dans la zone d'étude (J3).

2.4.4 Valeurs toxicologiques de référence (VTR)

Dans le cas des PM_{2.5} et du NO₂, il n'existe aucune VTR exprimée en termes de dose (mg/kg/j) pour les effets non-cancérigènes ou de pente (mg/kg/j⁻¹) ou d'unité de risque (1/mg/m³) pour les effets cancérigènes. À défaut, les valeurs guides dans l'air ambiant (µg/m³) proposées par les organismes réglementaires provincial [38], fédéral [10] ou international [11] ont été utilisées comme substitut aux VTR considérant que ces valeurs sont basées sur des effets sur la santé[9].

2.4.5 Données épidémiologiques

Tel que mentionné précédemment, l'évaluation des effets de la pollution atmosphérique (mortalité, morbidité) sur la population de Limoilou et les utilisateurs du secteur récréatif de la Baie de Beauport a été réalisée en utilisant différentes sources de données, notamment celles provenant de l'étude du CIUSSS de la Capitale-Nationale pour le quartier Basse-Ville et Limoilou-Vanier [39], de l'étude de l'INSPQ sur la pollution atmosphérique [29], des documents de Santé Canada sur les risques pour la santé attribuables au dioxyde de soufre et au dioxyde d'azote dans l'air ambiant [27, 28], et d'Environnement Canada et de Santé Canada sur les particules inhalables [26], et enfin de l'Institut de la statistique du Québec sur les données populationnelles pour l'année 2019. Les indicateurs de mortalité ou de morbidité (taux quotidiens) décrits dans les plans sanitaire et socioéconomiques [3] sont présentés au tableau 1. Pour les besoins de la présente étude, seuls les taux de mortalité quotidien et le taux d'hospitalisation pour troubles respiratoires ont été considérés pour les simulations Monte-Carlo; ces indicateurs étant représentatifs du type d'effets observés dans la population locale.

3 ANALYSE DE SENSIBILITÉ ET D'INCERTITUDE

3.1 Étapes de construction d'un modèle de simulation Monte-Carlo

Afin de réaliser l'analyse probabiliste, plusieurs étapes sont nécessaires afin de créer les différents modèles (équations) de simulations Monte-Carlo.

3.1.1 Objectifs et collecte de données

Outre la définition des objectifs de la modélisation, il faut procéder à une collecte attentive de toutes les informations ou les données utiles pour les calculs. Cette étape vise en fait à réduire au maximum l'incertitude sur les variables du modèle généré et à permettre au gestionnaire, d'une part, une prise de décision plus éclairée, et d'autre part, d'établir des mesures de gestion des risques plus réalistes. À ce propos, et afin de permettre une meilleure compréhension du processus de modélisation (simulations), le terme « **variable** » sera utilisé dans le cas de quantité pouvant « varier » dans le temps ou dans l'espace, ou pour laquelle une variation (p. ex., minimum, maximum, valeur probable) a été appliquée. Toutes les quantités qui sont constantes ou qui ne varient pas seront appelées « **paramètre** ».

La plupart des « variables » et des « paramètres » utilisés pour la présente modélisation ont été présentés dans les sections précédentes.

3.1.2 Création des modèles de calcul d'exposition et de risque

Les simulations Monte-Carlo sont basées sur les équations utilisées pour les calculs : 1- des pourcentages de dépassements des valeurs cibles dans l'air ambiant (ratios); 2- des indices de risque pour la santé (effets non cancérigènes), et finalement; 3- des taux quotidiens de mortalité et d'hospitalisation.

Les modèles de simulation sont composés de trois (3) éléments principaux, à savoir :

1. Les variables d'entrée (p. ex., concentrations mesurées dans l'air), les hypothèses ou « *assumption cells* » qui possèdent une distribution de probabilité, définie selon la loi de distribution considérée (normale, log-normale, triangulaire, uniforme, etc.), et les paramètres statistiques associés à cette distribution (moyenne, minimum, maximum, écart-type, valeur probable, binomiale, etc.).

2. Les variables de sortie (% de dépassement de la valeur cible, Indice de risque d'effets non-cancérigène, taux de mortalité quotidien, etc.), prévisions ou « *forecast cells* ».
3. Les paramètres qui sont des valeurs fixes ou des constantes (p. ex. valeur cible dans l'air).

3.1.3 Choix des préférences de calcul

Avant de débiter la modélisation informatique, il importe de déterminer le nombre d'itérations (tirages) à effectuer ($n = 10\,000$), le niveau de corrélation entre les variables (si applicable), le niveau de confiance (p. ex. 95 %), le format de sortie des résultats (p. ex., graphiques, tableau de statistiques descriptives) ainsi que l'option « analyse de sensibilité ».

3.2 Choix des hypothèses (variables) et des prédictions pour les simulations Monte-Carlo

3.2.1 Concentrations mesurées dans l'air (état de référence)

Tel que mentionné précédemment, les concentrations mesurées dans l'air à la station du Vieux-Limoilou entre 2014 et 2016 pour les $PM_{2.5}$ et le NO_2 ont été considérées directement pour la modélisation (simulations Monte-Carlo). Puisqu'il s'agit d'une station fixe, aucune variabilité spatiale n'est associée à ces données. Seule la variation temporelle (horaire) est observable pour ces données. Il importe de mentionner ici que cette station est surtout influencée par les polluants particulaires et gazeux présents dans un rayon d'influence relativement limité généralement (< 1 km) et par la direction des vents dominants. D'ailleurs, le MELCC mentionne dans son rapport sur l'incinérateur de la Ville de Québec que l'impact de cette installation située à environ 800 m au nord de la station d'échantillonnage n'affectait pas de façon très importante la qualité de l'air à cette station [40]. Les tableaux 2 et 3 présentent les statistiques descriptives (p. ex., moyenne, écart-type, maximum) des concentrations horaires et journalières calculées pour le NO_2 et les $PM_{2.5}$ respectivement pour la période considérée. Ces tableaux présentent également les moyennes triennales utilisées pour la comparaison avec les valeurs guides du RAA et du NCQAA [7]. Les histogrammes de fréquence des concentrations horaires pour ces CPP illustrant la distribution log-normale typique des données sont présentés à la figure 5.

Tel que mentionné précédemment, la variation spatiale a été évaluée en considérant la comparaison des concentrations horaires pour le NO_2 et les $PM_{2.5}$ mesurées aux stations du Vieux-Limoilou (50308), du Collège St-Charles-Garnier (50310) et de l'École Les Primevères (50311). Le tableau 4 présente les statistiques descriptives des coefficients de variation ($CV \% =$

écart-type / moyenne x 100) calculés à partir des concentrations horaires mesurées aux trois (3) stations d'échantillonnage simultanément pour une heure donnée. La variation spatiale estimée à partir des résultats obtenus à ces stations est en moyenne de 43 % pour le NO₂ et 40 % pour les PM_{2.5} (minimum = 0 %; maximum = 173 %). Le tableau 5 présente le niveau d'incertitude calculé en considérant les CV associés à la variation temporelle seulement (NO₂ = 87 %; PM_{2.5} = 51 %). Seules ces informations ont été utilisées pour définir les paramètres statistiques (p. ex., moyenne, écart-type), le type de distribution (log-normale) et le niveau d'incertitude pour les simulations Monte-Carlo (Tableau 5). Il est considéré ici que la variation spatiale est intégrée à la variation temporelle.

3.2.2 Concentrations modélisées (Phases construction et exploitation)

Tel que mentionné précédemment, les résultats issus du modèle de dispersion atmosphérique (AERMOD) pour les récepteurs définis dans la zone de 6 km de rayon par rapport la localisation du projet Laurentia au port de Québec ont été utilisées pour effectuer les simulations Monte-Carlo. Ces résultats comprennent les concentrations maximales horaires, journalières et annuelles pour le NO₂ et les PM_{2.5}. Le tableau 6 présente les statistiques descriptives obtenues à partir de ces calculs pour ces deux (2) CPP ainsi que pour d'autres composés modélisés (p. ex., PM₁₀, PMT, nickel). Les valeurs maximales présentées dans ce tableau correspondent à celles utilisées pour effectuer la comparaison avec les valeurs guides réglementaires et le calcul des taux de morbidité et de mortalité. À noter ici que d'autres concentrations dans l'air ont été modélisées pour répondre aux besoins spécifiques de l'ÉRSH selon les scénarios d'exposition de populations cibles spécifiques définis dans l'étude (voir Englobe, 2020c; Tableau 5) [7]. Les données du tableau 6 ont été utilisées pour définir les paramètres statistiques (p. ex., moyenne, écart-type), le type de distribution (log-normale) et le niveau d'incertitude considérés pour les simulations Monte-Carlo (Tableau 7). Le niveau d'incertitude a été calculé en considérant d'une part, les CV associés à la variation spatiale, et d'autre part, l'incertitude estimée attribuable au modèle de dispersion atmosphérique (AERMOD). Dans les cas estimés horaire, journalier et annuel, les CV considérés sont respectivement de 200 %, 100 % et 50 % (Tableau 4).

Ces niveaux d'incertitude sont conformes aux résultats d'étude ayant validé les prédictions du type de modèle gaussien pour les estimés de courtes (p. ex., horaire, journalier) et de longues durées (p. ex. annuel) [41-44]

3.2.3 Durée d'exposition

Les durées d'exposition des résidents (tout-petits) et des travailleurs adultes (état initial et exposition annuelle) considérés dans l'ÉERSH ont été utilisées pour la simulation-Monte-Carlo (Tableau 8). Ces durées ont été ajustées afin de tenir compte d'une variabilité relative basée sur une distribution triangulaire (minimum, maximum, valeur probable) ou uniforme (minimum, maximum). Par exemple, dans le cas du nombre d'heures passées par les résidents dans la zone d'étude (J1), le maximum a été fixé à 24 heures et le minimum à 20 heures. De la même façon, le temps passé à l'intérieur fixé à 22,33 h pour les tout-petits dans l'ÉERSH peut osciller entre 20 et 24 h avec la valeur la plus probable à 22,33 h. Ces conditions d'exposition peuvent être considérées comme conservatrices mais réalistes.

3.2.4 Données épidémiologiques et populationnelles

Le tableau 9 présente les valeurs épidémiologiques et populationnelles considérées pour les simulations Monte-Carlo. La variabilité entourant les taux d'incidence correspond à l'intervalle de confiance entourant les indicateurs identifiés par Environnement Canada et par Santé Canada dans les études épidémiologiques (p. ex., risque relatif, surmortalité) traitant de l'exposition humaine aux particules (PM_{2.5}) et aux NO₂ [26, 28].

3.2.5 Valeurs guides et valeurs toxicologique de référence

Tel que mentionné précédemment, les valeurs guides du RAA [38] et de l'OMS [11] (Tableau 5)¹ sont considérées comme des VTR dans les simulations Monte-Carlo. Comme elles constituent des constantes (aucune variabilité), leur influence est nulle dans l'analyse de sensibilité et d'incertitude. Il serait toutefois possible d'accoler une variabilité à ces valeurs en considérant les marges de sécurité et les facteurs d'incertitude reliés à la détermination de ces VTR (p. ex., extrapolation animal-humain, qualité des données, etc.). Par exemple, dans le cas des CPP à effets non-cancérigènes, ces facteurs d'incertitude peuvent varier de 3 à 3000. Aucune évaluation du niveau d'incertitude des VTR n'a été réalisée pour les simulations Monte-Carlo; ce type d'analyse dépasse le cadre de la présente étude.

¹ Certaines VTR utilisées pour l'ÉERSH correspondent aux normes proposées par le NCQAA 2020 et 2025 ou par l'OMS (voir Englobe, 2020c; Tableaux 1 et 4).

3.3 Résultats des simulations pour l'estimation du risque pour la santé (approche normative)

3.3.1 Simulations Monte-Carlo

Au total, 15 simulations ont été réalisées, en considérant, d'une part, les scénarios correspondant à l'état initial (bruit de fond ou BDF), à la phase construction avec BDF et à la phase exploitation avec BDF, et d'autre part, les concentrations estimées ou modélisées en NO₂ (1h, 24 h, annuelles) et en PM_{2.5} (24 h et annuelles) pour ces différents scénarios. Les figures 6 et 7 illustrent respectivement les distributions de probabilité obtenues dans le cas du NO₂ – 1h et des PM_{2.5} - 24 h. Les résultats graphiques et les statistiques descriptives (p. ex., moyenne, minimum, maximum, 95^e centile) des autres simulations sont présentés à l'Annexe 1.

De manière générale, le ratio des pourcentages de dépassement de la norme applicable (valeur déterministe) présentés dans l'étude d'Englobe [7] sur la valeur médiane modélisée (valeur probabiliste) pour l'ensemble des scénarios et des CPP évalués est en moyenne de 4,4, avec un intervalle se situant entre 1,2 (BDF PM_{2.5} An) à 13,5 fois (Construction + BDF NO₂ 24h). En d'autres mots, le pourcentage de dépassement suivant l'approche déterministe basée sur des concentrations maximales modélisées ou mesurées surestime dans ces proportions la médiane correspondant à 50 % des valeurs modélisées (10 000 itérations).

Par ailleurs, quand on évalue les ratios moyens obtenus pour les périodes plus courtes (1h, 24 h), ceux-ci sont plus élevés (moyenne = 6,3; minimum = 2,3; maximum = 13,5) que pour une période plus longue (an) (moyenne = 1,5; minimum = 1,2; maximum = 2,0). Cette situation s'explique d'une part, par le fait que la distribution statistique utilisée pour les simulation Monte-Carlo pour les concentrations annuelles mesurées se rapproche de la valeur déterministe utilisée pour calculer les pourcentages de dépassement présentés dans l'étude de risque [7], soit la moyenne triennale. D'autre part, l'influence (sensibilité) des concentrations modélisées sur une base annuelle dans les simulations est moins grande que pour celles mesurées à la station du Vieux-Limoilou.

Les pourcentages de dépassement médians calculés par simulation Monte-Carlo dans le cas du NO₂ et des PM_{2.5} pour les phases construction et exploitation sont en **moyenne de 30 % (minimum = 3 %; maximum = 80 %)**. Les pourcentages de dépassement excédant 100 % de la norme québécoise (R.A.A.) sont généralement supérieurs au 95^e centile des profils de distribution des valeurs simulées (Voir Tableau sommaire Annexe 1). Ce résultat s'explique par le choix du

paramètre statistique initial utilisé pour la comparaison avec la norme québécoise (p. ex. 98^e centile des concentrations mesurées ou concentrations maximales modélisées dans l'air). Dans le cas des données annuelles, la valeur déterministe se situe plutôt autour du 60^e centile des profils de distribution (voir Annexe 1). Cette situation s'explique encore une fois par le fait que le paramètre statistique choisi pour la comparaison avec la norme (ou critère OMS) applicable est la moyenne triennale, soit le même paramètre statistique utilisé comme variable d'entrée pour la simulation Monte-Carlo.

3.3.2 Analyse de sensibilité

Le tableau 10 présente les résultats de l'analyse de sensibilité (% variance expliquée) pour le calcul du pourcentage de dépassement des normes RAA ou du critère de l'OMS dans le cas du NO₂ et des PM_{2.5} en phases construction et exploitation, en intégrant l'état initial (BDF). De manière générale, la concentration modélisée dans l'air ambiant constitue le paramètre le plus sensible dans le cas des prédictions à court terme (1h), tandis que la concentration mesurée est le paramètre le plus sensible pour les prédictions à long terme (an). Dans le cas des prédictions pour 24 h, la sensibilité est partagée entre les concentrations mesurées et modélisées. L'Annexe 1 présente les graphiques et les statistiques détaillés de l'analyse de sensibilité.

3.4 Résultats des simulations pour l'estimation des risques pour la santé (approche toxicologique)

3.4.1 Simulations Monte-Carlo

Au total, 25 simulations ont été réalisées, en considérant d'une part, les scénarios correspondant à l'état initial (bruit de fond ou BDF), à la phase construction avec BDF (Résident- tout-petit et Travailleur adultes) et à la phase exploitation avec BDF (Résident- tout-petit et Travailleur adultes), et, d'autre part, les concentrations estimées ou modélisées en NO₂ (1h, 24 h, annuelles) et en PM_{2.5} (24 h et annuelles) pour ces différents scénarios. Les figures 8 et 9 illustrent respectivement les distributions de probabilité des indices de risque (effets non-cancérigènes) dans le cas du NO₂ – 1h et PM_{2.5} 24 h pour les tout-petits (résidents). Les résultats graphiques et les statistiques descriptives (p. ex., moyenne, minimum, maximum, 95^e centile) des autres simulations sont présentés à l'Annexe 2. De manière générale, le ratio des indices de risque (valeur déterministe) présentés dans l'étude d'Englobe [7] sur la valeur médiane modélisée (valeur probabiliste) pour l'ensemble des scénarios et CPP évalués est en moyenne de 5,8 avec un intervalle se situant entre 1,2 (Exploitation + BDF – Travailleur PM_{2.5} – Exposition chronique)

et 39,6 (Construction+ BDF – Travailleurs NO₂ 24h). En d'autres mots, les indices de risque calculés selon l'approche déterministe en considérant les concentrations maximales modélisées ou mesurées surestiment dans ces proportions la médiane correspondant à 50 % des modélisées (10 000 itérations).

Quant aux indices de risque médians calculés dans le cas des résidents (tout-petit) et des travailleurs en phases construction et exploitation, ceux-ci **sont faibles et tous inférieurs à l'unité**, soit le niveau de risque acceptable pour les CPP à effets non cancérigènes. De fait, les indices de risque supérieurs à l'unité sont généralement retrouvés à des niveaux dépassant le 95^e centile des distributions de probabilité calculées par simulation Monte-Carlo (10000 itérations, voir Annexe 2).

3.4.2 Analyse de sensibilité

Le tableau 11 présente les résultats de l'analyse de sensibilité (% variance expliquée) pour le calcul des indices de risque (effets non-cancérigènes dans le cas du NO₂ et des PM_{2.5} en phases construction et exploitation (+ BDF). À l'instar de l'approche normative, la concentration modélisée dans l'air ambiant constitue le paramètre le plus sensible dans le cas des calculs de risque à court terme (1h), tandis que la concentration mesurée est le paramètre le plus sensible pour une exposition chronique (an). Dans le cas des prédictions pour 24 h, la sensibilité est partagée entre les concentrations mesurées et modélisées. Un élément commun pour l'ensemble des variables évaluées pour cette analyse de sensibilité, la durée d'exposition ne constitue pas une donnée sensible; celle-ci contribuant de façon négligeable à la variabilité liée à l'estimation du risque. L'Annexe 2 présente les graphiques et statistiques détaillés de l'analyse de sensibilité.

3.5 Résultats des simulations pour l'estimation du risque pour la santé (approche épidémiologique)

3.5.1 Simulations Monte-Carlo

Au total, 12 simulations ont été réalisées, soit :

- pour les taux de mortalité et d'hospitalisation quotidiens pour des individus exposés de façon aiguë aux concentrations de NO₂ (24 h) provenant du projet (phases construction et exploitation);

- pour les taux de mortalité et d'hospitalisation quotidiens (troubles respiratoires et cardiaques) pour une exposition aiguë aux concentrations de $PM_{2.5}$ (24 h) en phases de construction et d'exploitation;
- pour les taux de mortalité quotidiens pour une exposition chronique aux concentrations de $PM_{2.5}$ (an) en phases de construction et d'exploitation.

Les figures 10 et 11 illustrent respectivement les distributions de probabilité dans le cas des taux de mortalité quotidiens à la suite d'une exposition aiguë au NO_2 aux $PM_{2.5}$. Les résultats graphiques et les statistiques descriptives (p. ex., moyenne, minimum, maximum, 95^e centile) des autres simulations sont présentés à l'Annexe 3.

De manière générale, le ratio des taux de mortalité ou de morbidité (valeur déterministe) présentés dans l'étude d'Englobe [3] sur la valeur médiane modélisée (valeur probabiliste) pour l'ensemble des scénarios et CPP évalués est en moyenne de 28 avec un intervalle se situant entre 10,8 (Mortalité – phase Construction - $PM_{2.5}$ – Exposition aiguë) et 114,2 (Mortalité cardiopulmonaire – phase Construction - $PM_{2.5}$ – Exposition chronique). En d'autres mots, l'approche déterministe basée sur des concentrations maximales modélisées ou mesurées surestime dans ces proportions le pourcentage de dépassement correspondant à 50 % du profil de distribution (probabilité) des valeurs modélisées (10 000 itérations).

3.5.2 Analyse de sensibilité

Le tableau 12 présente les résultats de l'analyse de sensibilité (% variance expliquée) pour le calcul des indicateurs de mortalité et de morbidité pour une exposition aiguë et chronique au NO_2 et aux $PM_{2.5}$ en phases construction et exploitation (+ BDF). De manière générale, la sensibilité des taux calculés est influencée essentiellement par la concentration modélisée dans l'air; les taux d'incidence utilisés ayant une contribution négligeable à la variabilité totale des modèles (< 4 %).

4 DISCUSSION GÉNÉRALE

Afin d'évaluer l'impact des émissions atmosphériques du projet Laurentia sur la santé des populations locales, et ce, tant durant la phase de construction que d'exploitation, trois (3) approches ont été utilisées, à savoir, l'approche normative, l'approche toxicologique et l'approche épidémiologique.

Par ailleurs, il faut souligner d'entrée de jeu que les résultats présentés dans l'ÉRSH et les plans sanitaire et socioéconomique [3, 7] sont basés une évaluation dite de niveau 1 (approche déterministe). Par conséquent, les scénarios et les hypothèses s'appuient sur l'approche du pire cas réaliste (conservateur), notamment en ce qui a trait aux concentrations des CPP dans l'air (p. ex., 98e centile, maximum) et aux conditions d'exposition (exposition maximale continue). La présente analyse de sensibilité et d'incertitude constitue en fait une analyse de niveau 2 basée sur un niveau d'exposition réaliste et une approche probabiliste (stochastique) pour estimer l'exposition et les risques pour la santé. Tel que mentionné précédemment, l'approche probabiliste est généralement recommandée par Santé Canada [45] et par l'INSPQ [13] afin de mieux préciser le niveau de risque réel compte tenu des scénarios et des hypothèses avancés. À ce propos, l'INSPQ mentionne que : « ...Une approche probabiliste est généralement appliquée suivant une évaluation déterministe au cours de laquelle des interrogations ou des inquiétudes, ou bien les deux à la fois, ont été soulevées, et ce, afin de contribuer justement à répondre à ces questions ».

Le texte qui suit interprète les résultats associés à ces différentes approches ainsi que les résultats de l'analyse de sensibilité visant à identifier les variables (paramètres) les plus sensibles et celles à considérer dans le cadre d'un suivi environnemental.

4.1 Évaluation de la propagation de l'incertitude en fonction du dépassement des normes applicables

L'approche normative se base essentiellement sur la comparaison des concentrations maximales (1 h et 24 h) ou moyennes (an) mesurées à la station d'échantillonnage du Vieux Limoilou, combinées aux concentrations maximales modélisées en phases construction et exploitation, aux normes québécoises [38], canadiennes [10] ou internationales [11] applicables ou disponibles. Cette approche, guidée par le **principe de précaution**, permet d'évaluer de façon préliminaire le niveau d'exposition et les risques potentiels d'effets délétères pour la santé humaine et pour l'environnement. Tel que le précise le MELCC [9], « ... *le fait qu'un critère soit dépassé n'entraîne pas nécessairement des effets néfastes sur la santé humaine ou l'environnement. Pour juger de l'importance d'un dépassement, l'emplacement, l'amplitude, la fréquence des dépassements, le type d'effet produit, la période pendant laquelle les dépassements se produisent et le niveau de risque sur lequel est basé le critère doivent être considérés.* »

En considérant le patron d'activité général de la population de Limoilou, la variation spatio-temporelle des polluants atmosphériques dans l'air et la distribution logarithmique des concentrations mesurées dans l'air ambiant, les concentrations attendues au niveau des voies respiratoires se rapprochent plus de la **valeur médiane** des concentrations mesurées ou modélisées. De fait, aucun individu n'est exposé de façon continue à des concentrations maximales dans l'air au point d'impact (concentrations modélisées) ou à la station d'échantillonnage du Vieux-Limoilou (concentrations mesurées). C'est la raison pour laquelle ce paramètre statistique a été choisi comme base de comparaison entre les valeurs déterministes (pire cas réaliste) et probabilistes (simulations Monte-Carlo). Il faut considérer également que, de manière générale, la population passe plus de 90 % de son temps dans un bâtiment [13] et par conséquent, l'air intérieur est la source principale d'exposition à des contaminants atmosphériques de nature chimique (p. ex. COV), physique (p. ex. particules) ou biologique (p. ex., moisissures). De plus, les principales sources de contamination dans l'air intérieur sont généralement reliées aux substances et matériaux présents dans le bâtiment ou la résidence. Quant aux autres sources associées au bruit de fond ambiant, celles-ci proviennent essentiellement des polluants atmosphériques issus du transport routier (source mobile), du chauffage et des activités industrielles ou d'événements naturels [9].

Les résultats de l'analyse d'incertitude indiquent clairement que l'utilisation de valeurs maximales dans la détermination du pourcentage de dépassement des normes horaires quotidiennes pour le NO₂ et pour les PM_{2,5} surestime en moyenne par plus de 6 fois (2,3-13,5) la valeur médiane calculée par simulation de Monte-Carlo. Le calcul de cette dernière considère la distribution des valeurs probables selon les caractéristiques statistiques des concentrations mesurées à la station d'échantillonnage du Vieux Limoilou et celles modélisées dans un rayon de 6 km du port de Québec. En d'autres mots, les pourcentages de dépassement calculés pour un scénario du pire cas surestiment la réalité par un facteur pouvant atteindre plus d'un ordre de grandeur dans certains cas (p. ex. scénario Construction + BDF NO₂ 24h). Dans le cas des résultats obtenus pour les valeurs guides annuelles, le ratio de la valeur déterministe sur la valeur probabiliste (médiane) est généralement plus faible avec des écarts de 20 à 100 %. Tel que mentionné précédemment, cette situation s'explique d'une part, par le fait que la distribution statistique utilisée pour les simulations Monte-Carlo pour les concentrations annuelles mesurées se rapproche de la valeur déterministe utilisée pour calculer les pourcentages de dépassement présentés dans l'étude de risque [7], soit la moyenne triennale. D'autre part, l'influence

(sensibilité) des concentrations modélisées sur une base annuelle dans les simulations est moins grande que pour celles mesurées à la station du Vieux-Limoilou.

Quant aux pourcentages de dépassement médians calculés par simulation Monte-Carlo pour les phases construction et exploitation, ceux-ci **sont tous inférieurs à 100 % avec une valeur moyenne de 30 % (minimum = 3 %; maximum = 80 %)**.

Par ailleurs, il est peu probable qu'un individu puisse se situer au point d'impact où la concentration horaire, combinant l'état initial (BDF) et le maximum modélisé, est maximale et dont la valeur dépasse la norme. Cet événement est de toute évidence limité dans l'espace, voire improbable. De plus, selon les projections du nombre maximal de jours de dépassements de la norme journalière de NO₂ et de PM_{2.5} par année en phase construction [46], la zone d'impact serait située essentiellement en périphérie de la zone portuaire (Figure 12). Mentionnons enfin que les comparaisons avec une norme horaire et quotidienne sont généralement effectuées à l'aide de paramètres statistiques (p. ex. 98^e centile, maximum); celles-ci ne représentant pas l'exposition réelle d'un individu.

4.2 Évaluation de la propagation de l'incertitude sur l'estimation du risque toxicologique

À l'instar de l'approche normative, le calcul d'indices de risque pour le NO₂ et les PM_{2.5} par simulation Monte-Carlo, en s'appuyant sur les normes applicables pour l'air ambiant comme substitut pour les VTR, met en évidence une surestimation du cas de base (valeur déterministe), particulièrement dans le cas d'une exposition aiguë (1h, 24h), et ce, tant pour les résidents (tout-petit) que les travailleurs adultes. L'écart entre le cas de base (valeur déterministe) et la médiane calculée par simulation Monte-Carlo pour ce type d'exposition varie par un facteur de 2 à 40 fois (moyenne = 8,5). Dans le cas d'une exposition chronique, la différence entre la valeur déterministe et la valeur probabiliste (médiane) est plus faible avec un écart moyen (en considérant la médiane) d'environ 2 fois. Tel que mentionné précédemment, le choix de la concentration moyenne triennale pour le calcul du risque, tant pour l'ÉRSH que pour les présentes simulations, explique les faibles écarts pour une exposition chronique. Par ailleurs, l'inclusion des durées d'exposition quotidienne, hebdomadaire et annuelle dans le calcul du risque n'affecte que très peu les résultats des simulations.

Mentionnons enfin que les indices de risque médians calculés dans le cas des résidents (tout-petits) et des travailleurs en phases construction et exploitation, en incluant l'exposition au bruit

de fond, **sont faibles et tous inférieurs à l'unité**, soit le niveau de risque acceptable pour les CPP à effets non cancérigènes. De fait, les indices de risque supérieurs à l'unité sont généralement retrouvés à des niveaux dépassant le 95^e centile des distributions de probabilité calculées par simulation Monte-Carlo (10000 itérations, voir Annexe 2). Sur la base de ces résultats, les risques pour la santé pour la population de Limoilou dans le cas d'une exposition aiguë ou chronique au NO₂ et aux PM_{2.5} peuvent être considérés non significatifs.

4.3 Évaluation de la propagation de l'incertitude sur l'estimation du risque épidémiologique

Considérant le choix des concentrations maximales mesurées et modélisées pour le calcul des taux de mortalité et de morbidité, l'impact sur la surestimation des résultats s'avère encore ici très important avec des écarts entre les valeurs déterministe et probabiliste (médiane) d'un (1) à deux (2) ordres de grandeur. Quoique les simulations se soient limitées au NO₂ et aux PM_{2.5} et à quelques indicateurs, ces conclusions s'appliqueraient également à tous les autres CPP et effets sur la santé évalués par Englobe [3] (Tableau 1).

Contrairement à l'approche normative et à l'approche toxicologique, l'approche épidémiologique ne fournit pas de seuil de mortalité ou de morbidité acceptable pour un niveau de pollution donné mais des taux d'incidence ou d'augmentation des effets en fonction de niveaux d'exposition (concentration dans l'air ambiant). Dans le cas présent, les résultats obtenus ne permettent qu'une analyse comparative (relative) des scénarios d'exposition et des effets sur la santé.

Les données épidémiologiques fournies par Santé Canada et par l'INSPQ sont évidemment empreintes d'une variabilité (intervalle de confiance) et d'une incertitude (facteurs confondants) des limites méthodologiques associées aux types d'études considérés (longitudinales ou écologiques). Quoiqu'il en soit, la relation entre l'exposition aux polluants atmosphériques, particulaires ou gazeux, et l'apparition de morbidité ou la mortalité est clairement établie. L'objectif général des organismes de santé publique est évidemment de réduire au maximum les sources de contamination et d'émissions atmosphériques afin de diminuer l'exposition moyenne (24 h, an) de la population aux polluants atmosphériques ainsi que les taux de morbidité ou de mortalité.

Dans le cas du quartier Limoilou et des secteurs environnants, il est reconnu que le transport (p. ex., autoroutes Dufferin-Montmorency et Laurentienne, boulevard Charest), le chauffage à l'huile ou au bois, et certaines activités institutionnelles (p. ex. incinérateur) et industrielles (p. ex. Papier White Birch), sans compter le transport à grandes distances dans l'axe des vents dominants (sud-

ouest-nord-est) sont des sources d'émissions significatives dans le secteur; celles-ci contribuant de façon importante à la qualité de l'air ambiant [40]. Toutefois, la contribution réelle du projet Laurentia à la pollution locale ou régionale est faible, voire marginale en phase exploitation.

Par conséquent, il est peu probable que les faibles émissions atmosphériques provenant du nouveau projet affectent de façon significative les taux de mortalité ou de morbidité dans le secteur. Il serait d'ailleurs impossible de démontrer statistiquement, à partir d'une étude épidémiologique, la contribution du projet Laurentia sur l'incidence réelle de mortalité ou de morbidité dans le secteur affecté.

4.4 Identification des variables (paramètres) sensibles

Selon les résultats de la présente étude, les paramètres (variables) sensibles sont essentiellement liés à la **concentration modélisée** en NO₂ ou en PM_{2.5} dans l'air ambiant dans le cas des courtes périodes (1h, 24 h) et à celle **mesurée** dans le cas de variations annuelles pour ces CPP. Toutes les autres variables utilisées dans les calculs (p. ex., durée d'exposition, variabilité des taux d'incidence ou des concentrations quotidiennes) n'ont qu'un effet mineur (peu sensible) sur la valeur prédite (p. ex., % de dépassement, indices de risque, taux de mortalité ou de morbidité). En fait, les concentrations modélisées ou mesurées affectent considérablement le résultat des simulations, et l'incertitude entourant ces variables constitue le facteur critique pour la détermination d'un seuil acceptable pour la santé humaine.

La variabilité spatiale et temporelle des concentrations en NO₂ et en PM_{2.5} mesurées sur une base horaire dans le secteur de Limoilou, telle qu'exprimée par le CV, oscillerait en moyenne entre 40 et 87 %. Les fluctuations observées aux différentes stations d'échantillonnage sont affectées par plusieurs facteurs liés aux sources de contamination fixes et mobiles, ainsi qu'aux conditions météorologiques qui prévalent lors des mesures (p. ex., direction de vent, stabilité atmosphérique). Quoiqu'il en soit, sur une base annuelle, la distribution des valeurs mesurées suit généralement une courbe logarithmique avec un grand nombre de faibles concentrations et quelques mesures très élevées qui peuvent dépasser à l'occasion les normes provinciales de la qualité de l'air applicables.

Quant aux concentrations maximales horaires, journalières ou annuelles modélisées, l'incertitude globale (modèle de dispersion, variations spatiales) liée aux valeurs prédites varierait de 108 à 383 % quel que soit le scénario considéré (phases construction et exploitation). En d'autres termes, il est difficile de prédire avec précision et justesse la concentration d'un polluant gazeux

ou particulière en un point précis dans le temps et dans l'espace et d'obtenir une concentration mesurée qui correspond exactement avec la prédiction (validation). Dans ce contexte, les scénarios du pire cas présentés dans l'étude d'impact constituent une démarche s'appuyant sur le principe de précaution mais ils ne constituent aucunement une estimation réaliste des conditions environnementales futures, et ce, tant durant la phase de construction que de la phase exploitation.

4.5 Identification des paramètres à considérer dans le cadre d'un suivi environnemental

Les résultats de l'évaluation préliminaire des risques pour la santé (niveau 1) selon les approches normative, toxicologique et épidémiologique s'appuyant sur des scénarios conservateurs (pire cas réaliste) ont mis en évidence une problématique potentielle pour certains polluants gazeux et particulaires [3, 7], notamment les particules $PM_{2.5}$, PM_{10} , PMT et le NO_2 . Toutefois, en considérant une approche probabiliste basée sur une analyse de sensibilité et d'incertitude, les résultats issus de cette évaluation préliminaire sont nettement surestimés. De fait, les concentrations prédites en $PM_{2.5}$ et en NO_2 à la suite des phases de construction et d'exploitation du projet Laurentia ne poseraient pas de risques significatifs pour la santé de la population environnante. Toutefois, afin de valider les prédictions du modèle de dispersion et de s'assurer que la contribution du projet de l'APQ aux concentrations atmosphériques de polluants gazeux et particulaires ambiantes demeure faible, il importe d'effectuer un suivi de la qualité de l'air sur le site et en périphérie. Dans ce contexte, la mesure continue des particules fines ($PM_{2.5}$) et du NO_2 durant la phase de construction et d'exploitation s'avère importante afin de s'assurer du niveau d'exposition potentielle de la population environnante. Ces deux (2) polluants sont reconnus par Santé Canada et par l'INSPQ comme parmi les meilleurs indicateurs de l'exposition à moyen et long termes et les plus sensibles pour détecter des incidences de mortalité ou de morbidité dans la population [25, 28, 29].

5 CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

À la suite de la demande de l'AÉIC, une analyse de l'incertitude et de la sensibilité a été réalisée. Tel que préconisé par les organismes de santé publique, la présente étude vise également à évaluer les risques pour la santé associés au projet Laurentia en utilisant une approche de 2^e niveau s'appuyant sur des méthodes probabilistes et un scénario plus réaliste.

À la lumière des résultats obtenus par simulation Monte-Carlo en considérant les différentes approches d'estimation du risque :

- L'utilisation de concentrations maximales (ou du 98^e centile) mesurées ou modélisées pour prédire l'exposition humaine aux polluants atmosphériques entraîne une surestimation systématique des risques pour la santé pouvant atteindre plus d'un ordre de grandeur (10 fois ou 1000% de surestimation), et ce, tant pour l'approche normative, que pour l'approche toxicologique ou l'approche épidémiologique.
- Le scénario du pire cas, qui s'appuie sur le principe de précaution, ne tient pas compte de la variabilité naturelle des concentrations, ni de l'incertitude liée à la modélisation atmosphérique, aux patrons d'activité humaine ou aux différents micro-environnements présents sur le territoire (p. ex., résidence, commerce, secteur industriel, etc.).
- Les concentrations mesurées ou modélisées constituent les paramètres (variables) les plus sensibles dans le calcul des risques pour la santé.
- La contribution du projet Laurentia aux risques pour la santé découlant des émissions atmosphériques de polluants gazeux et particulaires peut être considérée comme non-significative et négligeable.

Par conséquent, il est recommandé de procéder à un échantillonnage périodique de l'air ambiant pour le NO₂ et les PM_{2.5}. Ces mesures visent à confirmer la faible contribution du projet Laurentia à la pollution ambiante dans le secteur à l'étude (validation des prédictions) et à s'assurer que les futures activités du port de Québec liées au projet Laurentia n'affectent pas la qualité de l'air. La localisation des stations d'échantillonnage devra tenir compte du point d'impact maximum modélisé.

RÉFÉRENCES

1. Englobe, *Document de réponses à la demande d'informations additionnelles de l'ACÉE du 24 avril 2017 – Terminal de conteneurs en eau profonde (Beauport 2020)*. 2018, Rapport déposé à l'Agence canadienne d'évaluation environnementale pour l'Administration portuaire de Québec (APQ). Québec.
2. Englobe, *Terminal de conteneurs en eau profonde Laurentia - Optimisation du Projet Laurentia et effets anticipés*. 2020a, Rapport présenté à l'Agence d'Évaluation des impact du Canada (AÉIC) pour l'Administration portuaire de Québec (APQ). Québec. p. 117 + annexes.
3. Englobe, *Terminal de conteneurs en eau profonde Laurentia - Plans sanitaire et socioéconomique*. 2020b, Rapport présenté à l'Agence d'Évaluation des impact du Canada (AÉIC) pour l'Administration portuaire de Québec (APQ). Québec. p. Pagination multiple.
4. Park, S.-K., Cobb, C.E., Wade, K., Mulholland, J., Hu, Y., and Russel A.G., *Uncertain in air quality model evaluation for particulate matter due to spatial variations in pollutant concentrations*. Atmospheric Environment, 2006(40): p. S563-S573.
5. Loucks, D.P., Beek, Eelco van, Stedinger, Jerry R., Dijkman, Jozef P.M. Villars, Monique T., 9. *Model Sensitivity and Uncertainty Analysis*, in *Water resources systems planning and management: an introduction to methods, models and applications*. 2005, Unesco Publishing: Paris. p. 255-290.
6. Englobe, *Terminal de conteneurs en eau profonde Laurentia - Feuillet 02 – Qualité de l'air ambiant*. 2020d, Rapport présenté à l'Agence d'Évaluation des impact du Canada (AÉIC) pour l'Administration portuaire de Québec (APQ). Québec. p. 244 + annexes.
7. Englobe, *Évaluation des risques pour la santé humaine associés à la qualité de l'air - Aménagement d'un quai en eau profonde - Projet Laurentia, Québec (Québec)*. 2020c, Rapport présenté à l'Agence d'Évaluation des impact du Canada (AÉIC) pour l'Administration portuaire de Québec (APQ). Québec. p. 93 + figures, tableaux et annexes.
8. Gouvernement du Québec. *Règlement sur l'assainissement de l'atmosphère (chapitre Q-2, a. 53, 95.1, 115.27, 115.34, 124.0.1 et 124.1)*. D. 501-2011; N.I. 2019-12-01. 2013 (mise à jour 1er septembre 2020) [cited 2021 8 février 2021]; Sources <http://legisquebec.gouv.qc.ca/fr/ShowDoc/cr/Q-2.%20r.%204.1>.
9. Ministère du Développement Durable de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC), *Normes et critères de qualité de l'atmosphère du Québec : Cadre de détermination et d'application*. 2017, MDDELCC Direction générale du suivi de l'état de l'environnement, Québec, Québec. p. 18.
10. Conseil canadien des ministres de l'environnement (CCME). *Les normes canadiennes de qualité de l'air ambiant (NCQAA)*. 2021; Sources https://www.ccme.ca/fr/current_priorities/air/ncqaa.html.
11. Organisation mondiale de la santé (OMS), *Lignes directrices OMS relatives à la qualité de l'air : particules, ozone, dioxyde d'azote et dioxyde de soufre Mise à jour mondiale 2005 Synthèse de l'évaluation des risques*. 2006. p. 21.
12. National Research Council (NRC), *Risk Assessment in the Federal Government : Managing the Process*. 1983, National Research Council (NRC): Washington, DC.
13. Institut national de santé publiques du Québec (INSPQ), *Lignes directrices pour la réalisation des évaluations du risque toxicologique d'origine environnementale au Québec*. 2012, INSPQ: Québec. p. 132 + annexes.

14. Santé Canada (SC), *L'évaluation des risques pour les sites contaminés fédéraux au Canada, Partie VI : l'évaluation quantitative détaillée des risques radiologiques pour la santé humaine (ÉQDRrad)*. 2010, Division des sites contaminés, direction de la sécurité des milieux: Ottawa. p. 167.
15. Santé Canada (SC), *L'évaluation des risques des lieux contaminés fédéraux au Canada - Partie I : L'évaluation quantitative préliminaire des risques (ÉQPR) pour la santé humaine. Version 2.0*. 2010 (modifié 2012), Santé Canada, Division des sites contaminés, Programme de la sécurité des milieux: Ottawa, Ontario. p. 79.
16. Santé Canada, *L'évaluation des risques pour les sites contaminés fédéraux au Canada : Guide supplémentaire sur l'évaluation des risques pour la santé humaine liés à la qualité de l'air, version 2.0*. 2017: Ottawa.
17. Santé Canada, *Conseils pour l'évaluation des impacts sur la santé humaine dans le cadre des évaluations environnementales : Qualité de l'air*. 2016: Ottawa.
18. Pope III, C.A. and D.W. Dockery, *Health effects of fine particulate air pollution : lines that connect*. Journal of the Air & Waste Management Association, 2006. **56**: p. 709-742.
19. Pope III, C.A., et al., *Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution*. The Journal of the American Medicine Association, 2002. **287**(9): p. 1132-1141.
20. Pope III, C.A., *Review : Epidemiological Basis for Particulate Air Pollution Health Standards*. Aerosol Science & Technology, 2000. **32**(1): p. 4-14.
21. Goldberg, M.S., *Particulate air pollution and daily mortality: who is at risk?* Journal of Aerosol Medicine, 1996. **9**: p. 43-53.
22. Schwartz, J., et al., *Acute effects of summer air pollution on respiratory symptom reporting in children*. Am. J. Respir Crit Care Med., 1994. **150**: p. 1234-1242.
23. Dockery, D.W., J. Schwartz, and J.D. Spengler, *Air pollution and daily mortality: associations with particulates and acid aerosols*. Environmental Research, 1992. **59**(2): p. 362-373.
24. World Health Organization (WHO), *WHO air quality guidelines global updates 2005*. 2005, World Health Organization (WHO): Bonn, Germany.
25. Stieb, D., Judek, S., van Donkelaar, A., Martin, R., Brand, K., Shin, H., Burnett, R., Smith-Doiron, M., *Estimated public health impacts of changes in concentrations of fine particle air pollution in Canada, 2000 to 2011*. Canadian Journal of Public Health, 2015. **106**(6): p. E362-E368.
26. Environnement Canada et Santé Canada, *Liste des substances d'intérêt prioritaire. Rapport d'évaluation. Particules inhalables de 10 microns ou moins*. 2000, Environnement Canada et Santé Canada: Ottawa. p. 83.
27. Santé Canada(SC), *Évaluation des risques pour la santé humaine du dioxyde de soufre*. 2016.
28. Santé Canada(SC), *Évaluation des risques pour la santé humaine du dioxyde d'azote ambiant*. 2016.
29. Jessiman, B.E., M., Rouleau, M., Donohue, M., Lamy, S.,. *Les impacts sanitaires de la pollution de l'air au Canada : une estimation des décès prématurés*. [Rapport scientifique] 2018 24 février 2018; Sources <https://www.inspq.qc.ca/bise/les-impacts-sanitaires-de-la-pollution-de-l-air-au-canada-une-estimation-des-deces-prematures>.
30. Institut National de Santé Publique du Québec (INSPQ). *Estimation des impacts sanitaires de la pollution atmosphérique au Québec : essai d'utilisation du Air Quality Benefits Assessment Tool (AQBAT)*. [Rapport scientifique] 2007 [cited 2021; 59]. Sources https://www.inspq.qc.ca/pdf/publications/817_ImpactsSanitairesPollutionAtmos.pdf.

31. Institut National de Santé Publique du Québec (INSPQ), *La gestion des risques en santé publique au Québec: cadre de référence*. 2016, Institut National de Santé Publique du Québec (INSPQ). p. 87.
32. Service de recherche du parlement européen (EPRS), *Le principe de précaution - définitions, applications et gouvernance*. 2015, European Parliamentary Research Service (EPRS): Bruxelles. p. 26.
33. National Research Council (NRC), *5 Uncertainty*, in *Estimating the Public Health Benefits of Proposed Air Pollution Regulations*. 2002, The National Academies Press: Washington, DC. p. 126-152.
34. Anderson, E.L. and D. Hattis, *Uncertainty and variability*. Risk Analysis, 1999. **19**(1): p. 47-62.
35. Özkaynaka, H., Freyba, C., Burkea, J., Pindera, R.W., Janet Burkea, and a.R.W. Pindera, *Analysis of coupled model uncertainties in source-to-dose modeling of human exposures to ambient air pollution: A PM2.5 case study*. 2009. **Atmos. Environ.**(43(9)): p. 1641–1649.
36. Oracle. *Crystal Ball*. 2021; Sources <https://www.oracle.com/ca-fr/applications/crystalball/resources.html>.
37. Environnement et Changement climatique Canada (ECCC). *Programme de surveillance nationale de la pollution atmosphérique (SNPA)*. 2021 [cited 2021; Sources <http://data.ec.gc.ca/data/air/monitor/national-air-pollution-surveillance-naps-program/?lang=fr>.
38. Gouvernement du Québec. *Règlement sur l'assainissement de l'atmosphère (chapitre Q-2, a. 53, 95.1, 115.27, 115.34, 124.0.1 et 124.1)*. D. 501-2011; N.I. 2019-12-01. 2011 (mise à jour 1er avril 2020) [cited 2020 2 août 2020]; Sources <http://legisquebec.gouv.qc.ca/fr/ShowDoc/cr/Q-2,%20r.%204.1>.
39. Centre intégré universitaire de santé et de services sociaux de la Capitale-Nationale (CIUSSS), *Les inégalités sociales de santé dans Basse-Ville et Limoilou–Vanier. Regard spécifique sur 18 indicateurs du Plan national de surveillance*. 2018, Direction de santé publique: Québec. p. 35.
40. Walsh, P. and J.-F. Brière, *L'incinérateur et la qualité de l'air dans l'arrondissement La Cité-Limoilou*. 2018, Ministère du Développement Durable de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC): Québec, Québec. p. 46 + annexes.
41. Turner, D.B. and R.H. Schulze, *Practical Guide to Atmospheric Modelling*. 2007, Dallas, TX: Trinity Consultants Inc.
42. Sax, T. and V. Isakov, *A case study for assessing uncertainty in local-scale regulatory air quality modeling applications*. Atmospheric Environment, 2003(37): p. 3481–3489.
43. Hanna, S.R., et al., *Uncertainties in Air Toxics Calculated by the Dispersion Models AERMOD and ISCST3 in the Houston Ship Channel Area*. Journal of Applied Meteorology and Climatology, 2007(46): p. 1372-1382.
44. Piotr Holnicki and Z. Nahorski, *Emission Data Uncertainty in Urban Air Quality Modeling—Case Study*. Environ Model Assess, 2015(20): p. 583–597.
45. Santé Canada(SC), *L'évaluation des risques des lieux contaminés fédéraux au Canada - Partie V: L'évaluation quantitative détaillée des risques (ÉQDR) pour la santé humaine associés aux substances chimiques (ÉQDRchim)*. 2010.
46. Administration portuaire de Québec (APQ), *Mémoire de l'Administration portuaire de Québec déposé à l'Agence d'évaluation d'impact du Canada dans le cadre de la phase de la consultation sur le Rapport provisoire d'évaluation environnementale du projet de Terminal Laurentia*. 2020, Rapport déposé à l'Agence de l'évaluation d'impact du Canada. p. 151.

LIMITATIONS

Ce rapport est destiné à l'usage unique et exclusif de l'**Administration portuaire de Québec** (ci-après « **CLIENT** ») et de son mandataire, pour les fins auxquelles il est destiné. Le Service d'analyse de données MESIQ inc. (ci-après « **MESIQ** ») n'assume aucune responsabilité découlant de l'utilisation éventuelle de ce rapport par un tiers. L'information et les opinions qui y sont exprimées ont été préparées à la seule intention du **CLIENT**. Ce rapport doit être lu dans son ensemble. Les données factuelles ainsi que les interprétations et les recommandations sont spécifiques à cette évaluation et ne peuvent s'appliquer à aucune autre étude.

La responsabilité de **MESIQ** se limite à la réalisation du présent avis professionnel sur la base des résultats des évaluations environnementales de site (ÉES - phases I, II et/ou III) ou des autres études environnementales réalisées sur la zone à l'étude et de la réglementation applicable au moment de la rédaction du rapport. Cet avis est réalisé selon les règles de l'art, ce qui inclut l'utilisation de méthodes et de modèles mathématiques respectant les lignes directrices gouvernementales ou guides applicables à ce jour.

Cet avis ne constitue pas une évaluation des risques toxicologique et écotoxicologique et des impacts sur l'eau souterraine au sens de la Loi sur qualité de l'environnement (LQE) et, dans ce sens, ne peut être utilisé comme élément constitutif d'un dossier pour approbation par le Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC). En revanche, le présent document s'appuie sur les principes et méthodes proposés dans les différents documents gouvernementaux disponibles sur ce sujet, et évalue, sur la base du poids des évidences, les risques pour la santé reliés à la pollution atmosphérique.

Précisons enfin que le contenu ainsi que les conclusions de ce rapport sont strictement basés sur les informations disponibles, et transmises à **MESIQ** par le **CLIENT** ou son mandataire, pour la rédaction du présent rapport. À défaut de l'existence d'une politique, d'une réglementation, d'une directive gouvernementale visant l'interprétation des informations exprimées dans le présent avis, l'analyse des données et les recommandations présentées dans ce rapport sont fondées sur les connaissances, règles ou pratiques généralement utilisées dans le champ d'expertise de **MESIQ**. L'interprétation des lois et des règlements est réalisée dans un cadre technique et ne doit en aucune façon être considérée comme un avis juridique. Par ailleurs, tout changement dans les faits, les circonstances, la réglementation ou de tout autre élément relatif au contenu de ce rapport, et survenu postérieurement à sa rédaction, ne saurait en aucun cas engager la responsabilité de **MESIQ**.

Ce rapport demeure la propriété exclusive de **MESIQ**, de **CLIENT** ou de son mandataire. Toute utilisation de son contenu, en tout ou en partie par un tiers, doit avoir reçu l'autorisation explicite et écrite de **MESIQ**.

Tableaux

Tableau 1 : Indicateurs de mortalité ou de morbidité (taux quotidien) pour évaluer les effets de la pollution atmosphérique pour la population de Limoilou à Québec

Composés potentiellement préoccupants (CPP)	Indicateurs de mortalité ou de morbidité (taux quotidien)	Type d'exposition
NO ₂	Mortalité	aiguë
	Hospitalisation	aiguë
	Hospitalisation (Asthme Enfants)	aiguë
SO ₂	Mortalité	aiguë
PM _{2,5}	Mortalité	aiguë
	Hospitalisation (troubles respiratoires)	aiguë
	Hospitalisation (troubles cardiaques)	aiguë
	Mortalité (cardiopulmonaire)	chronique
	Symptômes respiratoires	aiguë
	Absentéisme au travail ou à l'école	aiguë
	Mortalité chez personnes avec maladies chroniques	chronique
	Nouveaux cas de bronchite chronique chez les adultes âgés	chronique
	Diminution de la capacité vitale forcée chez les enfants	chronique
	Ratios d'incidence approchés de la bronchite	chronique

Tableau 2 : Statistiques descriptives des concentrations horaires et journalières en dioxyde d'azote (NO₂) mesurées à la station Vieux-Limoilou à Québec entre 2014 et 2016

Concentrations horaires en NO₂ (ppb)

Année	Effectif (n)	Moyenne	Écart-type	Coefficient de variation (%)	98e centile	Minimum	Maximum
2014	8560	9,10	7,65	84%	32,00	0,00	52,00
2015	8456	8,67	7,63	88%	26,00	0,00	61,00
2016	8650	8,08	7,19	89%	24,00	0,00	58,00
2014-2016	25666	8,62	7,50	87%	32,00	0,00	61,00
Moyenne triennale (maximum)							57

Concentrations horaires en NO₂ (ug/m3)

Année	Effectif (n)	Moyenne	Écart-type	Coefficient de variation (%)	98e centile	Minimum	Maximum
2014	8560	17,13	14,39	84%	60,20	0,00	97,83
2015	8456	16,31	14,36	88%	48,92	0,00	114,77
2016	8650	15,21	13,53	89%	45,15	0,00	109,12
2014-2016	25666	16,21	14,12	87%	60,20	0,00	114,77
Moyenne triennale (maximum)							107

Concentrations journalières en NO₂ (ppb)

Année	Effectif (n)	Moyenne	Écart-type	Coefficient de variation (%)	98e centile	Minimum	Maximum
2014	364	9	5	59%	21	1	36
2015	359	9	5	58%	20	1	34
2016	365	8	5	61%	18	1	34
2014-2016	1088	9	5	60%	20	1	36
Moyenne triennale (maximum)							35

Concentrations journalières en NO₂ (ug/m3)

Année	Effectif (n)	Moyenne	Écart-type	Coefficient de variation (%)	98e centile	Minimum	Maximum
2014	364	17	10	59%	39	2	67
2015	357	16	9	58%	37	2	64
2016	355	15	9	61%	34	2	64
2014-2016	1078	16	10	60%	38	2	67
Moyenne triennale (maximum)*							65

* valeur corrigée

Tableau 3 : Statistiques descriptives des concentrations horaires et journalières en PM_{2,5} mesurées à la station Vieux-Limoilou à Québec entre 2014 et 2016

Concentrations horaires en PM_{2,5} (ug/m3)

Année	Effectif (n)	Moyenne	Écart-type	Coefficient de variation (%)	98e centile	Minimum	Maximum
2014	8590	9,6	7,2	75%	30,0	0,0	77,0
2015	8075	10,4	7,5	72%	27,0	0,0	77,0
2016	8275	9,2	6,4	69%	23,0	0,0	66,0
2014-2016	24940	9,7	7,1	73%	10,0	0,0	77,0
	Moyenne triennale (maximum)						73,3

Concentrations journalières en PM_{2,5} (ug/m3)

Année	Effectif (n)	Moyenne	Écart-type	Coefficient de variation (%)	98e centile	Minimum	Maximum
2014	362	9,6	5,22	54%	22,1	0,7	33,0
2015	345	10,4	5,32	51%	26,8	0,5	33,9
2016	351	9,2	4,33	47%	22,5	1,4	30,1
2014-2016	1058	9,7	5,00	51%	23,3	0,5	33,9
	Moyenne triennale	9,7					

Tableau 4 : Statistiques descriptives des coefficients de variation (CV %) calculés à partir des concentrations horaires en NO₂ et en PM_{2.5} mesurées simultanément aux stations du Vieux-Limoilou (50308), du Collège St-Charles-Garnier (50310) et de l'École Les Primevères (50311) à Québec.

CPP	Période considérée*	Effectif (n)	Moyenne	98 ^e centile	Minimum**	Maximum**
NO ₂	2010-2011	17417	43%	100%	0%	173%
PM _{2.5}	2014-2016	22788	40%	110%	0%	173%

* Aucune mesure n'a été réalisée simultanément aux trois (3) stations d'échantillonnage considérées dans le cas du NO₂ entre 2014 et 2016. Par conséquent, seules les données disponibles pour 2010-2011 ont pu être utilisées.

** L'étendue de variation (Min-Max) correspond à l'intervalle des valeurs limites calculées. Pour le minimum, le CV correspond à des concentrations identiques aux trois (3) stations pour une heure donnée, tandis que le CV maximum correspond aux concentrations limites suivantes: 0, 0 et 1 ug/m³ ou ppb.

Tableau 5 : Concentrations de NO₂ et le PM_{2,5} mesurées dans l'air ambiant (Station Vieux-Limoilou – 2014-2016) considérées dans le cadre de l'étude d'impact et des simulations Monte-Carlo

CPP	Référence de la valeur guide	Période	Valeur guide (µg/m ³)	État de référence (Station Vieux-Limoilou 2014-2016)			
				Concentrations mesurées * (µg/m ³)	Moyenne	Écart-type	Incertitude **
NO ₂	RAA	1 h	414	107	16,21	14,12	87%
	RAA	24 h	207	75	16,21	14,12	87%
	RAA	An	103	16	16,21	14,12	87%
PM _{2,5}	RAA	24 h	30	20	9,72	5,00	51%
	OMS	An	10	9,7	9,72	5,00	51%

* Source: Englobe, 2020c ; Tableau 1

** Incertitude = Coefficient de variation (Écart-type/moyenne * 100) = CV %

Tableau 6 : Statistiques descriptives des concentrations horaires, journalières et annuelles modélisées (AERMOD) en phases construction et exploitation dans le rayon de la zone d'étude du projet Laurentia au port de Québec

Concentrations modélisées dans la zone d'étude - Phase construction (ug/m3)

CPP	n	moyenne	écart-type	Coefficient de variation (%)	Médiane	98e centile	Minimum	Maximum
NO ₂ - 1h	3837	131,77	53,00	40%	144,65	238,75	5,25	523,1
NO ₂ - 24h	3837	14,57	18,91	130%	10,01	82,59	0,23	227,4
NO ₂ - An	3837	0,43	0,71	165%	0,25	2,52	0,00	9,7
PMT - 24h	3837	19,39	19,72	102%	15,21	85,20	0,29	184,0
PM _{2,5} - 24h	3837	2,42	2,95	122%	1,71	12,83	0,03	27,0
PM _{2,5} - An	3837	0,03	0,06	177%	0,02	0,23	0,00	0,5
Ni - 24h	3837	2,07E-04	3,62E-04	175%	1,21E-04	1,17E-03	2,64E-06	5,39E-03

Concentrations modélisées dans la zone d'étude - Phase exploitation (ug/m3)

CPP	n	moyenne	écart-type	Coefficient de variation (%)	Médiane	98e centile	Minimum	Maximum
NO ₂ - 1h	3762	89,51	38,17	43%	81,15	152,63	22,40	165,3
NO ₂ - 24h	3762	6,48	4,78	74%	5,21	19,88	0,56	37,6
NO ₂ - An	3762	0,56	0,67	119%	0,35	2,35	0,01	8,2
PMT - 24h	3762	3,20	2,69	84%	2,71	10,88	0,08	24,9
PM _{2,5} - 24h	3762	0,33	0,27	82%	0,27	1,15	0,01	2,1
PM _{2,5} - An	3762	0,02	0,03	132%	0,02	0,13	0,00	0,4
Ni - 24h	3762	1,15E-04	8,13E-05	71%	9,35E-05	3,48E-04	1,49E-05	9,55E-04

Concentrations maximales modélisées présentées au Tableau 1 de l'étude de risque (Englobe, 2020c)

Tableau 7 : Concentrations de NO₂ et le PM_{2,5} modélisées (AERMOD) considérées dans le cadre de l'étude d'impact et des simulations Monte-Carlo

CPP	Référence de la valeur guide	Période	Valeur guide (µg/m ³)	Scénario de construction (année 2)				Scénario d'exploitation			
				Valeur maximale modélisée (µg/m ³) *	Moyenne	Écart-type	Incertitude**	Valeur modélisée (µg/m ³)*	Moyenne	Écart-type	Incertitude**
NO ₂	RAA	1 h	414	523	132	53	240%	165	90	38	242%
	RAA	24 h	207	227	15	19	227%	38	6,5	4,8	174%
	RAA	An	103	9,7	0,43	0,25	108%	8,2	0,56	0,67	170%
PM _{2,5}	RAA	24 h	30	58	9,72	5,00	151%	2,1	0,33	0,27	182%
	OMS	An	10	1,3	0,03	0,10	383%	0,420	0,024	0,032	183%

* Source: Englobe, 2020c ; Tableau 1

** Incertitude = Coefficient de variation (Écart-type/moyenne * 100) = CV %

NO₂ 1h = CV% + 200 % (modèle de dispersion); NO₂ 24h/PM_{2,5} 24 h = CV% + 100 % (modèle de dispersion); NO₂ An/PM_{2,5} An = CV% + 50 % (modèle de dispersion).

Tableau 8 : Durée d'exposition et récepteurs humains considérés pour la simulation Monte-Carlo

Paramètres d'exposition	Résidents	Travailleurs (état initial)	Travailleurs (annuels)	Type de distribution	Intervalle de valeurs utilisées Min/ Probable/ Max Min- Max
	Tout-petit	Adultes			
Temps passé à l'intérieur (inhalation) (h/j)	22,33	22	2	Triangulaire	R+ Téli: 20/ 22,33 ou 22/ 24 Ta: 0 / 2 / 10
Temps passé à l'extérieur (inhalation) (h/j)	1,67	2	8	Triangulaire	R+ Téli: 0/1,67 ou 2/4 Ta: 0 / 8 / 10
Nombre d'heures par jour passé dans la zone d'étude (J1)	24	24	10	Uniforme	R+ Téli: 20 - 24 Ta: 0-10
Nombre de jours par semaine passé dans la zone d'étude (J2)	7	7	5	Uniforme / Triangulaire	R+ Téli: 5 - 7 Ta: 0 / 5 / 7
Nombre de semaines par an passé dans la zone d'étude (J3)	52	52	50	Uniforme / Triangulaire	R+ Téli: 48 - 52 Ta: 0/ 48/ 50

* R: Résident; Téli: Travailleurs - état initial; Ta: Travailleurs - annuels

Tableau 9 : Indicateurs de mortalité et de morbidité et taux d'incidence associés à une exposition au NO₂ et aux PM_{2.5} utilisés pour la simulation Monte-Carlo

CPP	Indicateurs de mortalité ou de morbidité (taux quotidien)	Type d'expositon	Taux de mortalité ou de morbidité individuel *	Taux d'incidence ***	Variations des concentrations quotidiennes (ug/m3)	Incertitude rapportée sur le taux d'incidence
NO ₂	Mortalité	aiguë		1,7 à 3,5 % (S)	20 ppb	IC=0 - 6,2 %
	Hospitalisation	aiguë		1 À 13 % (IIQ)	20 - 30 ppb	
PM _{2.5}	Mortalité	aiguë	0,000022 *	1,5% (RR)	10	IC = 1,1 À 1,9 %
	Hospitalisation (troubles respiratoires)	aiguë	0,0000321 **	1,1% (RR)	10	IC = 0,7 À 1,4 %
	Hospitalisation (troubles cardiaques)	aiguë	0,0000117 **	1% (RR)	10	IC = 0,5 À 1,5 %
	Mortalité (cardiopulmonaire)	chronique	0,00000614 **	7 à 14 %	10	

* Taux de mortalité annuel (Québec): 8,2 par 1000 individus (ISQ, 2020);

** Taux de mortalité et d'hospitalisation (Population de Limoilou = 88000 individus): CIUSSS, 2018

*** Environnement Canada et Santé Canada, 2000; Santé Canada, 2013; INSPQ, 2018.

RR: Risque relatif; S: surmortalité ("excess death rate"); IIC: Intervalle ou écart interquartile

Tableau 10 : Résultats de l'analyse de sensibilité – Approche normative – Pourcentage de dépassement des normes (RAA) ou du critère (OMS) pour le NO₂ et les PM_{2,5}

Phase	Prévision	Hypothèse (variable ou paramètre)	Contribution relative des variables (hypothèses) à l'estimation de la prévision (Y)
Construction	% dépassement - Norme RAA - NO ₂ 1 h	Concentrations mesurées - Bruit de fond (référence)	4%
		Concentrations modélisées (AERMOD)	96%
		Norme RAA NO ₂ 1 h (constante)	a.c.
Exploitation	% dépassement - Norme RAA - NO ₂ 1 h	Concentrations mesurées - Bruit de fond (référence)	7%
		Concentrations modélisées (AERMOD)	93%
		Norme RAA NO ₂ 1 h (constante)	a.c.
Construction	% dépassement - Norme RAA - NO ₂ 24 h	Concentrations mesurées - Bruit de fond (référence)	48%
		Concentrations modélisées (AERMOD)	52%
		Norme RAA NO ₂ 24 h (constante)	a.c.
Exploitation	% dépassement - Norme RAA - NO ₂ 24 h	Concentrations mesurées - Bruit de fond (référence)	76%
		Concentrations modélisées (AERMOD)	24%
		Norme RAA NO ₂ 24 h (constante)	a.c.
Construction	% dépassement - Norme RAA - NO ₂ An	Concentrations mesurées - Bruit de fond (référence)	99,7%
		Concentrations modélisées (AERMOD)	0,3%
		Norme RAA NO ₂ An (constante)	a.c.
Exploitation	% dépassement - Norme RAA - NO ₂ An	Concentrations mesurées - Bruit de fond (référence)	99,7%
		Concentrations modélisées (AERMOD)	0,3%
		Norme RAA NO ₂ An (constante)	a.c.
Construction	% dépassement - Norme RAA - PM _{2,5} 24 h	Concentrations mesurées - Bruit de fond (référence)	34%
		Concentrations modélisées (AERMOD)	66%
		Norme RAA PM _{2,5} 24 h (constante)	a.c.
Exploitation	% dépassement - Norme RAA - PM _{2,5} 24 h	Concentrations mesurées - Bruit de fond (référence)	99%
		Concentrations modélisées (AERMOD)	1%
		Norme RAA PM _{2,5} 24 h (constante)	a.c.
Construction	% dépassement - Critère OMS - PM _{2,5} An	Concentrations mesurées - Bruit de fond (référence)	100%
		Concentrations modélisées (AERMOD)	0%
		Critère OMS PM _{2,5} An (constante)	a.c.
Exploitation	% dépassement - Critère OMS - PM _{2,5} An	Concentrations mesurées - Bruit de fond (référence)	100%
		Concentrations modélisées (AERMOD)	0%
		Critère OMS PM _{2,5} An (constante)	a.c.

a.c.: aucune contribution (constante)

Tableau 11 : Résultats de l'analyse de sensibilité – Approche ÉRSR – Indice de risque (effets non cancérogènes) pour une exposition aiguë et chronique au NO₂ et aux PM_{2,5}

Phase	Prévision	Hypothèse (variable ou paramètre)	Contribution relative des variables (hypothèses) à l'estimation de la prévision (Y)	
			Résident (Tout-Petit)	Travailleurs (Adulte)
Construction	% dépassement - Norme RAA - NO ₂ 1 h	Concentrations mesurées - Bruit de fond (référence)	3%	3%
		Concentrations modélisées (AERMOD)	97%	97%
		Durée d'exposition (Tableau 8)	< 1 %	< 1 %
		Norme RAA NO ₂ 1 h (constante)	a.c.	a.c.
Exploitation	% dépassement - Norme RAA - NO ₂ 1 h	Concentrations mesurées - Bruit de fond (référence)	5%	5%
		Concentrations modélisées (AERMOD)	95%	95%
		Durée d'exposition (Tableau 8)	< 1 %	< 1 %
		Norme RAA NO ₂ 1 h (constante)	a.c.	a.c.
Construction	% dépassement - Norme RAA - NO ₂ 24 h	Concentrations mesurées - Bruit de fond (référence)	69%	2%
		Concentrations modélisées (AERMOD)	30%	98%
		Durée d'exposition (Tableau 8)	< 1 %	< 1 %
		Norme RAA NO ₂ 24 h (constante)	a.c.	a.c.
Exploitation	% dépassement - Norme RAA - NO ₂ 24 h	Concentrations mesurées - Bruit de fond (référence)	85%	33%
		Concentrations modélisées (AERMOD)	15%	66%
		Durée d'exposition (Tableau 8)	< 1 %	1%
		Norme RAA NO ₂ 24 h (constante)	a.c.	a.c.
Construction	% dépassement - Norme RAA - NO ₂ Chronique	Concentrations mesurées - Bruit de fond (référence)	93,0%	66,0%
		Concentrations modélisées (AERMOD)	6%	7,0%
		Durée d'exposition (Tableau 8)	1%	27%
		Norme RAA NO ₂ An (constante)	a.c.	a.c.
Exploitation	% dépassement - Norme RAA - NO ₂ Chronique	Concentrations mesurées - Bruit de fond (référence)	91,0%	91,0%
		Concentrations modélisées (AERMOD)	2,0%	1,0%
		Durée d'exposition (Tableau 8)	7%	8%
		Norme RAA NO ₂ An (constante)	a.c.	a.c.
Construction	% dépassement - Norme RAA - PM _{2,5} 24 h	Concentrations mesurées - Bruit de fond (référence)	94%	4%
		Concentrations modélisées (AERMOD)	6%	96%
		Durée d'exposition (Tableau 8)	< 1 %	< 1 %
		Norme RAA PM _{2,5} 24 h (constante)	a.c.	a.c.
Exploitation	% dépassement - Norme RAA - PM _{2,5} 24 h	Concentrations mesurées - Bruit de fond (référence)	97%	87%
		Concentrations modélisées (AERMOD)	2%	13%
		Durée d'exposition (Tableau 8)	1%	< 1 %
		Norme RAA PM _{2,5} 24 h (constante)	a.c.	a.c.
Construction	Critère OMS - PM _{2,5} Chronique	Concentrations mesurées - Bruit de fond (référence)	96%	88%
		Concentrations modélisées (AERMOD)	< 1 %	< 1 %
		Durée d'exposition (Tableau 8)	4%	12%
		Critère OMS PM _{2,5} An (constante)	a.c.	a.c.
Exploitation	Critère OMS - PM _{2,5} Chronique	Concentrations mesurées - Bruit de fond (référence)	95%	88%
		Concentrations modélisées (AERMOD)	< 1 %	< 1 %
		Durée d'exposition (Tableau 8)	5%	11%
		Critère OMS PM _{2,5} An (constante)	a.c.	a.c.

a.c.: aucune contribution (constante)

Tableau 12 : Résultats de l'analyse de sensibilité – Approche épidémiologique – Indicateurs de mortalité et de morbidité pour une exposition aigüe et chronique au NO₂ et aux PM_{2,5}

Prévision	Hypothèse (variable ou paramètre)	Contribution relative des variables (hypothèses) à l'estimation de la prévision (Y)	
		Construction	Exploitation
Taux de mortalité quotidienne Exposition aigüe NO ₂ 24 h	Concentrations mesurées - Bruit de fond (référence)	n.c.	n.c.
	Concentrations modélisées (AERMOD)	97%	97%
	Taux d'incidence (Tableau 7)	3%	3%
	Norme RAA NO ₂ 1 h (constante)	n.c.	n.c.
Taux d'hospitalisation quotidienne Exposition aigüe NO ₂ 24 h	Concentrations mesurées - Bruit de fond (référence)	n.c.	n.c.
	Concentrations modélisées (AERMOD)	80%	80%
	Taux d'incidence (Tableau 7)	19%	19%
	Concentration critique (20-30 ppb)	1%	1%
	Norme RAA NO ₂ 24 h (constante)	n.c.	n.c.
Taux de mortalité quotidienne Exposition aigüe PM _{2,5} 24 h	Concentrations mesurées - Bruit de fond (référence)	n.c.	n.c.
	Concentrations modélisées (AERMOD)	99%	99,0%
	Taux d'incidence (Tableau 7)	1%	1%
	Norme RAA NO ₂ An (constante)	n.c.	n.c.
Taux d'hospitalisation quotidienne (troubles respiratoires) Exposition aigüe PM _{2,5} 24 h	Concentrations mesurées - Bruit de fond (référence)	n.c.	n.c.
	Concentrations modélisées (AERMOD)	98%	98%
	Taux d'incidence (Tableau 7)	2%	2%
	Norme RAA PM _{2,5} 24 h (constante)	n.c.	n.c.
Taux d'hospitalisation quotidienne (troubles cardiaques) Exposition aigüe PM _{2,5} 24 h	Concentrations mesurées - Bruit de fond (référence)	n.c.	n.c.
	Concentrations modélisées (AERMOD)	97%	97%
	Taux d'incidence (Tableau 7)	3%	3%
	Critère OMS PM _{2,5} An (constante)	n.c.	n.c.
Taux de mortalité cardiopulmonaire Exposition chronique PM _{2,5} (an)	Concentrations mesurées - Bruit de fond (référence)	n.c.	n.c.
	Concentrations modélisées (AERMOD)	98%	96%
	Taux d'incidence (Tableau 7)	2%	4%
	Critère OMS PM _{2,5} An (constante)	n.c.	n.c.

Figures

Figure 1 : Phases de construction et d'exploitation du projet Laurentia à Québec.
 Source : Englobe, 2020a

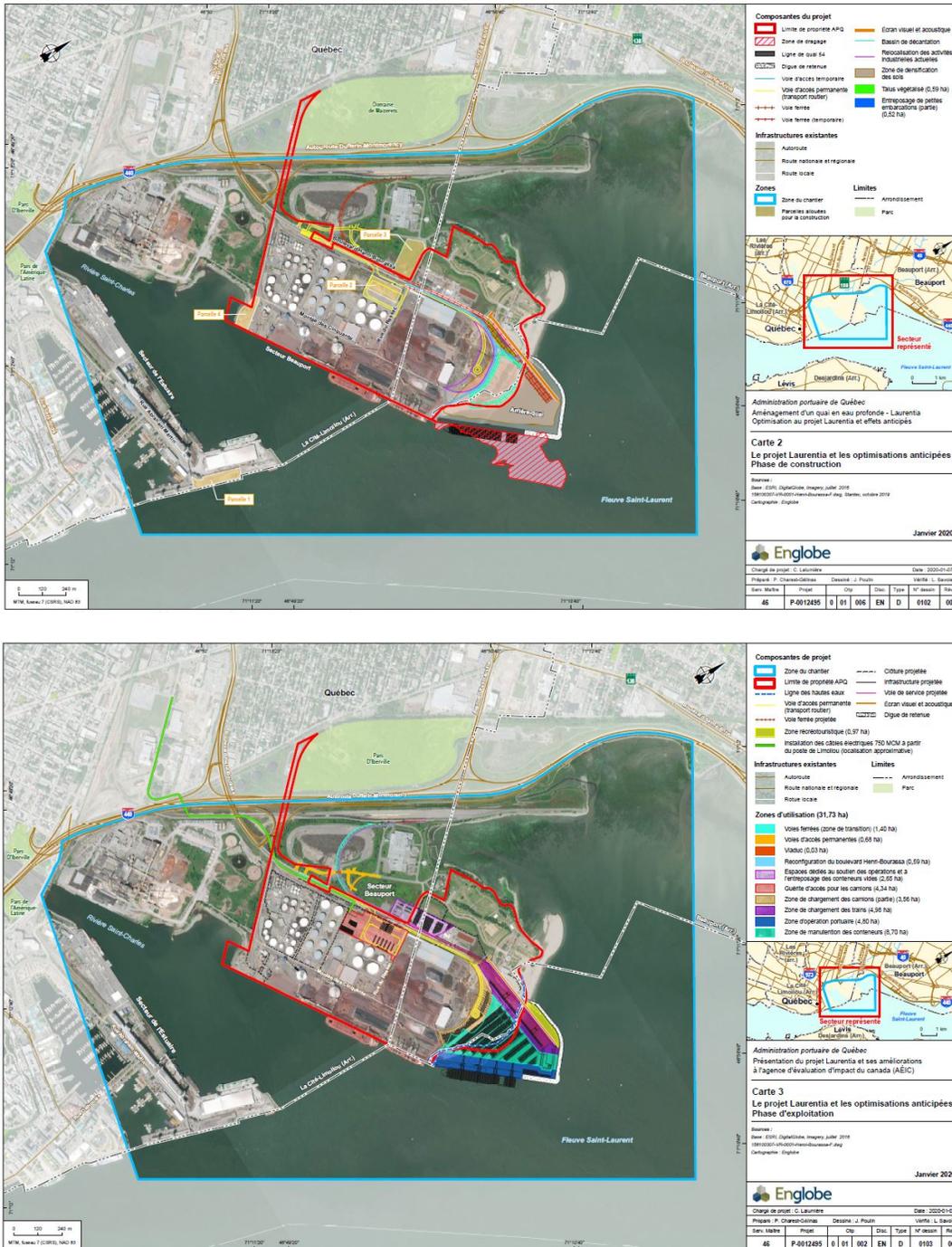


Figure 2 : Niveaux d'analyse pour l'évaluation des risques toxicologiques (santé humaine)

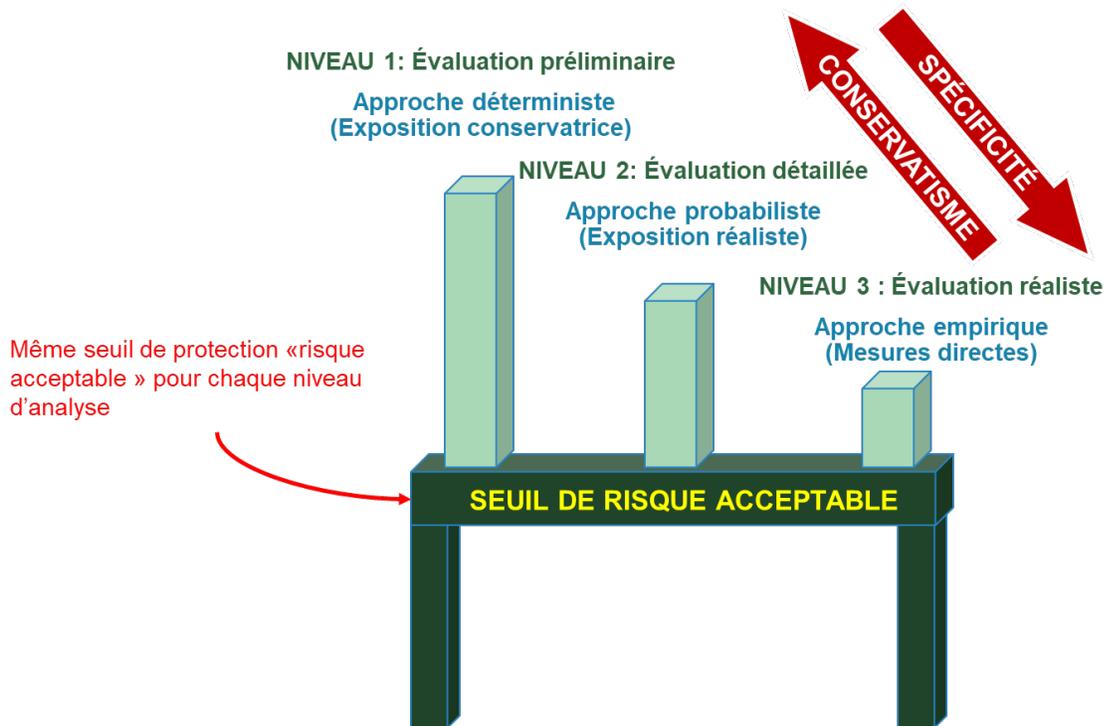


Figure 3 : Localisation des trois (3) stations d'échantillonnage de la qualité de l'air du réseau national de surveillance des polluants atmosphériques (NSPA) situées en amont des vents dominants du port de Québec. Source : Google Earth, 2021

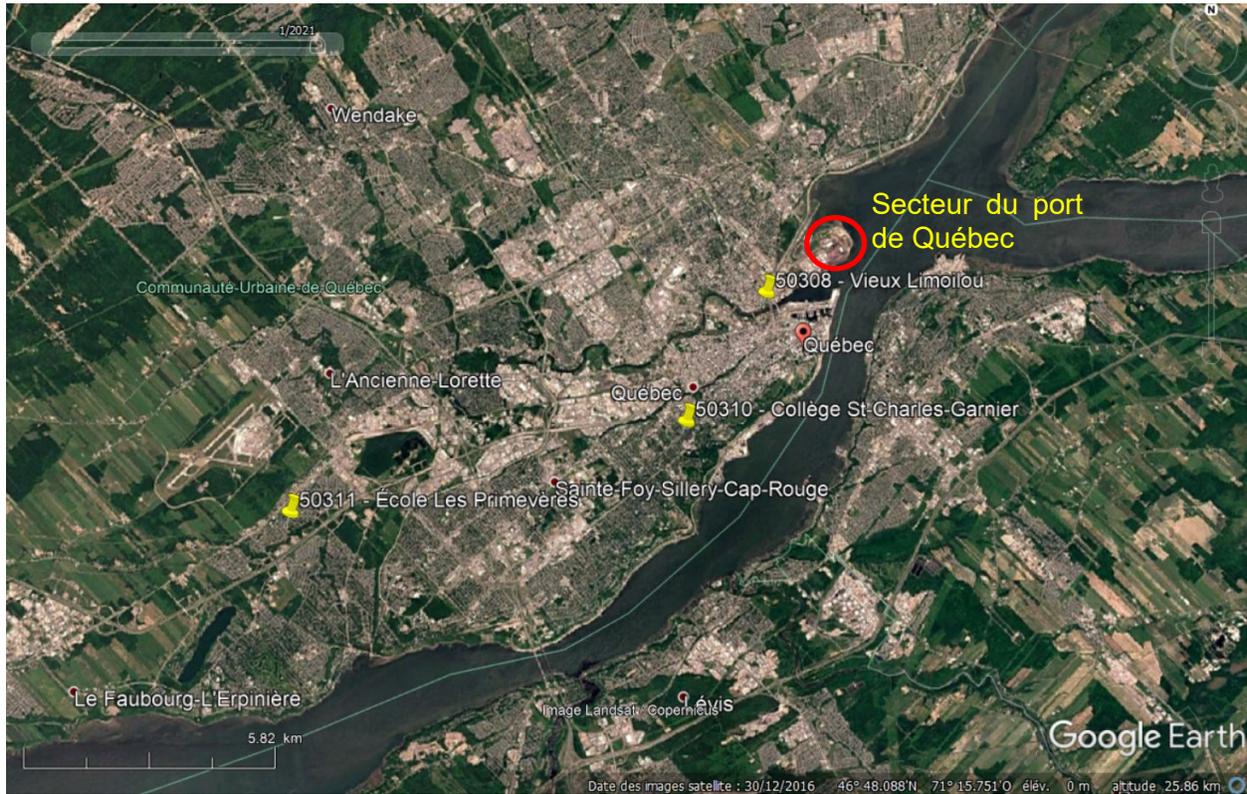


Figure 4 : Localisation des récepteurs utilisés pour la modélisation de dispersion (AERMOD) dans le secteur du projet Laurentia à Québec. Source : Englobe, 2020c

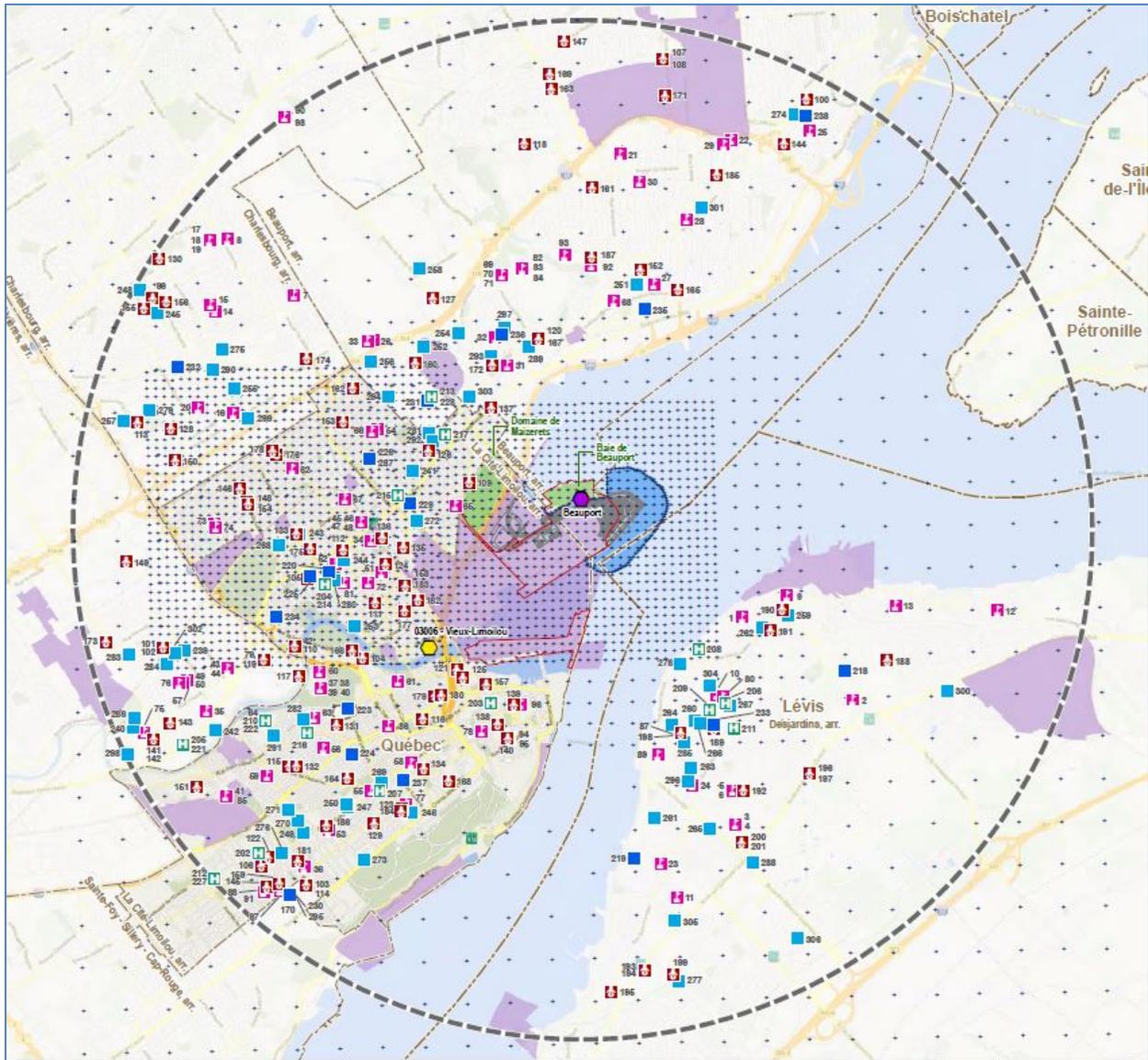


Figure 5 : Histogrammes de fréquence des concentrations horaires en dioxyde d'azote (NO₂) et en PM_{2.5} mesurées à la station Vieux-Limoilou à Québec entre 2014 et 2016

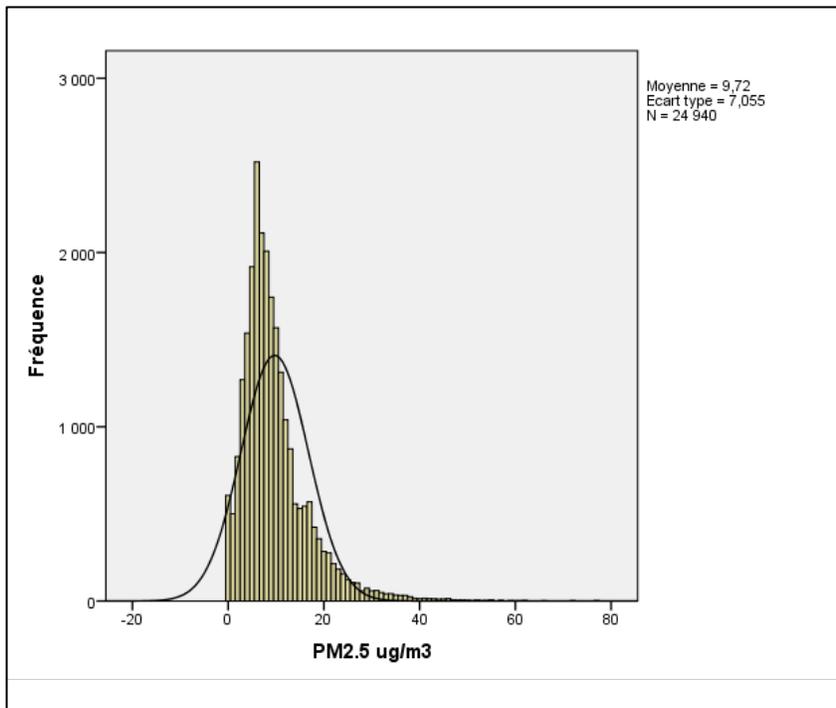
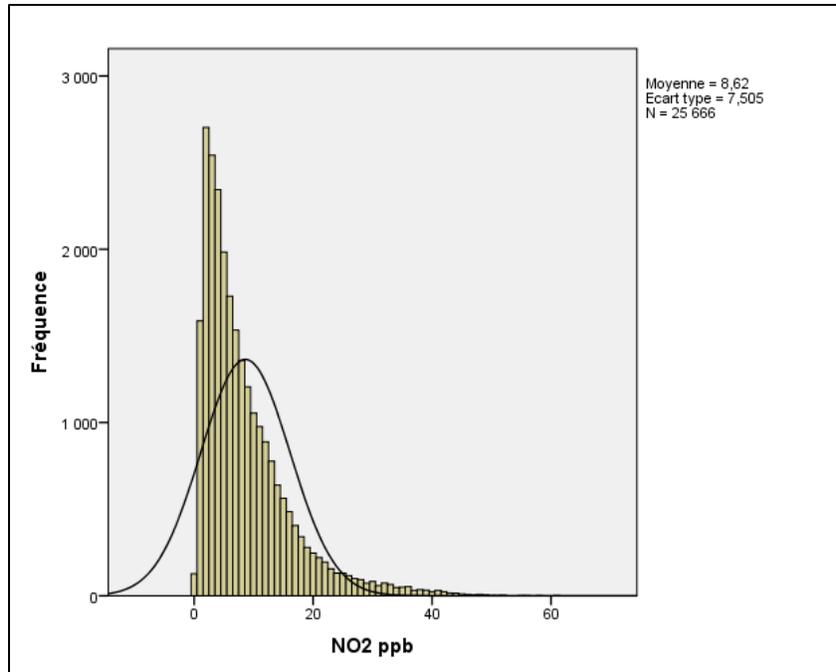


Figure 6 : Approche normative - Simulation Monte-Carlo – Pourcentage de dépassement de la norme 1 h (RAA) pour le NO₂ -

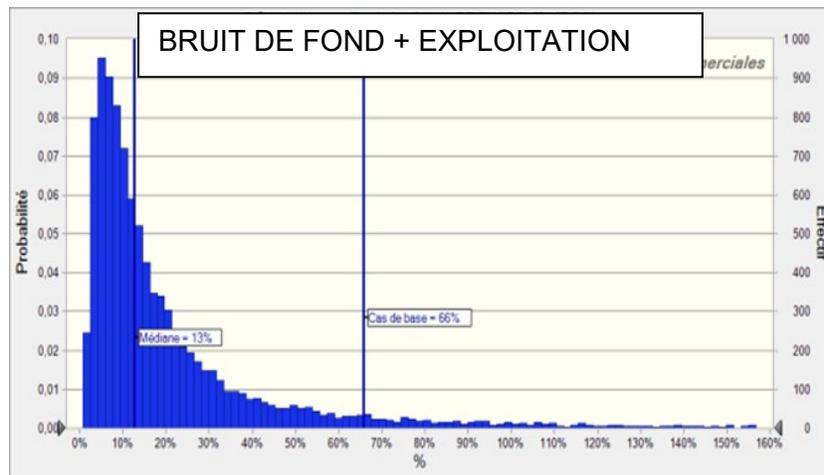
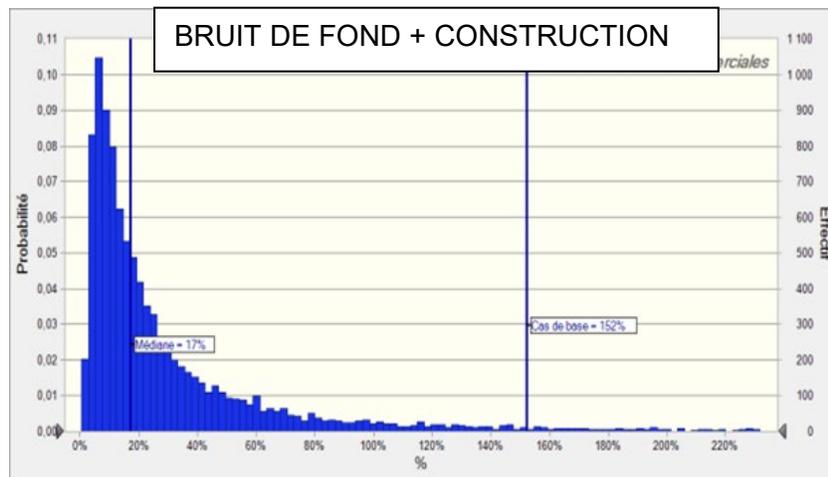
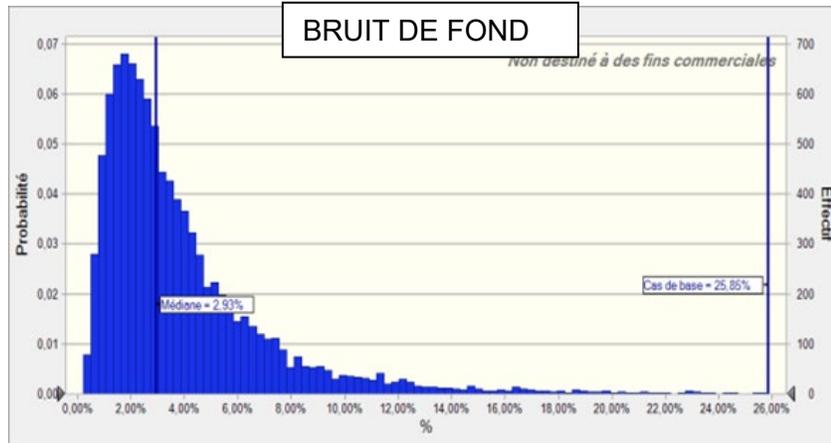


Figure 7 : Approche normative - Simulation Monte-Carlo – Pourcentage de dépassement de la norme 24 h (RAA) pour les PM_{2,5}

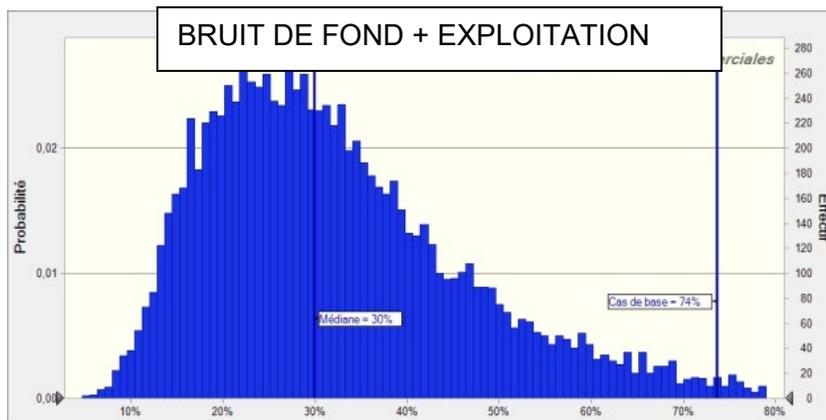
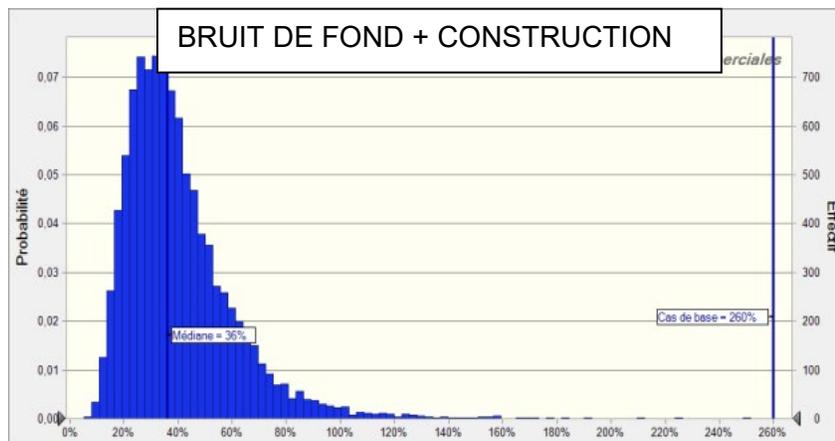
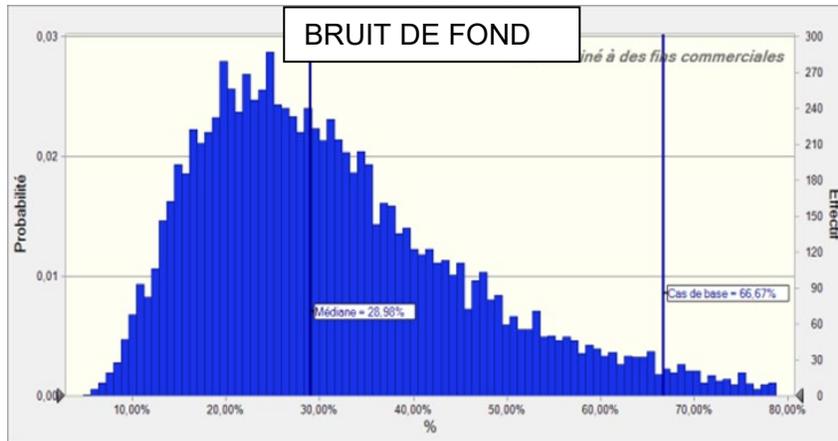


Figure 8 : Approche par ÉRSH - Simulation Monte-Carlo – Indice de risque (effets non cancérogènes) – Tout-petits – Résidentiel - NO₂ – Norme 1 h (RAA)

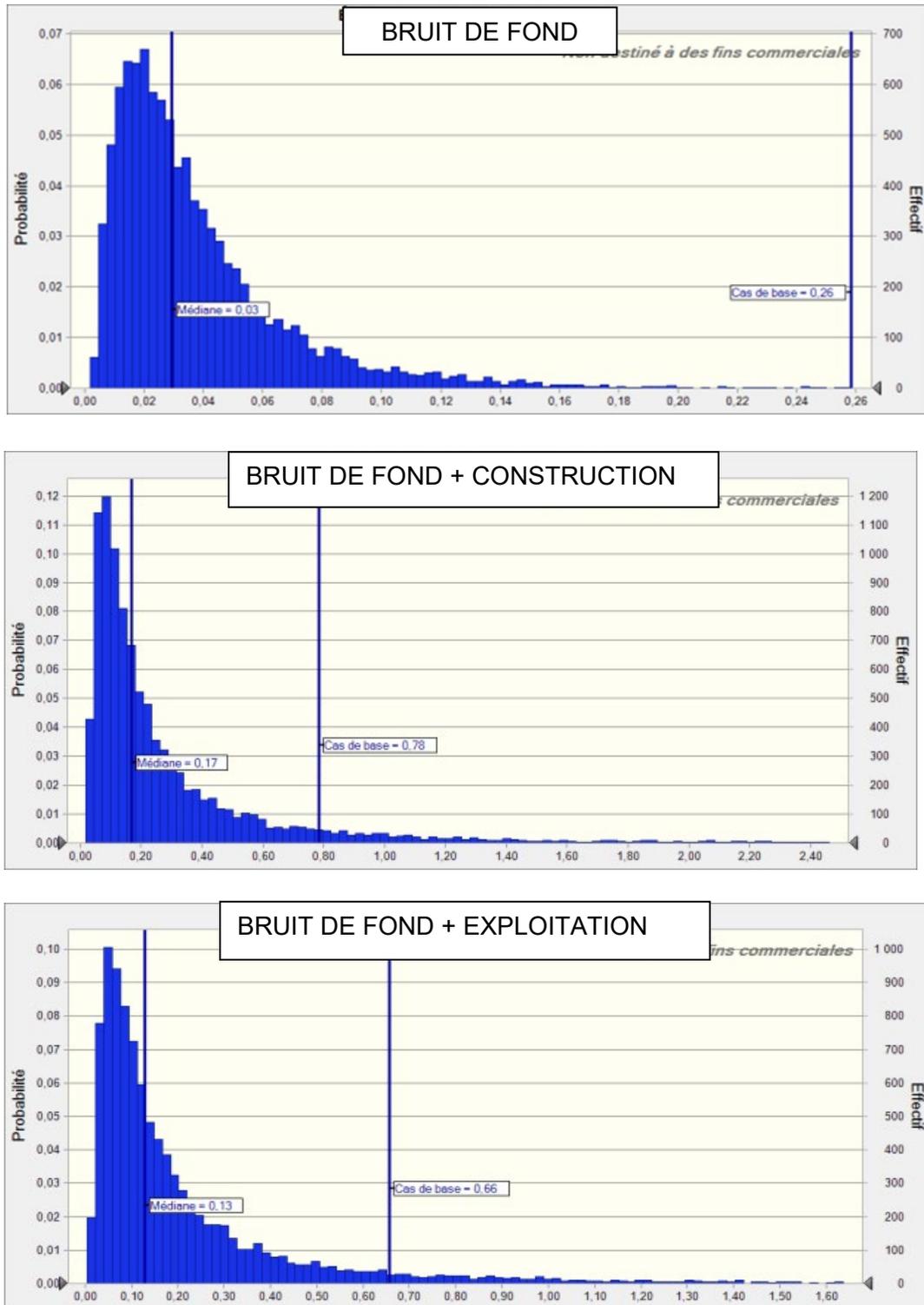


Figure 9 : Approche par ÉRSH - Simulation Monte-Carlo – Indice de risque (effets non cancérogènes) – Tout-petits – Résidentiel - PM_{2.5}- Norme 24 h (RAA)

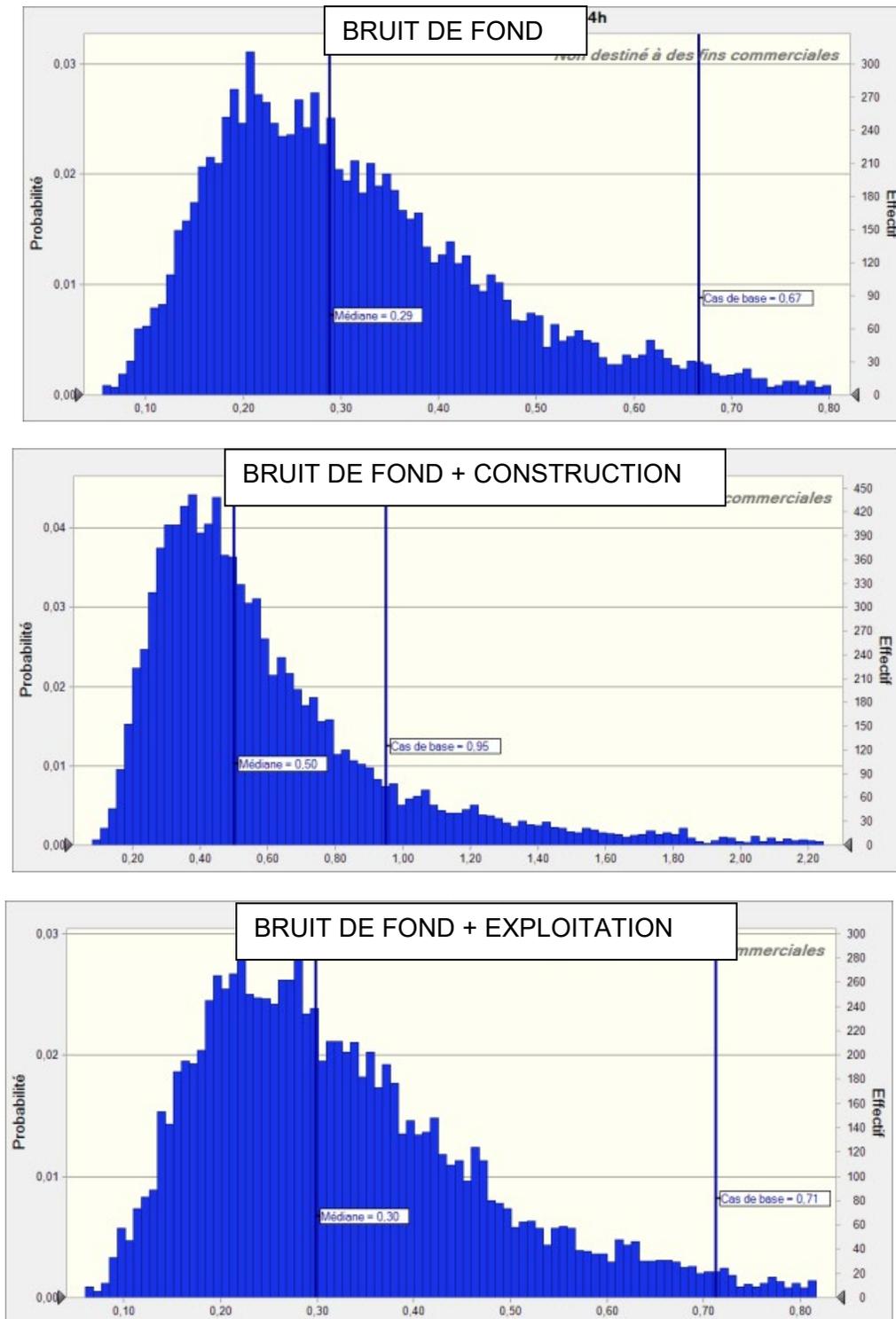


Figure 10 : Approche épidémiologique - Simulation Monte-Carlo – NO₂ – Exposition aigüe – Mortalité quotidienne

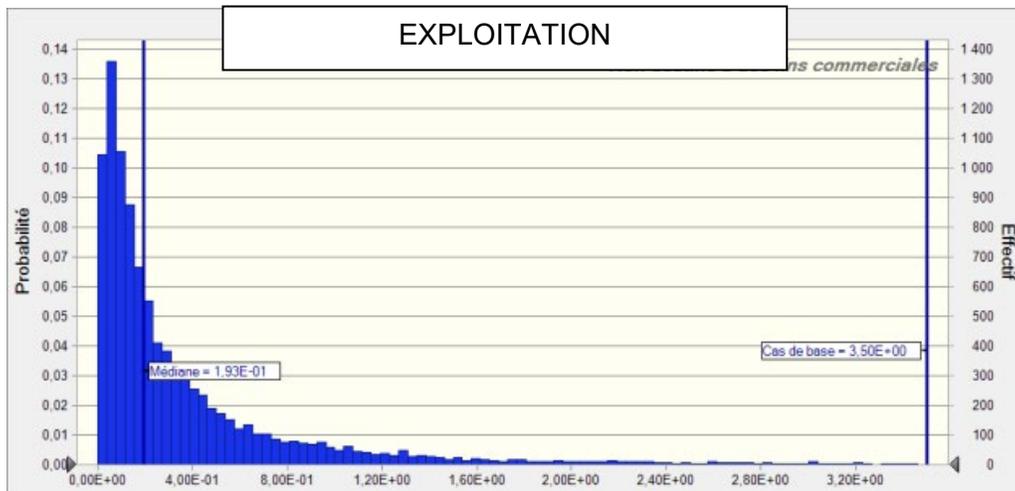
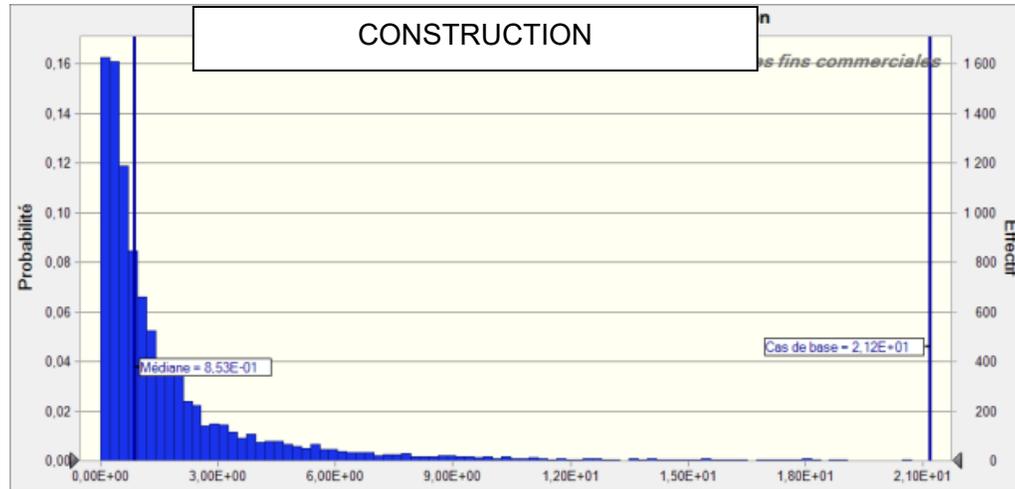


Figure 11 : Approche épidémiologique - Simulation Monte-Carlo – PM_{2.5} – Exposition aigüe – Mortalité quotidienne

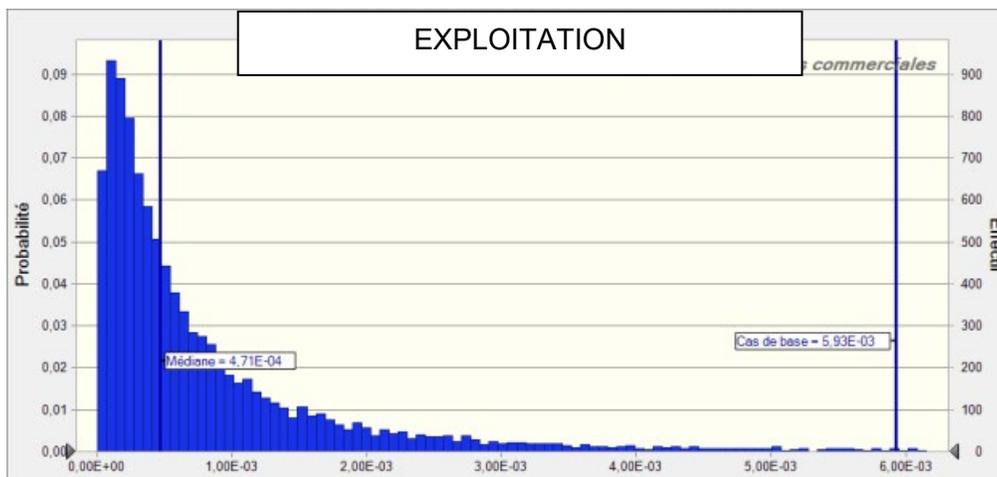
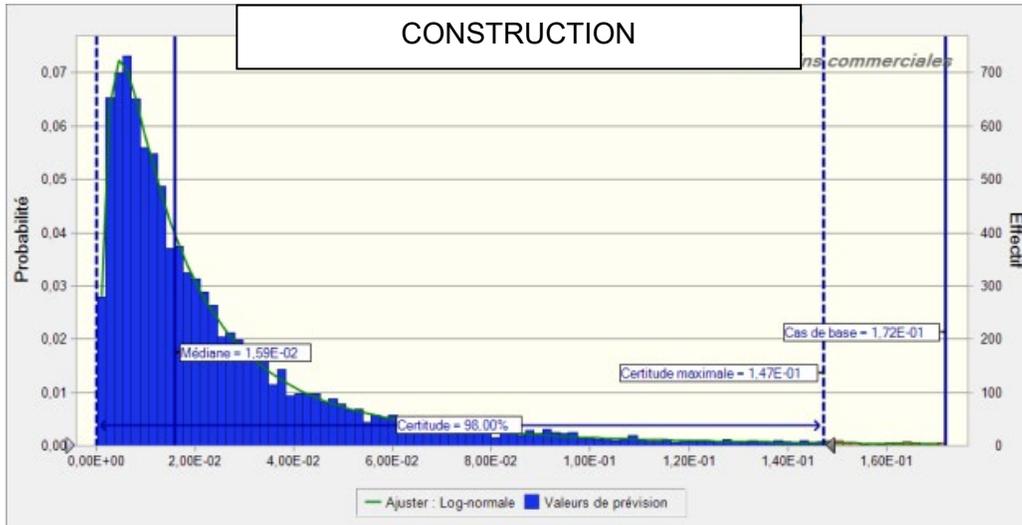


Figure 12 : Nombre maximal de jours de dépassement de la norme journalière en NO₂ et ne PM_{2.5} par année -Phase Construction



Annexe 1 : Simulations Monte-Carlo – Résultats bruts – Approche normative

Statistiques	Dépassement BDF NO2	Dépassement BDF NO2	Dépassement BDF PM2.5	Dépassement	Dépassement	Dépassement	Dépassement	Dépassement	Dépassement	Dépassement	Dépassement BDF NO2	Dépassement BDF PM2.5	Dépassement	BDF_Constr_PM2_5_OMS	Dépassement	Dépassement
	1h (RAA)	24h (RAA)	24h (RAA)	Construction + BDF NO2 1h (RAA)	Construction + BDF NO2 24h (RAA)	Construction + BDF PM2.5 24h (RAA)	Exploitation + BDF NO2 1h (RAA)	Exploitation + BDF NO2 24h (RAA)	Exploitation + BDF PM2.5 24h (RAA)	Exploitation + BDF NO2 24h (RAA)	An (RAA)	An (OMS)	Construction + BDF NO2 An (RAA)	_An	Exploitation + BDF NO2 An (RAA)	Exploitation + BDF PM2.5 An (OMS)
Tirages	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
Cas de base	25,8%	36,2%	66,7%	152,2%	145,9%	156,7%	65,7%	54,6%	73,7%	15,5%	97,0%	25,0%	110,0%	23,5%	101,2%	
Moyenne	3,9%	7,8%	32,5%	35,9%	14,9%	65,2%	25,1%	10,9%	33,6%	15,6%	97,9%	16,0%	98,2%	16,1%	98,2%	
Médiane	2,9%	5,9%	29,0%	17,2%	10,8%	52,3%	12,7%	8,6%	30,2%	11,8%	79,7%	12,3%	80,0%	12,4%	79,8%	
Mode	---	---	---	---	---	Conditions Cas B	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
Ecart-type	3,5%	6,7%	16,5%	69,9%	15,8%	51,5%	47,0%	8,5%	16,7%	13,2%	69,0%	13,2%	69,1%	13,2%	69,0%	
Variance	0,12%	0,45%	2,73%	49%	2%	26%	1%	3%	1,74%	22%	47,65%	2%	48%	2%	48%	
Asymétrie	3,33	3,25	1,56	10,55	6,57	5,16	10,64	3,47	1,55	2,71	2,24	2,70	2,24	2,71	2,24	
Aplatissement	23,66	24,25	7,39	225,68	97,00	62,27	222,87	30,49	7,28	15,69	11,78	15,67	11,78	15,75	11,77	
Coeff. de variation	0,8820	0,8627	0,5087	1,94	1,06	0,7893	1,87	0,7845	0,4958	0,8443	0,7049	0,8227	0,7030	0,8193	0,7032	
Minimum	0,2%	0,4%	4,7%	0,5%	0,8%	8,3%	0,8%	0,5%	5,2%	0,7%	5,8%	1,0%	6,0%	0,7%	5,8%	
Maximum	46,0%	99,7%	181,7%	2513,2%	410,2%	1183,0%	1632,2%	164,9%	182,2%	176,8%	809,3%	176,9%	809,9%	176,9%	809,5%	
Etenue	45,8%	99,3%	177,0%	2512,7%	409,4%	1174,6%	1631,4%	164,4%	176,9%	176,1%	803,5%	175,9%	803,9%	176,1%	803,7%	
Erreur standard de la moyenne	0,0%	0,1%	0,2%	0,7%	0,2%	0,5%	0,5%	0,1%	0,2%	0,1%	0,7%	0,1%	0,7%	0,1%	0,7%	
Ratio valeur déterministe (cas de base) / médiane	8,8	6,1	2,3	8,8	13,5	3,0	5,2	6,3	2,4	1,3	1,2	2,0	1,4	1,9	1,3	

Tous les scénarios
Norme 1h-
24h
Norme/ critère
annuel

n
Écart-moyen
Minimum
Maximum

15
9
6
4,4
6,3
1,5
1,2
2,3
1,2
13,5
13,5
2,0

Fractiles	Dépassement BDF NO2	Dépassement BDF NO2	Dépassement BDF PM2.5	Dépassement	Dépassement	Dépassement	Dépassement	Dépassement	Dépassement	Dépassement	Dépassement BDF NO2	Dépassement BDF PM2.5	Dépassement	BDF_Constr_PM2_5_OMS	Dépassement	Dépassement
	1h (RAA)	24h (RAA)	24h (RAA)	Construction + BDF NO2 1h (RAA)	Construction + BDF NO2 24h (RAA)	Construction + BDF PM2.5 24h (RAA)	Exploitation + BDF NO2 1h (RAA)	Exploitation + BDF NO2 24h (RAA)	Exploitation + BDF PM2.5 24h (RAA)	Exploitation + BDF NO2 24h (RAA)	An (RAA)	An (OMS)	Construction + BDF NO2 An (RAA)	_An	Exploitation + BDF NO2 An (RAA)	Exploitation + BDF PM2.5 An (OMS)
0%	0,22%	0,37%	4,73%	1%	1%	8%	1%	0%	5%	0,65%	5,79%	1%	6%	1%	6%	
5%	0,88%	1,67%	13,12%	3%	4%	23%	3%	3%	14%	3,44%	27,22%	4%	28%	4%	28%	
10%	1,15%	2,19%	15,47%	5%	4%	27%	4%	4%	16%	4,50%	34,49%	5%	35%	5%	35%	
15%	1,38%	2,66%	17,47%	6%	5%	31%	5%	4%	19%	5,43%	41,11%	6%	41%	6%	41%	
20%	1,59%	3,11%	19,28%	7%	6%	34%	6%	5%	20%	6,25%	46,63%	7%	47%	7%	47%	
25%	1,79%	3,52%	20,81%	9%	7%	37%	7%	5%	22%	7,15%	51,85%	8%	52%	8%	52%	
30%	2,00%	3,96%	22,39%	10%	7%	40%	8%	6%	23%	8,00%	57,42%	8%	58%	9%	58%	
35%	2,22%	4,38%	24,03%	11%	8%	43%	9%	7%	25%	8,85%	62,86%	9%	63%	9%	63%	
40%	2,45%	4,87%	25,52%	13%	9%	46%	10%	7%	27%	9,79%	68,18%	10%	68%	10%	68%	
45%	2,68%	5,38%	27,23%	15%	10%	49%	11%	8%	28%	10,80%	74,00%	11%	74%	11%	74%	
50%	2,93%	5,92%	28,98%	17%	11%	52%	13%	9%	30%	11,82%	79,65%	12%	80%	12%	80%	
55%	3,24%	6,53%	30,84%	20%	12%	56%	14%	9%	32%	13,07%	86,66%	13%	87%	14%	87%	
60%	3,56%	7,14%	32,67%	22%	13%	60%	16%	10%	34%	14,31%	93,70%	15%	94%	15%	94%	
65%	3,93%	7,87%	34,75%	26%	14%	64%	19%	11%	36%	15,77%	101,99%	16%	102%	16%	102%	
70%	4,31%	8,72%	37,22%	31%	16%	70%	21%	12%	38%	17,44%	111,18%	18%	111%	18%	111%	
75%	4,86%	9,68%	40,13%	37%	18%	76%	25%	14%	41%	19,59%	122,54%	20%	123%	20%	123%	
80%	5,50%	11,02%	43,58%	46%	20%	85%	31%	15%	45%	22,36%	137,59%	23%	138%	23%	138%	
85%	6,39%	12,83%	47,72%	58%	24%	95%	39%	17%	49%	25,78%	155,87%	26%	156%	26%	156%	
90%	7,59%	15,28%	53,85%	78%	28%	112%	53%	20%	55%	31,01%	182,47%	31%	183%	32%	183%	
95%	10,29%	19,97%	64,23%	125%	39%	148%	84%	26%	66%	40,19%	228,88%	41%	229%	41%	229%	
96%	17%	36%	88%	603%	113%	355%	394%	54%	89%	68%	345%	68%	346%	68%	236%	
97%	25%	52%	111%	1080%	188%	562%	704%	81%	112%	95%	461%	95%	462%	95%	243%	
98%	32%	68%	135%	1558%	262%	769%	1013%	109%	136%	122%	577%	122%	578%	122%	250%	
99%	39%	84%	158%	2036%	336%	976%	1323%	137%	159%	149%	693%	150%	694%	150%	258%	
100%	46,00%	99,68%	181,72%	2513%	410%	1183%	1632%	165%	182%	176,79%	809,31%	177%	810%	177%	809%	

Données de sensibilité

Hypothèses	Dépassement BDF NO2	Dépassement BDF NO2	Dépassement BDF PM2.5	Dépassement	Dépassement	Dépassement	Dépassement	Dépassement	Dépassement	Dépassement	Dépassement BDF NO2	Dépassement BDF PM2.5	Dépassement	BDF_Constr_PM2_5_OMS	Dépassement	Dépassement
	1h (RAA)	24h (RAA)	24h (RAA)	Construction + BDF NO2 1h (RAA)	Construction + BDF NO2 24h (RAA)	Construction + BDF PM2.5 24h (RAA)	Exploitation + BDF NO2 1h (RAA)	Exploitation + BDF NO2 24h (RAA)	Exploitation + BDF PM2.5 24h (RAA)	Exploitation + BDF NO2 24h (RAA)	An (RAA)	An (OMS)	Construction + BDF NO2 An (RAA)	_An	Exploitation + BDF NO2 An (RAA)	Exploitation + BDF PM2.5 An (OMS)
Bruit de fond NO2_RAA_1_h	100,00%	0,07%	-0,83%	19,21%	-0,27%	0,17%	26,64%	0,02%	-0,85%	0,27%	-0,59%	0,29%	-0,62%	0,26%	-0,59%	
Bruit de fond NO2_RAA_24_h	0,07%	100,00%	-1,07%	-0,66%	64,43%	-0,66%	-0,92%	81,84%	-1,00%	0,52%	-1,15%	0,59%	-1,18%	0,66%	-1,14%	
Bruit de fond NO2_RAA_An	0,27%	0,52%	1,56%	1,33%	1,25%	-0,65%	0,53%	0,57%	1,63%	100,00%	-0,02%	99,79%	0,00%	99,39%	-0,01%	
Bruit de fond PM2_5_RAA_24_h	-0,83%	-1,07%	100,00%	-2,14%	-0,90%	55,52%	-0,96%	-1,06%	99,09%	1,56%	0,13%	1,54%	0,13%	1,51%	0,12%	
Bruit de fond PM2_5_OMS_An	-0,59%	-1,15%	0,13%	0,36%	0,44%	-0,27%	-0,37%	-0,58%	0,15%	-0,02%	100,00%	-0,01%	99,98%	-0,07%	100,00%	
Construction NO2_RAA_1_h	0,33%	-0,65%	-1,69%	96,53%	0,37%	-1,80%	0,65%	0,44%	-1,92%	1,16%	0,32%	1,20%	0,32%	1,14%	0,33%	
Construction NO2_RAA_24_h	-0,53%	0,39%	-0,23%	1,20%	66,50%	-1,66%	0,78%	0,68%	-0,54%	0,57%	1,11%	0,45%	1,09%	0,63%	1,11%	
Construction NO2_RAA_An	0,23%	1,13%	0,36%	0,90%	-0,20%	1,42%	0,61%	0,92%	0,68%	0,44%	0,39%	4,78%	0,43%	0,55%	0,39%	
Construction PM2_5_RAA_24_h_A	0,88%	0,27%	-1,23%	2,49%	-1,23%	78,00%	0,28%	1,04%	2,62%	-1,75%	0,09%	-1,80%	0,11%	-1,70%	0,10%	
Construction PM2_5_OMS_An_A	0,31%	0,54%	-0,33%	-0,90%	0,20%	0,53%	-0,59%	0,35%	-0,51%	0,72%	-0,07%	0,74%	0,75%	0,74%	-0,05%	
Exploitation NO2_RAA_1_h	0,87%	-0,53%	-0,75%	0,60%	0,76%	-1,29%	93,76%	0,31%	-0,65%	0,20%	0,20%	0,22%	0,16%	0,07%	0,21%	
Exploitation NO2_RAA_24_h	-0,77%	0,67%	0,88%	0,28%	0,62%	0,89%	0,21%	46,37%	0,87%	-0,53%	1,11%	-0,56%	1,13%	-0,59%	1,10%	
Exploitation NO2_RAA_An	-0,35%	0,80%	1,75%	0,36%	1,76%	0,68%	-1,53%	0,50%	1,71%	0,30%	-1,22%	0,18%	-1,22%	6,87%	-1,21%	
Exploitation PM2_5_RAA_24_h_A	0,99%	-0,38%	-1,27%	-1,57%	-1,44%	0,71%	0,10%	0,11%	6,93%	-0,53%	0,68%	-0,47%	0,67%	-0,78%	0,70%	
Exploitation PM2_5_OMS_An_A	-1,42%	0,97%	-0,77%	-1,33%	0,23%	0,42%	0,17%	0,27%	-0,73%	-0,30%	0,25%	-0,31%	0,26%	-0,37%	0,76%	

Rapport Crystal Ball - Complet

Simulation démarrée le 18/02/2021 à 14:43

Simulation arrêtée le 18/02/2021 à 14:44

Préférences d'exécution :

Nombre d'exécutions de tirage	10 000
Monte Carlo	
Valeur de départ	999
Contrôle de précision dans	
Niveau de confiance	95,00%

Statistiques d'exécution :

Temps d'exécution total (s)	10,03
Tirages/seconde (moyenne)	997
Nombres aléatoires par secon	14 956

Données Crystal Ball :

Hypothèses	15
Corrélations	0
Matrices de corrélation	0
Variables de décision	0
Prévisions	15

Prévisions

Feuille de calcul : [220358_Monte-Carlo_Approche normative_AIR_v4.xlsm]Tableau 1

Prévision: BDF_Constr_PM2_5_OMS_An_A

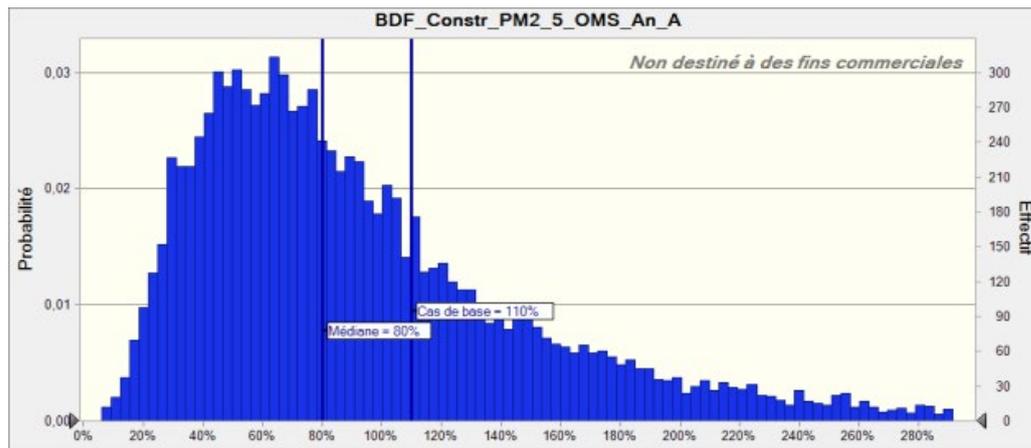
Cellule : U42

Récapitulatif :

La plage entière est comprise entre 6% et 810%

Le cas de base est 110%

Après 10 000 tirages, l'erreur standard de la moyenne est 1%



Statistiques :	Valeurs de prévision
Tirages	10 000
Cas de base	110%
Moyenne	98%
Médiane	80%
Mode	---
Ecart-type	69%
Variance	48%
Asymétrie	2,24
Aplatissement	11,78
Coeff. de variation	0,7030
Minimum	6%
Maximum	810%
Etendue	804%
Erreur standard de la moyenne	1%

Prévision: BDF_Constr_PM2_5_OMS_An_A suite

Cellule : U42

Fractiles :	Valeurs de prévision
0%	6%
10%	35%
20%	47%
30%	58%
40%	68%
50%	80%
60%	94%
70%	111%
80%	138%
90%	183%
100%	810%

Prévision: Dépassement BDF NO2 1h (RAA)

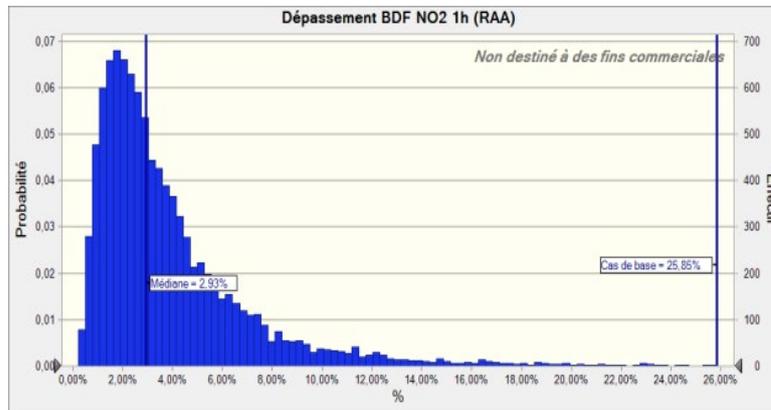
Cellule : L15

Récapitulatif :

La plage entière est comprise entre 0,22% et 46,00%

Le cas de base est 25,85%

Après 10 000 tirages, l'erreur standard de la moyenne est 0,03%



Statistiques :

Valeurs de prévision

Tirages	10 000
Cas de base	25,85%
Moyenne	3,92%
Médiane	2,93%
Mode	---
Ecart-type	3,45%
Variance	0,12%
Asymétrie	3,33
Aplatissement	23,66
Coeff. de variation	0,8820
Minimum	0,22%
Maximum	46,00%
Etendue	45,79%
Erreur standard de la moyenne	0,03%

Prévision: Dépassement BDF NO2 1h (RAA) suite

Cellule : L15

Fractiles :	Valeurs de prévision
0%	0,22%
10%	1,15%
20%	1,59%
30%	2,00%
40%	2,45%
50%	2,93%
60%	3,56%
70%	4,31%
80%	5,50%
90%	7,59%
100%	46,00%

Prévision: Dépassement BDF NO2 24h (RAA)

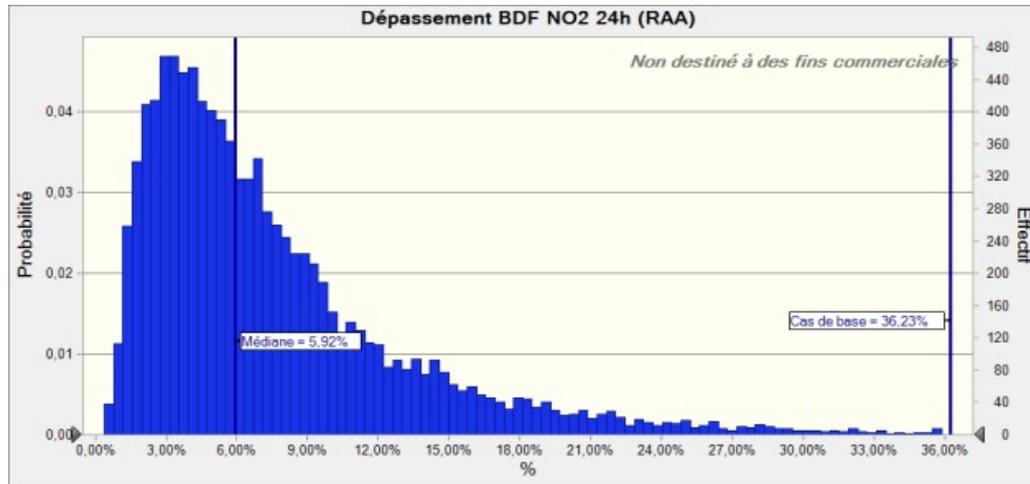
Cellule : L19

Récapitulatif :

La plage entière est comprise entre 0,37% et 99,68%

Le cas de base est 36,23%

Après 10 000 tirages, l'erreur standard de la moyenne est 0,07%



Statistiques :

Valeurs de prévision

Tirages	10 000
Cas de base	36,23%
Moyenne	7,75%
Médiane	5,92%
Mode	---
Ecart-type	6,69%
Variance	0,45%
Asymétrie	3,25
Aplatissement	24,25
Coeff. de variation	0,8627
Minimum	0,37%
Maximum	99,68%
Etendue	99,31%
Erreur standard de la moyenne	0,07%

Prévision: Dépassement BDF NO2 24h (RAA) suite

Cellule : L19

Fractiles :	Valeurs de prévision
0%	0,37%
10%	2,19%
20%	3,11%
30%	3,96%
40%	4,87%
50%	5,92%
60%	7,14%
70%	8,72%
80%	11,02%
90%	15,28%
100%	99,68%

Prévision: Dépassement BDF NO2 An (RAA)

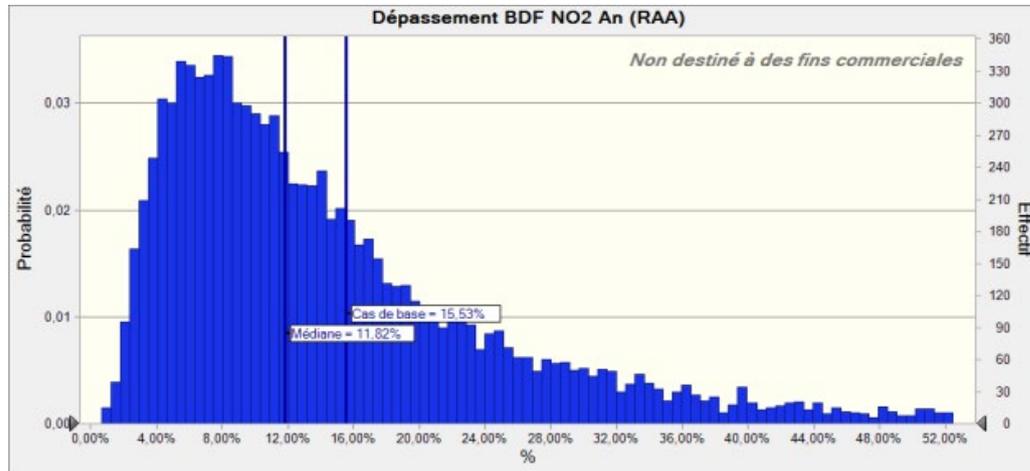
Cellule : L20

Récapitulatif :

La plage entière est comprise entre 0,65% et 176,79%

Le cas de base est 15,53%

Après 10 000 tirages, l'erreur standard de la moyenne est 0,13%



Statistiques :

Valeurs de prévision

Tirages	10 000
Cas de base	15,53%
Moyenne	15,61%
Médiane	11,82%
Mode	---
Ecart-type	13,18%
Variance	1,74%
Asymétrie	2,71
Aplatissement	15,69
Coeff. de variation	0,8443
Minimum	0,65%
Maximum	176,79%
Etendue	176,14%
Erreur standard de la moyenne	0,13%

Prévision: Dépassement BDF NO2 An (RAA) suite

Cellule : L20

Fractiles :	Valeurs de prévision
0%	0,65%
10%	4,50%
20%	6,25%
30%	8,00%
40%	9,79%
50%	11,82%
60%	14,31%
70%	17,44%
80%	22,36%
90%	31,01%
100%	176,79%

Prévision: Dépassement BDF PM2.5 24h (RAA)

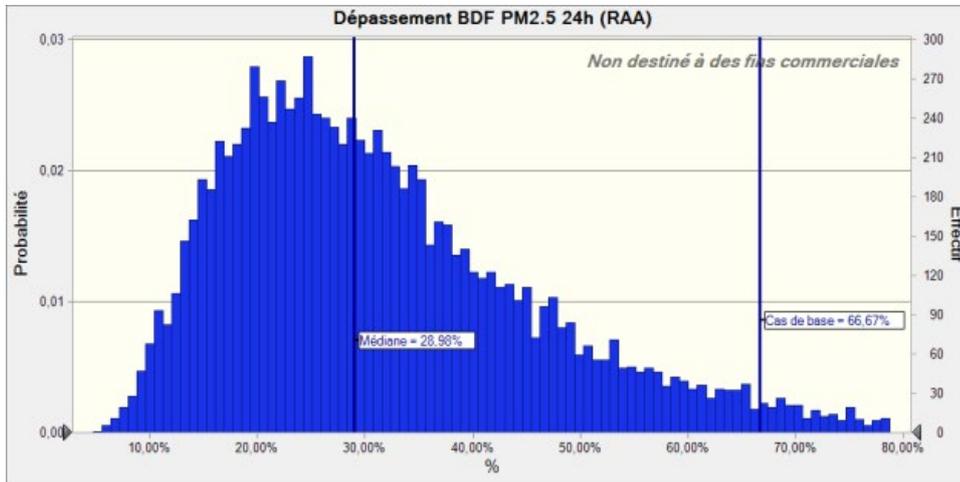
Cellule : L34

Récapitulatif :

La plage entière est comprise entre 4,73% et 181,72%

Le cas de base est 66,67%

Après 10 000 tirages, l'erreur standard de la moyenne est 0,17%



Statistiques :

Valeurs de prévision

Tirages	10 000
Cas de base	66,67%
Moyenne	32,48%
Médiane	28,98%
Mode	---
Ecart-type	16,52%
Variance	2,73%
Asymétrie	1,56
Aplatissement	7,39
Coeff. de variation	0,5087
Minimum	4,73%
Maximum	181,72%
Etendue	176,99%
Erreur standard de la moyenne	0,17%

Prévision: Dépassement BDF PM2.5 24h (RAA) suite

Cellule : L34

Fractiles :	Valeurs de prévision
0%	4,73%
10%	15,47%
20%	19,28%
30%	22,39%
40%	25,52%
50%	28,98%
60%	32,67%
70%	37,22%
80%	43,58%
90%	53,85%
100%	181,72%

Prévision: Dépassement BDF PM2.5 An (OMS)

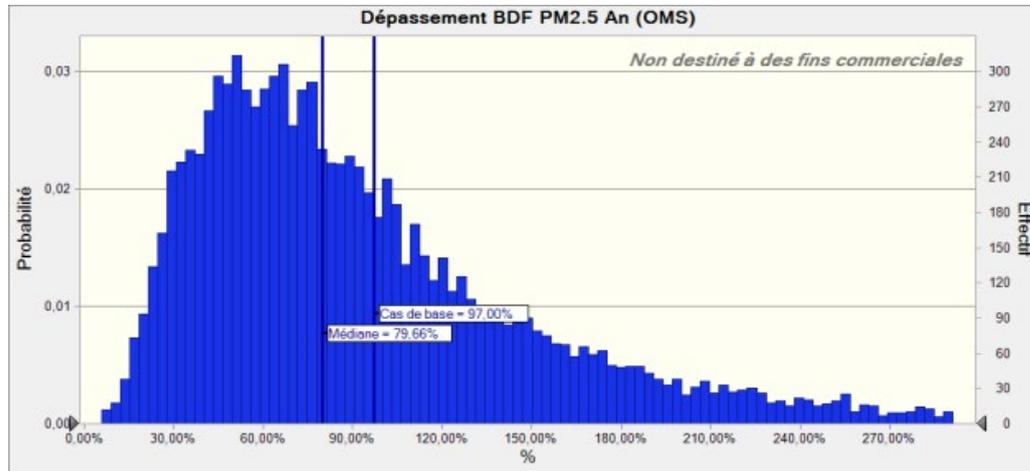
Cellule : L42

Récapitulatif :

La plage entière est comprise entre 5,79% et 809,31%

Le cas de base est 97,00%

Après 10 000 tirages, l'erreur standard de la moyenne est 0,69%



Statistiques :	Valeurs de prévision
Tirages	10 000
Cas de base	97,00%
Moyenne	97,92%
Médiane	79,66%
Mode	---
Ecart-type	69,03%
Variance	47,65%
Asymétrie	2,24
Aplatissement	11,78
Coeff. de variation	0,7049
Minimum	5,79%
Maximum	809,31%
Etendue	803,52%
Erreur standard de la moyenne	0,69%

Prévision: Dépassement BDF PM2.5 An (OMS) suite

Cellule : L42

Fractiles :	Valeurs de prévision
0%	5,79%
10%	34,49%
20%	46,63%
30%	57,42%
40%	68,18%
50%	79,65%
60%	93,70%
70%	111,18%
80%	137,59%
90%	182,47%
100%	809,31%

Prévision: Dépassement Construction + BDF NO2 1h (RAA)

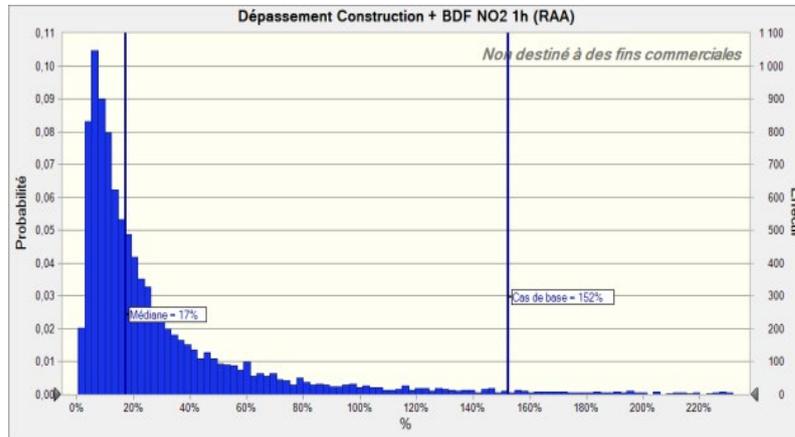
Cellule : U15

Récapitulatif :

La plage entière est comprise entre 1% et 2513%

Le cas de base est 152%

Après 10 000 tirages, l'erreur standard de la moyenne est 1%



Statistiques :

Valeurs de prévision

Tirages	10 000
Cas de base	152%
Moyenne	36%
Médiane	17%
Mode	---
Ecart-type	70%
Variance	49%
Asymétrie	10,55
Aplatissement	225,68
Coeff. de variation	1,94
Minimum	1%
Maximum	2513%
Etendue	2513%
Erreur standard de la moyenne	1%

Prévision: Dépassement Construction + BDF NO2 1h (RAA) suite

Cellule : U15

Fractiles :	Valeurs de prévision
0%	1%
10%	5%
20%	7%
30%	10%
40%	13%
50%	17%
60%	22%
70%	31%
80%	46%
90%	78%
100%	2513%

Prévision: Dépassement Construction + BDF NO2 24h (RAA)

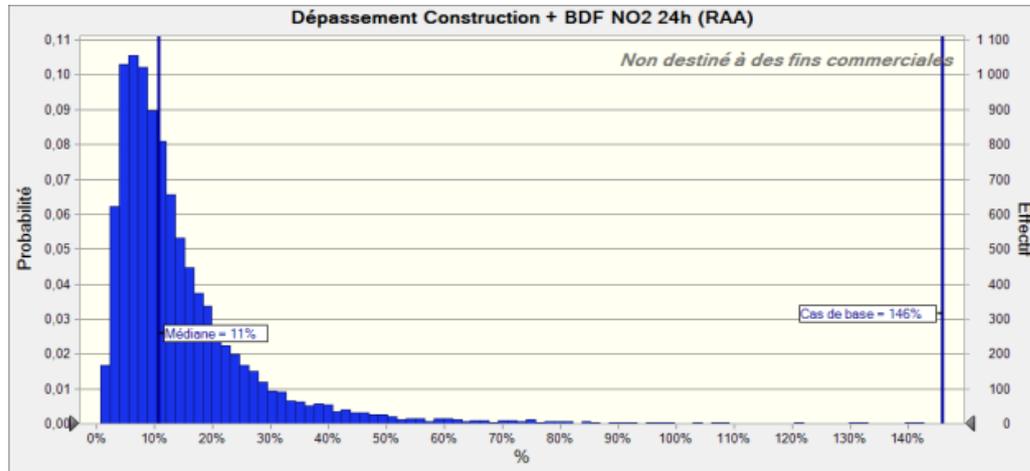
Cellule : U19

Récapitulatif :

La plage entière est comprise entre 1% et 410%

Le cas de base est 146%

Après 10 000 tirages, l'erreur standard de la moyenne est 0%



Statistiques :

Valeurs de prévision

Tirages	10 000
Cas de base	146%
Moyenne	15%
Médiane	11%
Mode	---
Ecart-type	16%
Variance	2%
Asymétrie	6,57
Aplatissement	97,00
Coeff. de variation	1,06
Minimum	1%
Maximum	410%
Etendue	409%
Erreur standard de la moyenne	0%

Prévision: Dépassement Construction + BDF NO2 24h (RAA) suite

Cellule : U19

Fractiles :	Valeurs de prévision
0%	1%
10%	4%
20%	6%
30%	7%
40%	9%
50%	11%
60%	13%
70%	16%
80%	20%
90%	28%
100%	410%

Prévision: Dépassement Construction + BDF NO2 An (RAA)

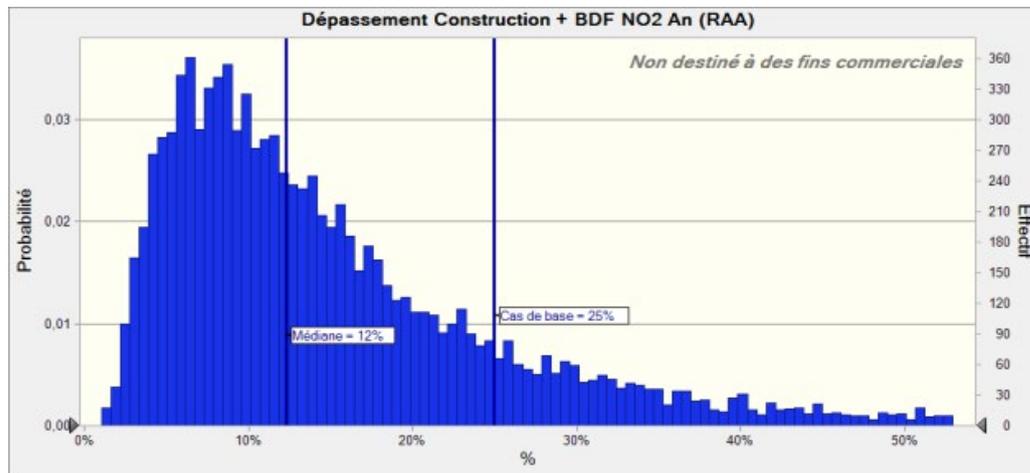
Cellule : U20

Récapitulatif :

La plage entière est comprise entre 1% et 177%

Le cas de base est 25%

Après 10 000 tirages, l'erreur standard de la moyenne est 0%



Statistiques :	Valeurs de prévision
Tirages	10 000
Cas de base	25%
Moyenne	16%
Médiane	12%
Mode	---
Ecart-type	13%
Variance	2%
Asymétrie	2,70
Aplatissement	15,67
Coeff. de variation	0,8227
Minimum	1%
Maximum	177%
Etendue	176%
Erreur standard de la moyenne	0%

Prévision: Dépassement Construction + BDF NO2 An (RAA) suite

Cellule : U20

Fractiles :	Valeurs de prévision
0%	1%
10%	5%
20%	7%
30%	8%
40%	10%
50%	12%
60%	15%
70%	18%
80%	23%
90%	31%
100%	177%

Prévision: Dépassement Construction + BDF PM2.5 24h (RAA)

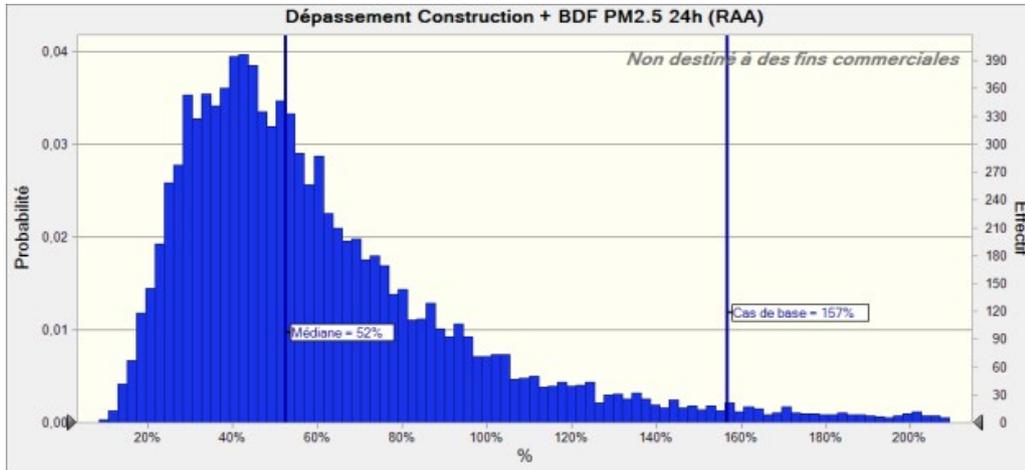
Cellule : U34

Récapitulatif :

La plage entière est comprise entre 8% et 1183%

Le cas de base est 157%

Après 10 000 tirages, l'erreur standard de la moyenne est 1%



Statistiques :

Valeurs de prévision

Tirages	10 000
Cas de base	157%
Moyenne	65%
Médiane	52%
Mode	---
Ecart-type	51%
Variance	26%
Asymétrie	5,16
Aplatissement	62,27
Coeff. de variation	0,7893
Minimum	8%
Maximum	1183%
Etendue	1175%
Erreur standard de la moyenne	1%

Prévision: Dépassement Construction + BDF PM2.5 24h (RAA) suite

Cellule : U34

Fractiles :	Valeurs de prévision
0%	8%
10%	27%
20%	34%
30%	40%
40%	46%
50%	52%
60%	60%
70%	70%
80%	85%
90%	112%
100%	1183%

Prévision: Dépassement Exploitation + BDF NO2 1h (RAA)

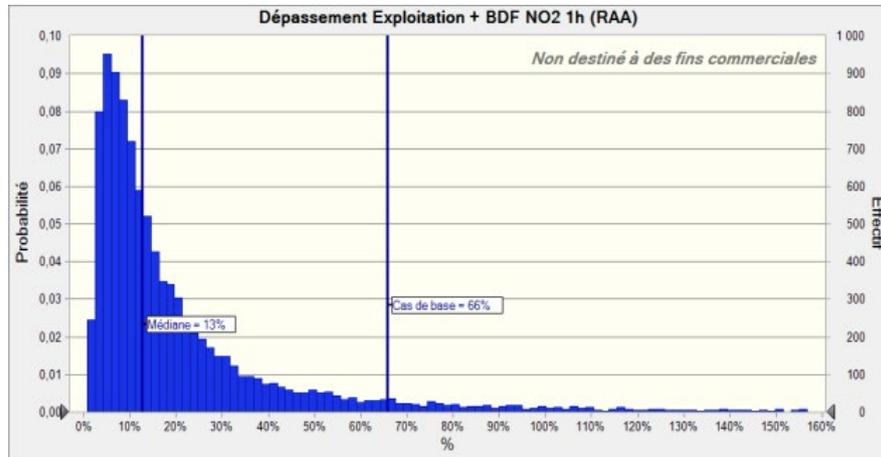
Cellule : AE15

Récapitulatif :

La plage entière est comprise entre 1% et 1632%

Le cas de base est 66%

Après 10 000 tirages, l'erreur standard de la moyenne est 0%



Statistiques :

Valeurs de prévision

Tirages	10 000
Cas de base	66%
Moyenne	25%
Médiane	13%
Mode	---
Ecart-type	47%
Variance	22%
Asymétrie	10,64
Aplatissement	222,87
Coeff. de variation	1,87
Minimum	1%
Maximum	1632%
Etendue	1631%
Erreur standard de la moyenne	0%

Prévision: Dépassement Exploitation + BDF NO2 1h (RAA) suite

Cellule : AE15

Fractiles :	Valeurs de prévision
0%	1%
10%	4%
20%	6%
30%	8%
40%	10%
50%	13%
60%	16%
70%	21%
80%	31%
90%	53%
100%	1632%

Prévision: Dépassement Exploitation + BDF NO2 24h (RAA)

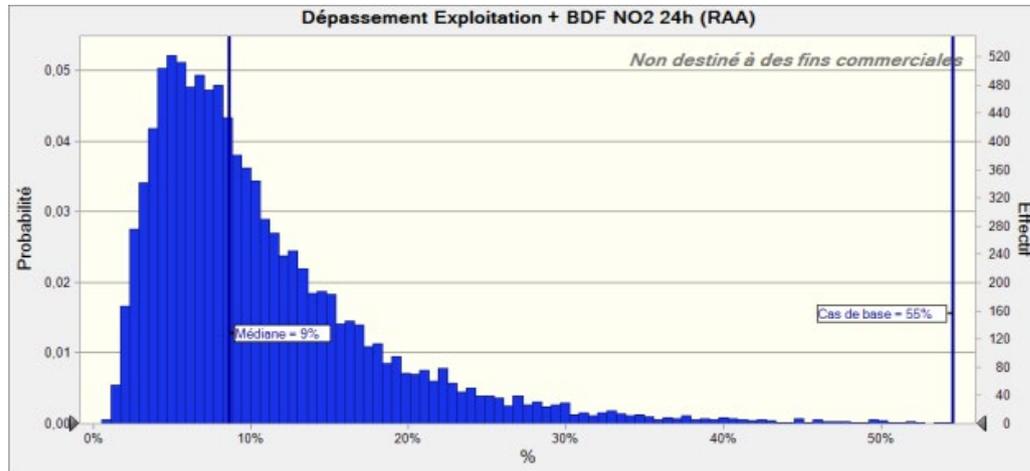
Cellule : AE19

Récapitulatif :

La plage entière est comprise entre 0% et 165%

Le cas de base est 55%

Après 10 000 tirages, l'erreur standard de la moyenne est 0%



Statistiques :

Valeurs de prévision

Tirages	10 000
Cas de base	55%
Moyenne	11%
Médiane	9%
Mode	---
Ecart-type	9%
Variance	1%
Asymétrie	3,47
Aplatissement	30,49
Coeff. de variation	0,7845
Minimum	0%
Maximum	165%
Etendue	164%
Erreur standard de la moyenne	0%

Prévision: Dépassement Exploitation + BDF NO2 24h (RAA) suite

Cellule : AE19

Fractiles :	Valeurs de prévision
0%	0%
10%	4%
20%	5%
30%	6%
40%	7%
50%	9%
60%	10%
70%	12%
80%	15%
90%	20%
100%	165%

Prévision: Dépassement Exploitation + BDF NO2 An (RAA)

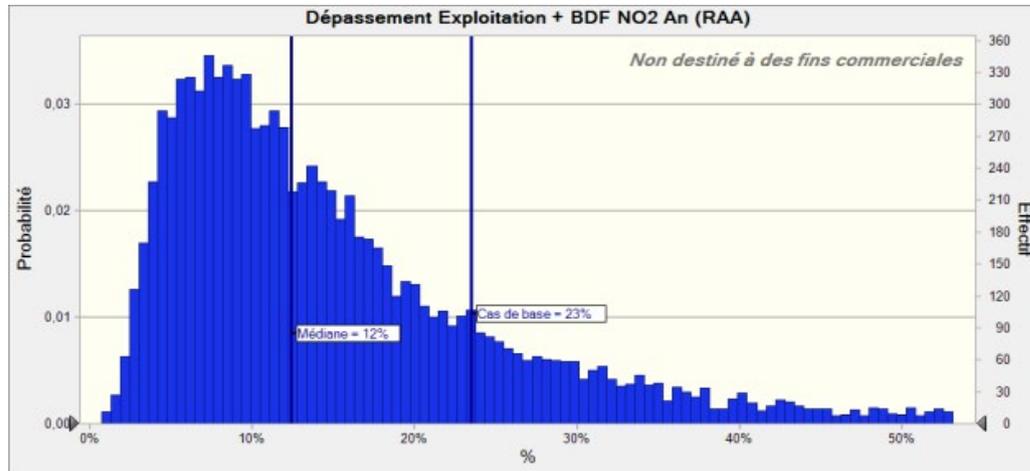
Cellule : AE20

Récapitulatif :

La plage entière est comprise entre 1% et 177%

Le cas de base est 23%

Après 10 000 tirages, l'erreur standard de la moyenne est 0%



Statistiques :

Valeurs de prévision

Tirages	10 000
Cas de base	23%
Moyenne	16%
Médiane	12%
Mode	---
Ecart-type	13%
Variance	2%
Asymétrie	2,71
Aplatissement	15,75
Coeff. de variation	0,8193
Minimum	1%
Maximum	177%
Etendue	176%
Erreur standard de la moyenne	0%

Prévision: Dépassement Exploitation + BDF NO2 An (RAA) suite

Cellule : AE20

Fractiles :	Valeurs de prévision
0%	1%
10%	5%
20%	7%
30%	9%
40%	10%
50%	12%
60%	15%
70%	18%
80%	23%
90%	32%
100%	177%

Prévision: Dépassement Exploitation + BDF PM2.5 24h (RAA)

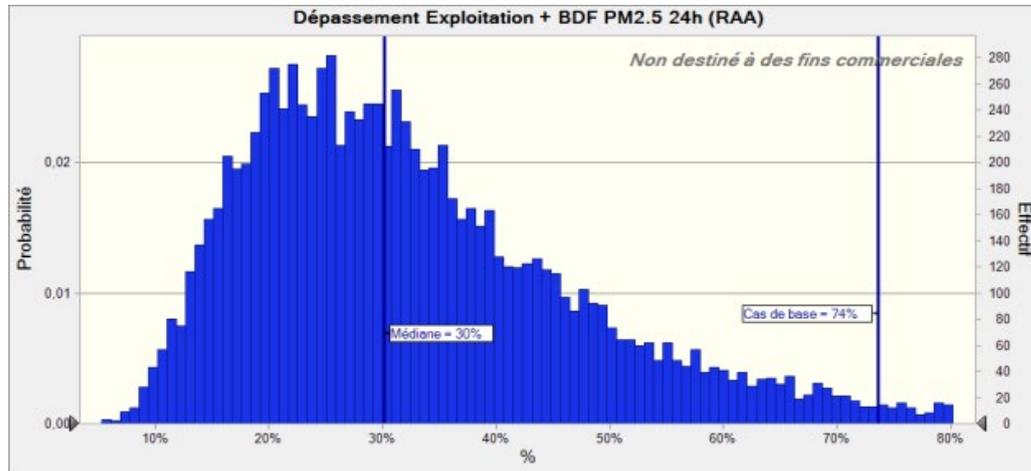
Cellule : AE34

Récapitulatif :

La plage entière est comprise entre 5% et 182%

Le cas de base est 74%

Après 10 000 tirages, l'erreur standard de la moyenne est 0%



Statistiques :

Valeurs de prévision

Tirages	10 000
Cas de base	74%
Moyenne	34%
Médiane	30%
Mode	---
Ecart-type	17%
Variance	3%
Asymétrie	1,55
Aplatissement	7,28
Coeff. de variation	0,4958
Minimum	5%
Maximum	182%
Etendue	177%
Erreur standard de la moyenne	0%

Prévision: Dépassement Exploitation + BDF PM2.5 24h (RAA) suite

Cellule : AE34

Fractiles :	Valeurs de prévision
0%	5%
10%	16%
20%	20%
30%	23%
40%	27%
50%	30%
60%	34%
70%	38%
80%	45%
90%	55%
100%	182%

Prévision: Dépassement Exploitation + BDF PM2.5 An (OMS)

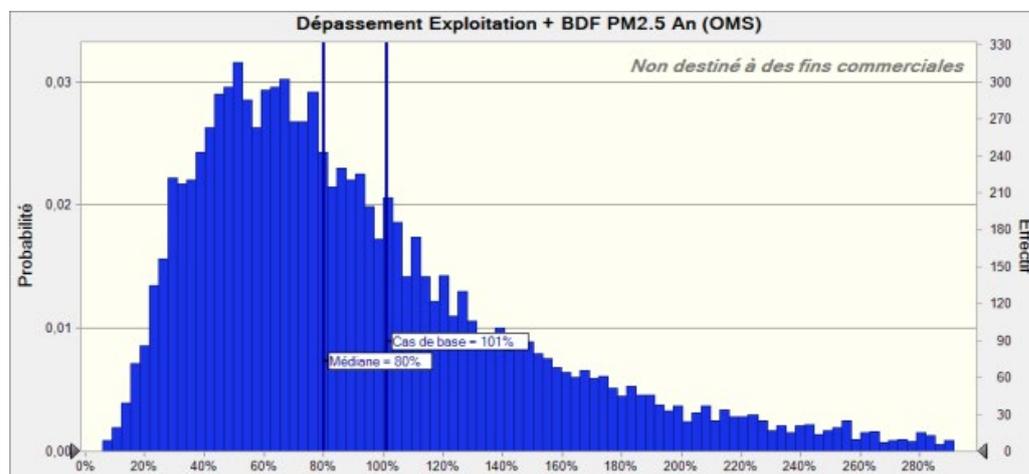
Cellule : AE42

Récapitulatif :

La plage entière est comprise entre 6% et 809%

Le cas de base est 101%

Après 10 000 tirages, l'erreur standard de la moyenne est 1%



Statistiques :

Valeurs de prévision

Tirages	10 000
Cas de base	101%
Moyenne	98%
Médiane	80%
Mode	---
Ecart-type	69%
Variance	48%
Asymétrie	2,24
Aplatissement	11,77
Coeff. de variation	0,7032
Minimum	6%
Maximum	809%
Etendue	804%
Erreur standard de la moyenne	1%

Prévision: Dépassement Exploitation + BDF PM2.5 An (OMS) suite

Cellule : AE42

Fractiles :	Valeurs de prévision
0%	6%
10%	35%
20%	47%
30%	58%
40%	68%
50%	80%
60%	94%
70%	111%
80%	138%
90%	183%
100%	809%

Fin des prévisions

Hypothèses

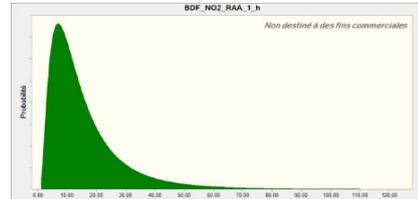
Feuille de calcul : [220358_Monte-Carlo_Approche normative_AIR_v4.xlsm]Tableau 1

Hypothèse: BDF_NO2_RAA_1_h

Cellule : G15

Log-normale loi comportant des paramètres :

Position	0,00
Moyenne	16,20
Ec.-type	14,12

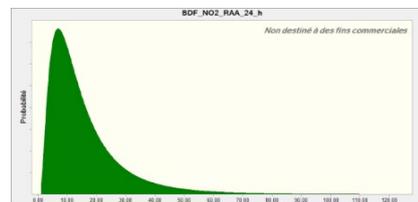


Hypothèse: BDF_NO2_RAA_24_h

Cellule : G19

Log-normale loi comportant des paramètres :

Position	0,00
Moyenne	16,21
Ec.-type	14,12

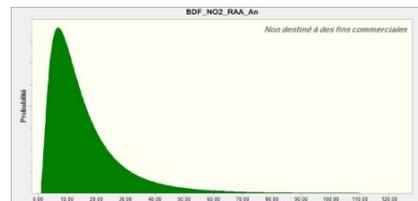


Hypothèse: BDF_NO2_RAA_An

Cellule : G20

Log-normale loi comportant des paramètres :

Position	0,00
Moyenne	16,21
Ec.-type	14,12

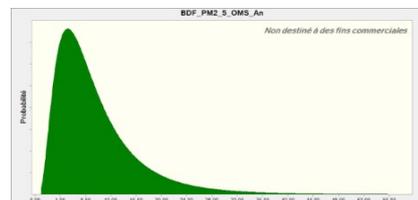


Hypothèse: BDF_PM2_5_OMS_An

Cellule : G42

Log-normale loi comportant des paramètres :

Position	0,00
Moyenne	9,72
Ec.-type	7,00

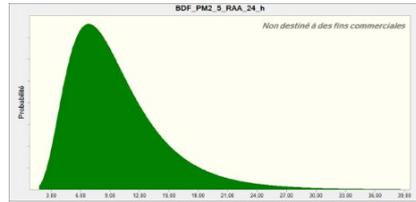


Hypothèse: BDF_PM2_5_RAA_24_h

Cellule : G34

Log-normale loi comportant des paramètres :

Position 0,00
 Moyenne 9,72
 Ec.-type 5,00

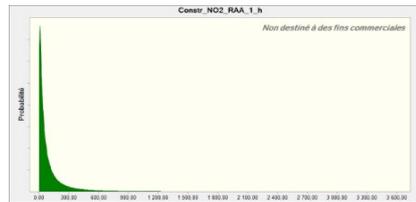


Hypothèse: Constr_NO2_RAA_1_h

Cellule : N15

Log-normale loi comportant des paramètres :

Position 0,00
 Moyenne 132,00
 Ec.-type 317,00

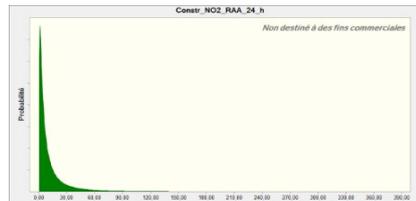


Hypothèse: Constr_NO2_RAA_24_h

Cellule : N19

Log-normale loi comportant des paramètres :

Position 0,00
 Moyenne 15,00
 Ec.-type 34,00

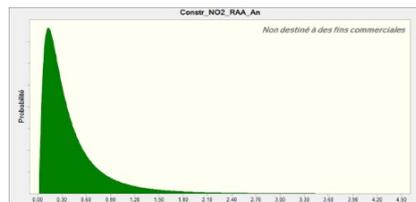


Hypothèse: Constr_NO2_RAA_An

Cellule : N20

Log-normale loi comportant des paramètres :

Position 0,00
 Moyenne 0,43
 Ec.-type 0,47

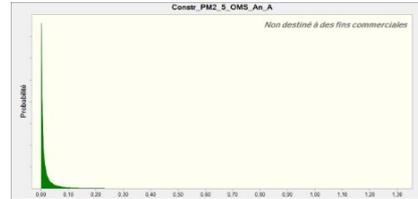


Hypothèse: Constr_PM2_5_OMS_An_A

Cellule : N42

Log-normale loi comportant des paramètres :

Position 0,00
 Moyenne 0,03
 Ec.-type 0,12

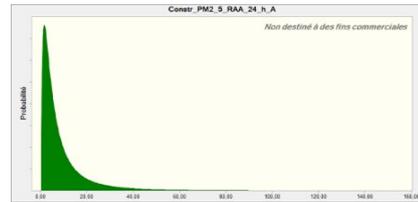


Hypothèse: Constr_PM2_5_RAA_24_h_A

Cellule : N34

Log-normale loi comportant des paramètres :

Position 0,00
 Moyenne 9,72
 Ec.-type 14,72

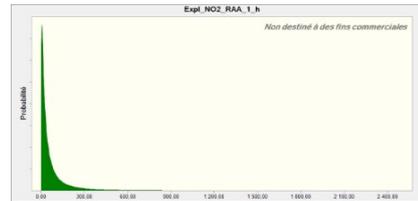


Hypothèse: Expl_NO2_RAA_1_h

Cellule : X15

Log-normale loi comportant des paramètres :

Position 0,00
 Moyenne 90,00
 Ec.-type 218,00

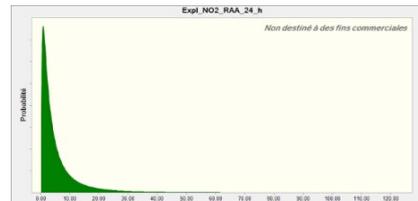


Hypothèse: Expl_NO2_RAA_24_h

Cellule : X19

Log-normale loi comportant des paramètres :

Position 0,00
 Moyenne 6,50
 Ec.-type 11,30

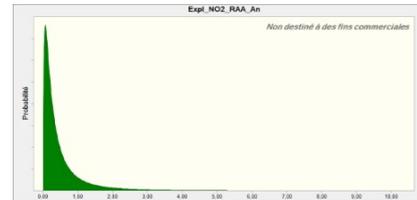


Hypothèse: Expl_NO2_RAA_An

Cellule : X20

Log-normale loi comportant des paramètres :

Position	0,00
Moyenne	0,56
Ec.-type	0,95

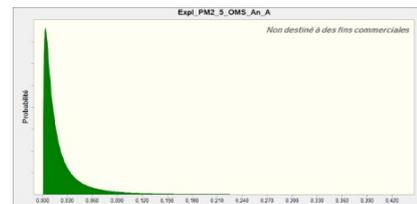


Hypothèse: Expl_PM2_5_OMS_An_A

Cellule : X42

Log-normale loi comportant des paramètres :

Position	0,000
Moyenne	0,024
Ec.-type	0,040

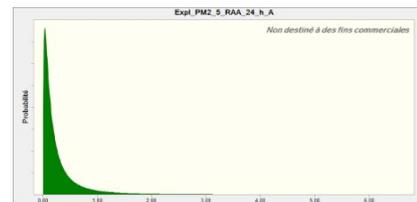


Hypothèse: Expl_PM2_5_RAA_24_h_A

Cellule : X34

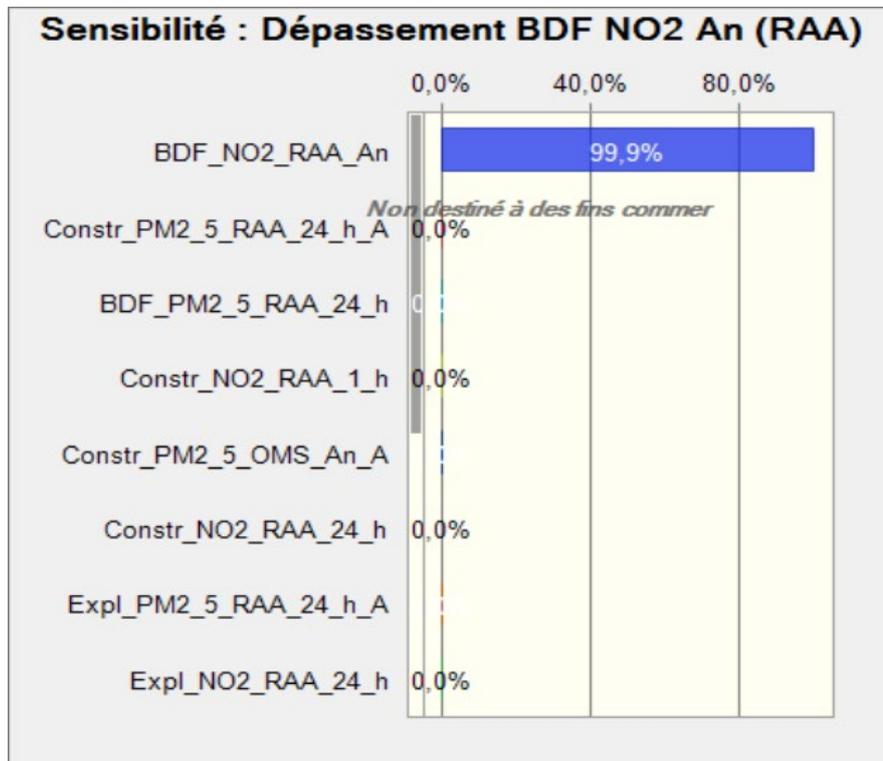
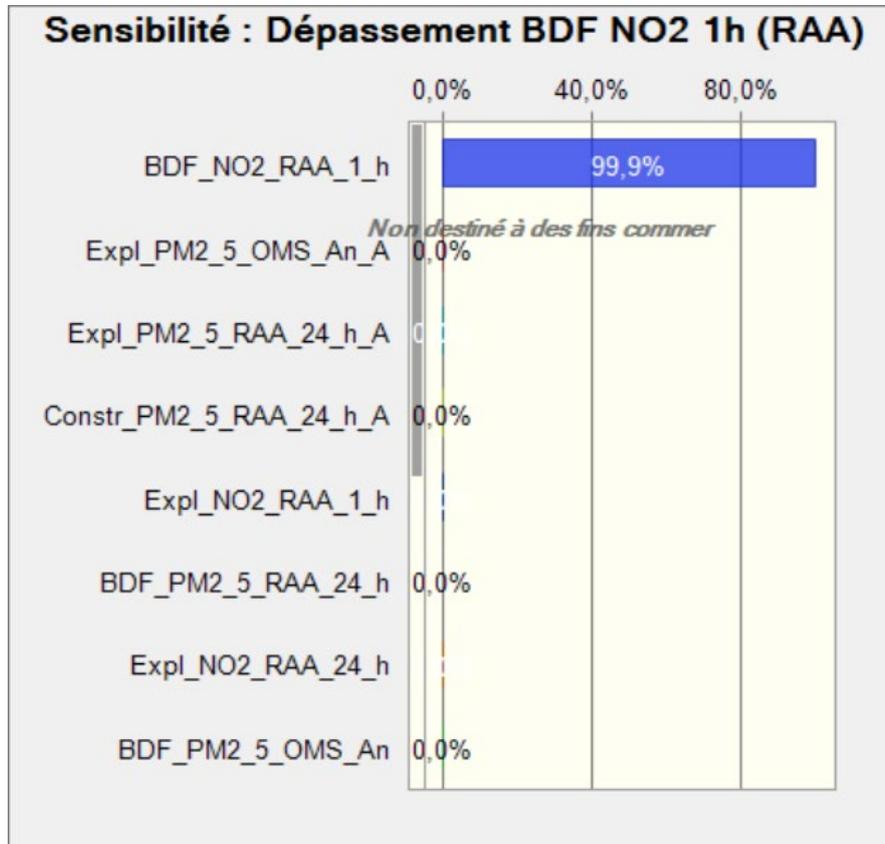
Log-normale loi comportant des paramètres :

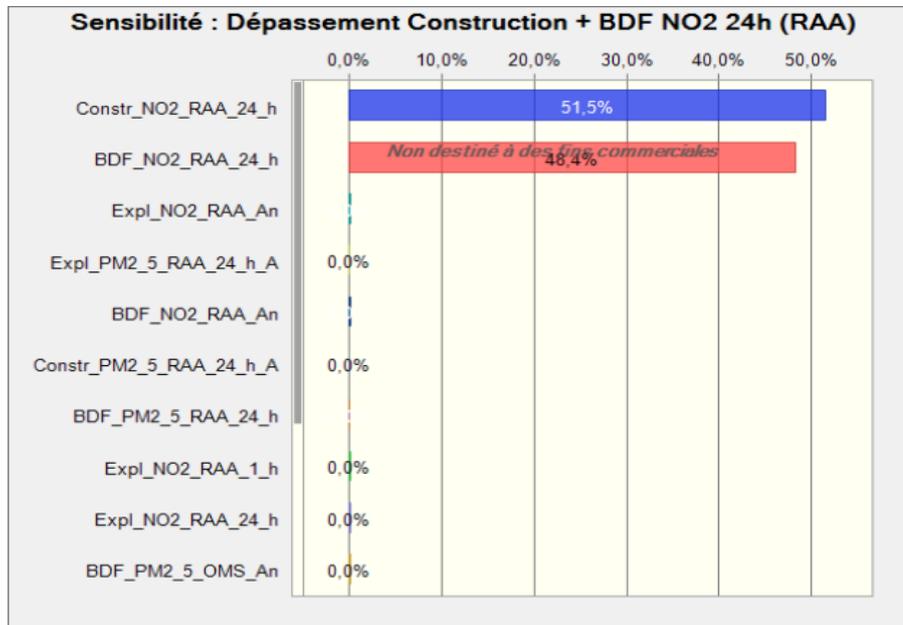
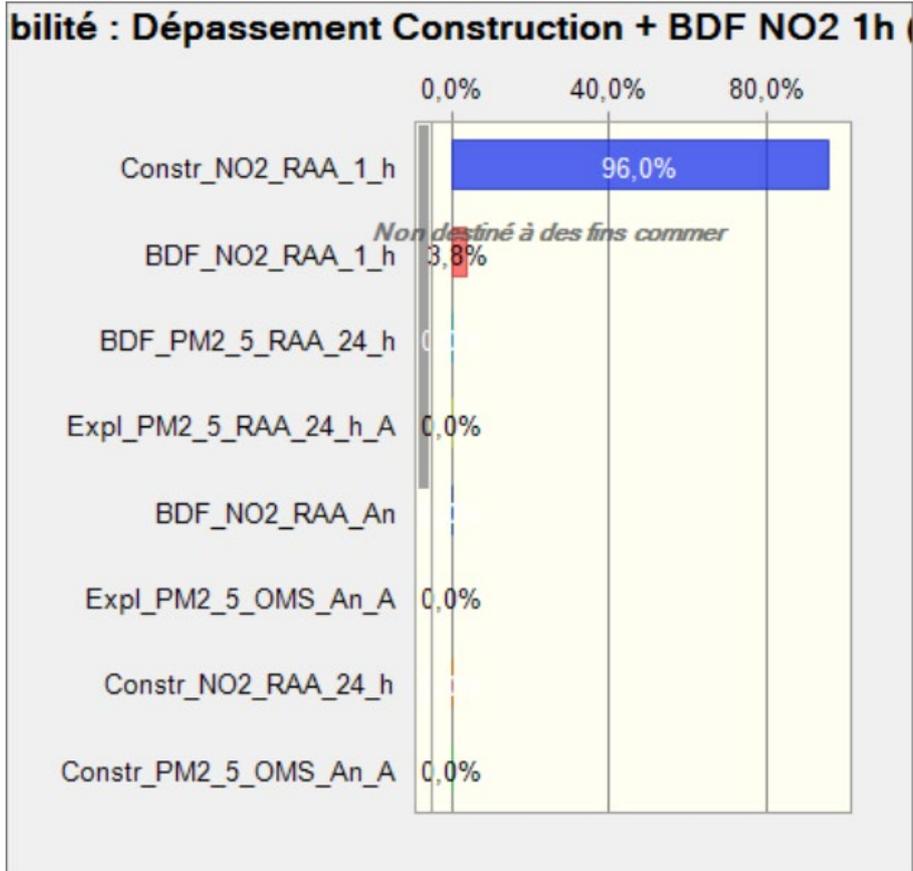
Position	0,00
Moyenne	0,33
Ec.-type	0,60

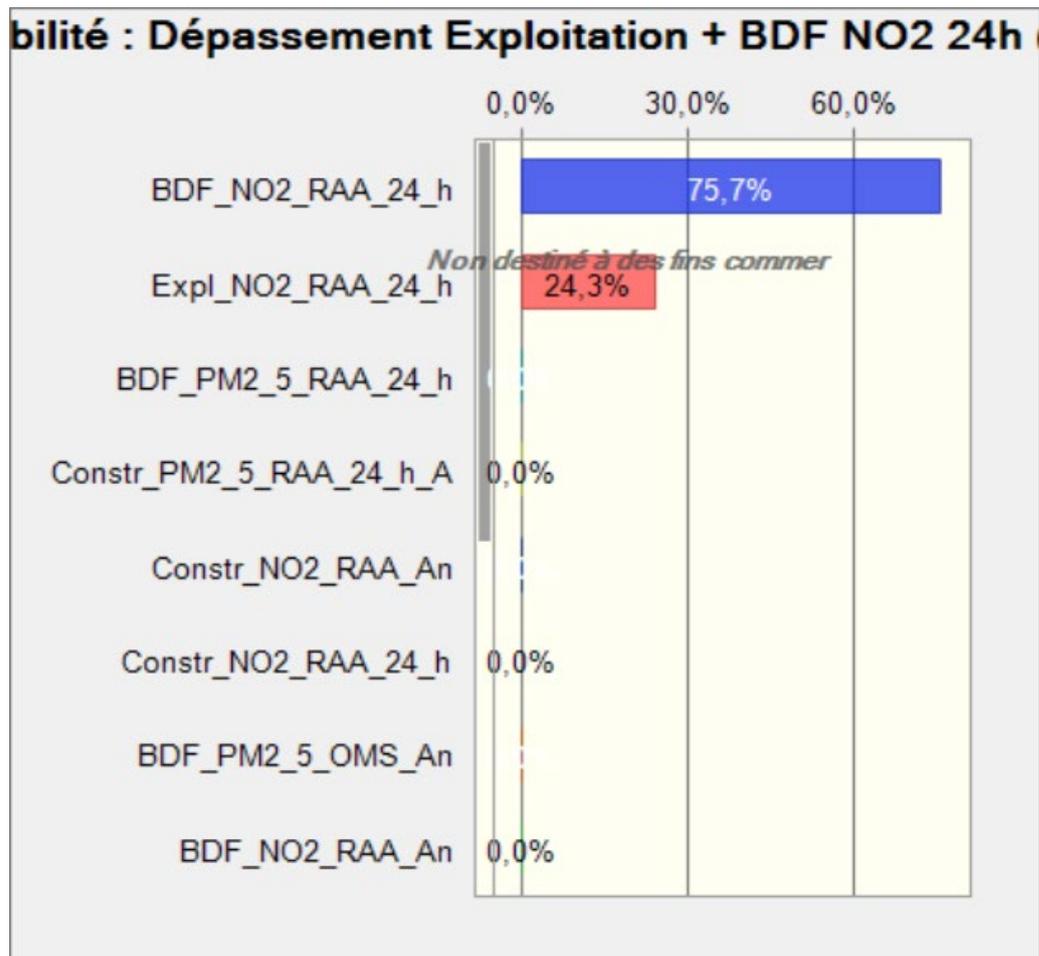
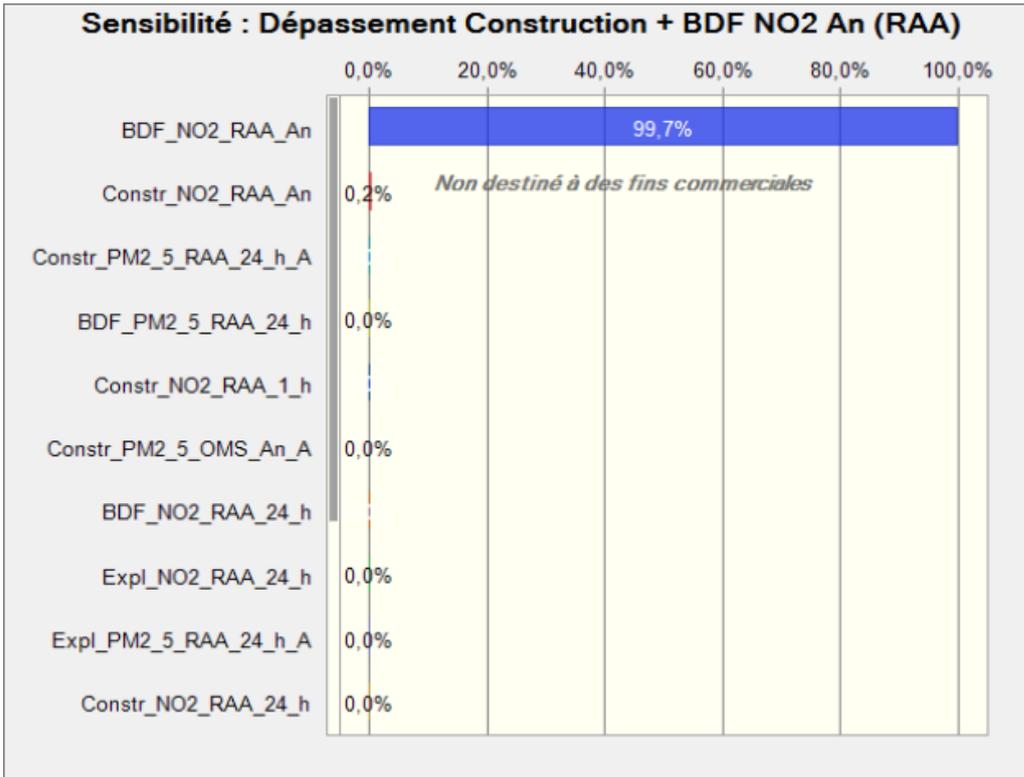


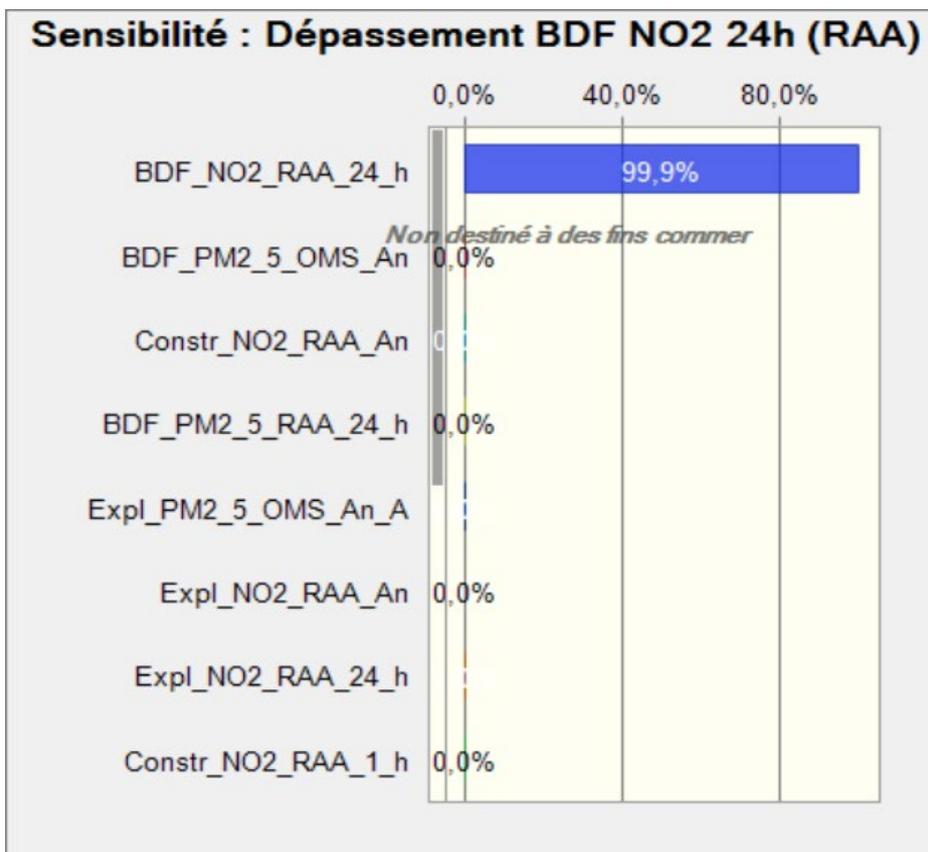
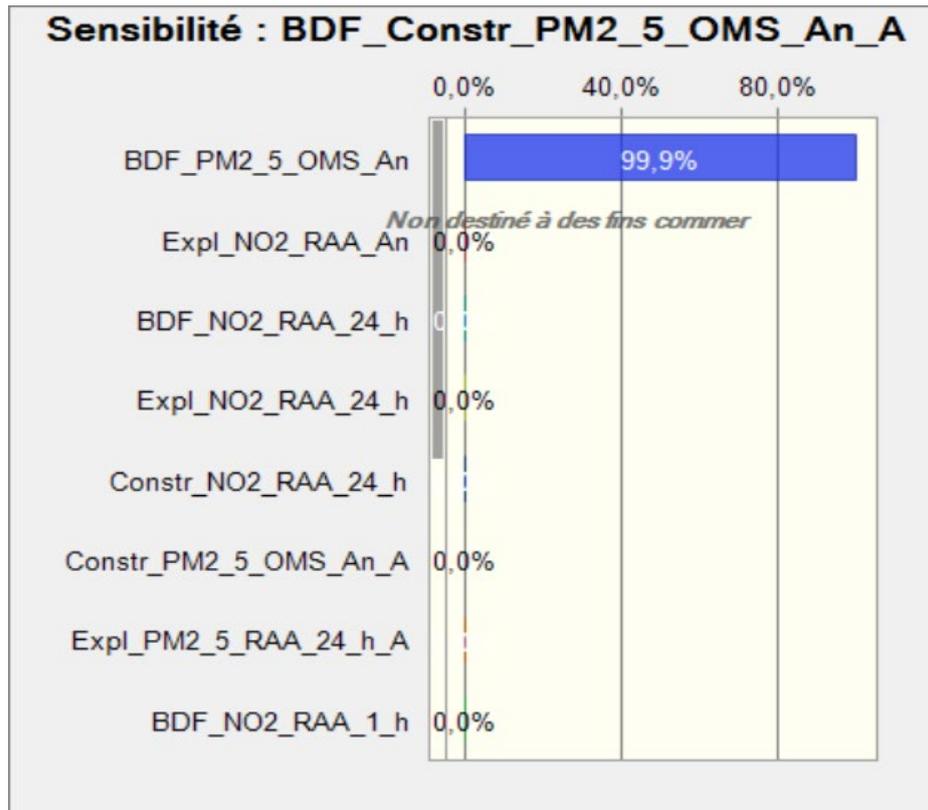
Fin des hypothèses

Graphiques de sensibilité

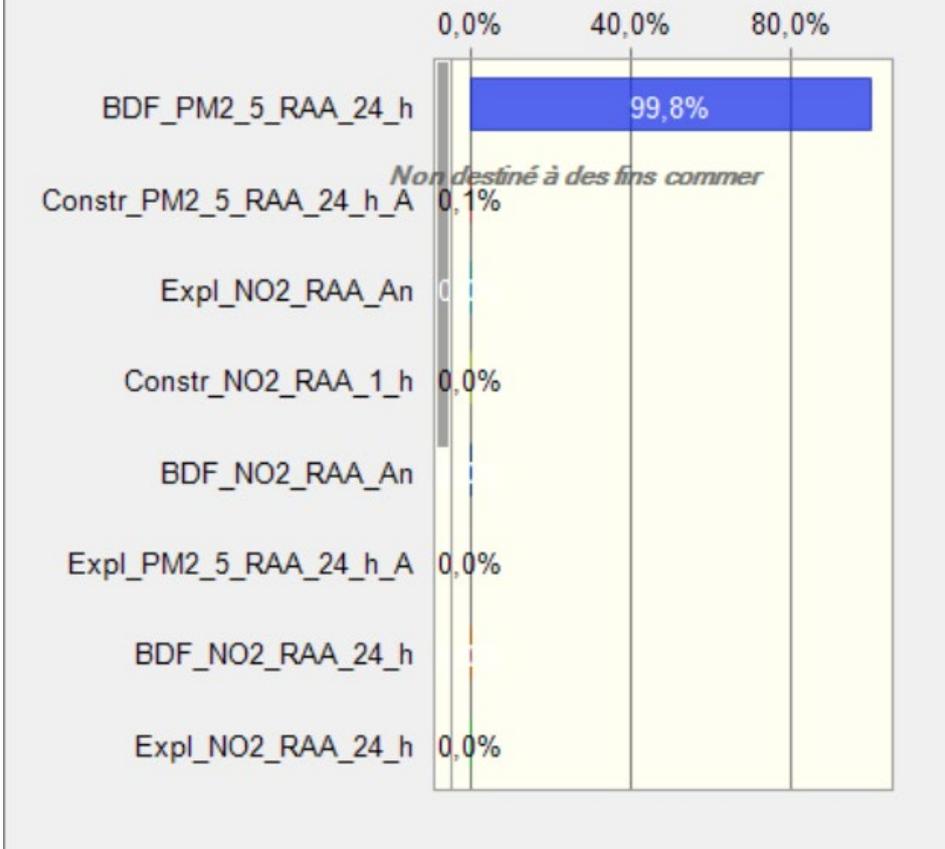




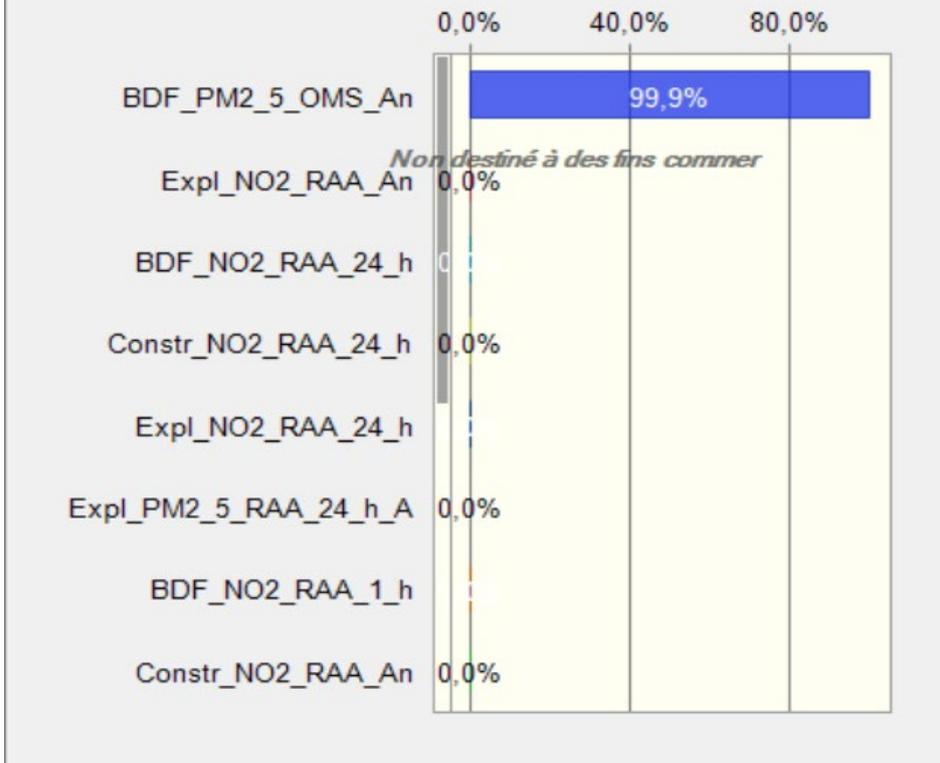


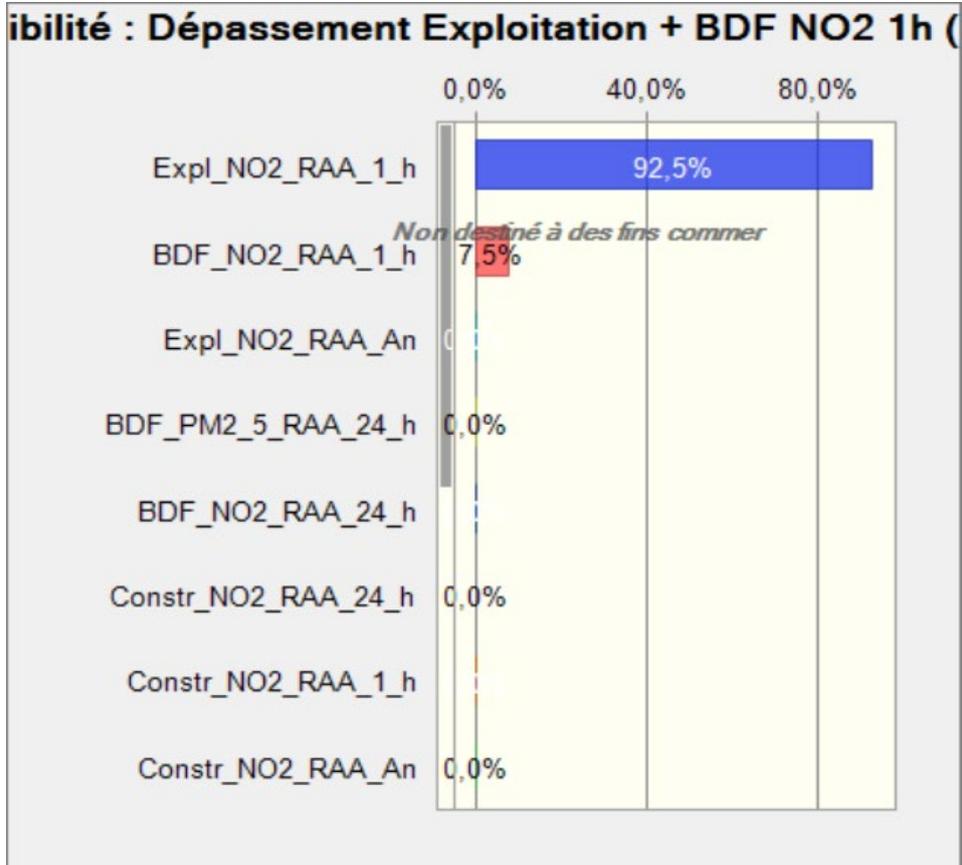
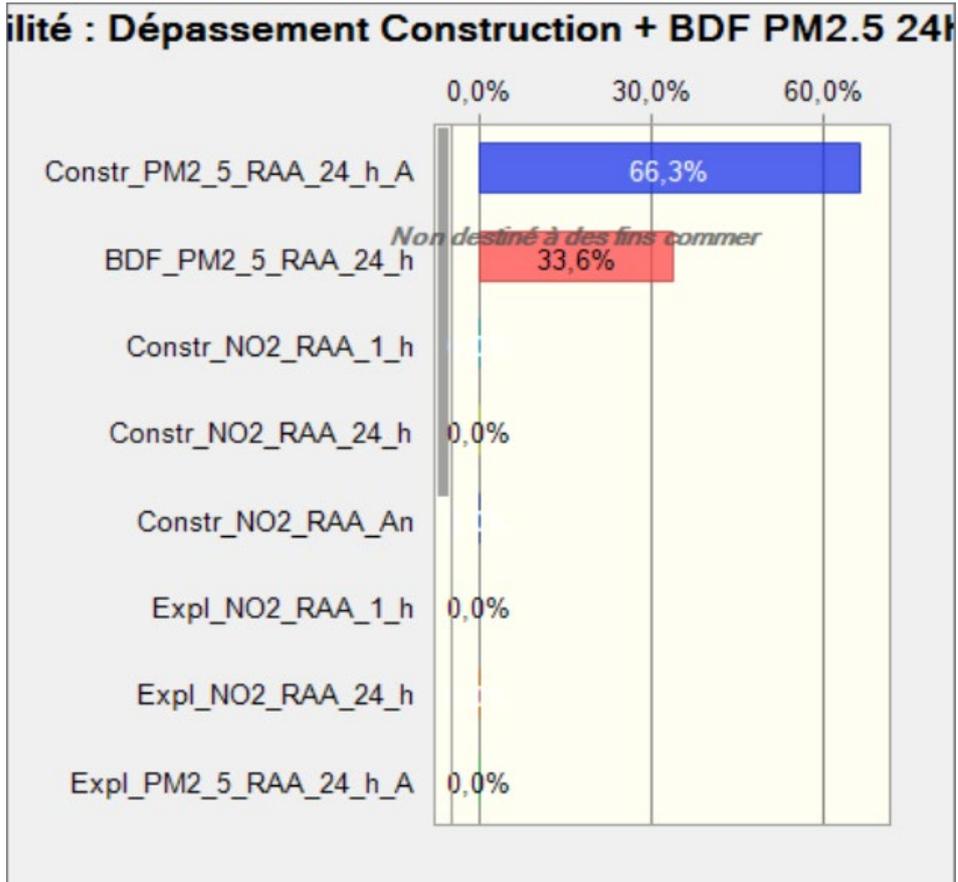


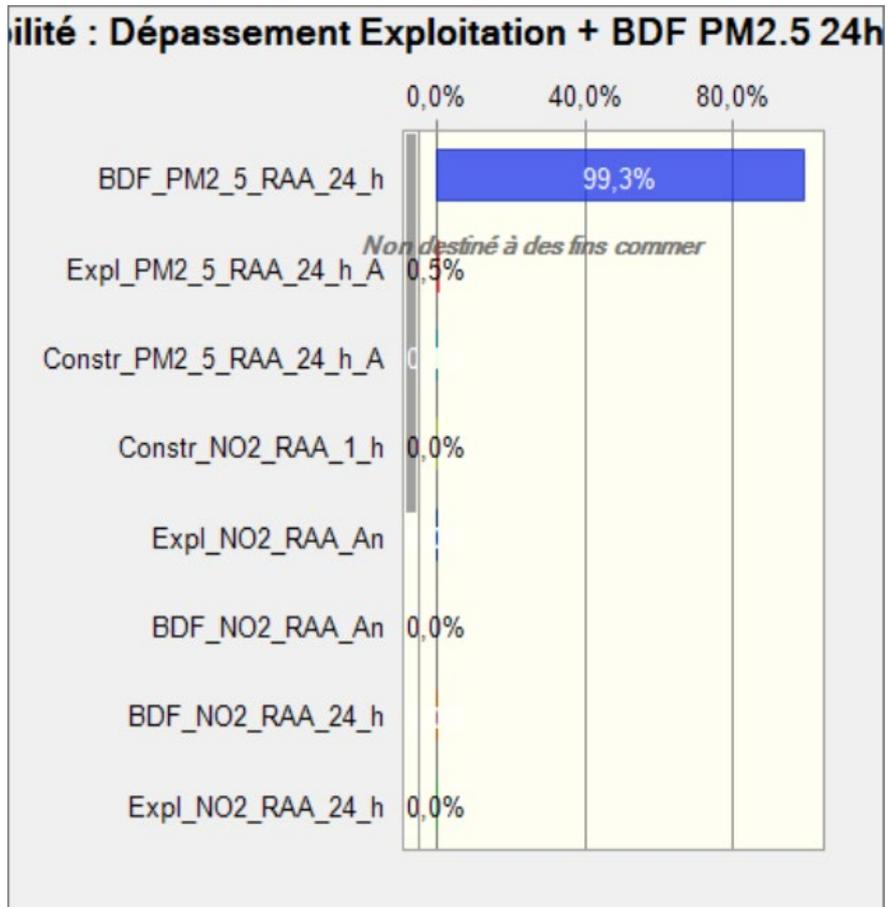
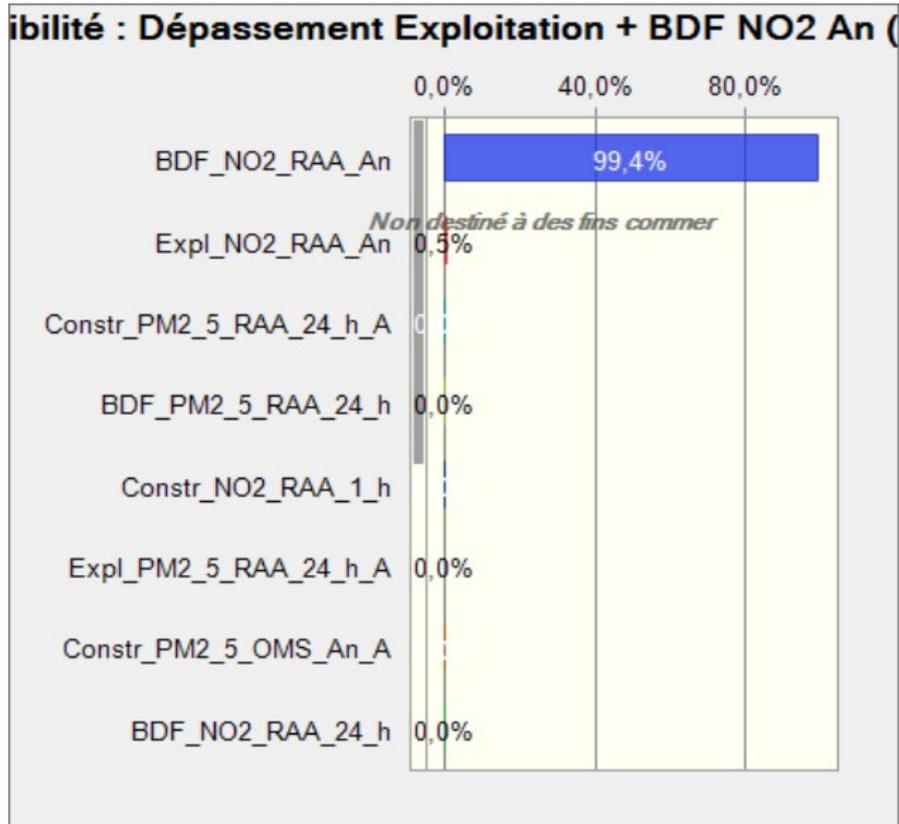
Sensibilité : Dépassement BDF PM2.5 24h (RAA)

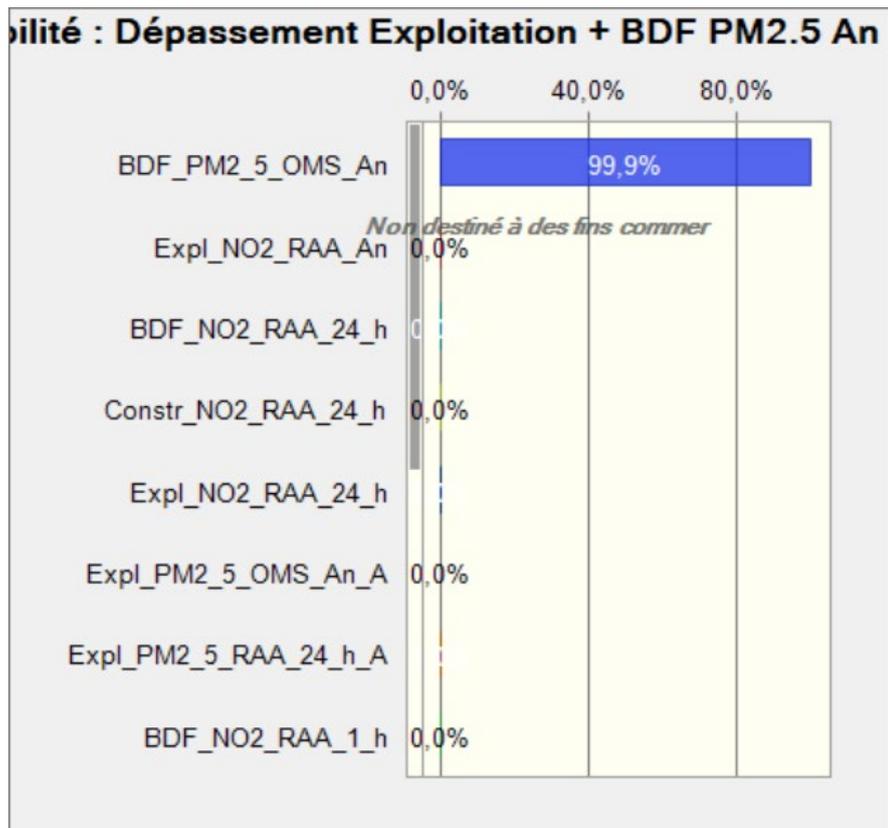


Sensibilité : Dépassement BDF PM2.5 An (OMS)









Annexe 2 : Simulations Monte-Carlo – Résultats bruts – Approche toxicologique (ÉRSH)

Rapport Crystal Ball - Complet
Simulation démarrée le 24/02/2021 à 10:28
Simulation arrêtée le 24/02/2021 à 10:29

Préférences d'exécution :

Nombre d'exécutions de tirage	10 000
Monte Carlo	
Valeur de départ	999
Contrôle de précision dans	
Niveau de confiance	95,00%

Statistiques d'exécution :

Temps d'exécution total (s)	13,50
Tirages/seconde (moyenne)	741
Nombres aléatoires par seconde	29 626

Données Crystal Ball :

Hypothèses	40
Corrélations	0
Matrices de corrélation	0
Variables de décision	0
Prévisions	25

Prévisions

Feuille de calcul : [220358 Monte-Carlo - Approche toxicologiquev2 2402,.xlsx] Simulations Monte-

Prévision: BDF + Constr NO2 1h Tout-petit

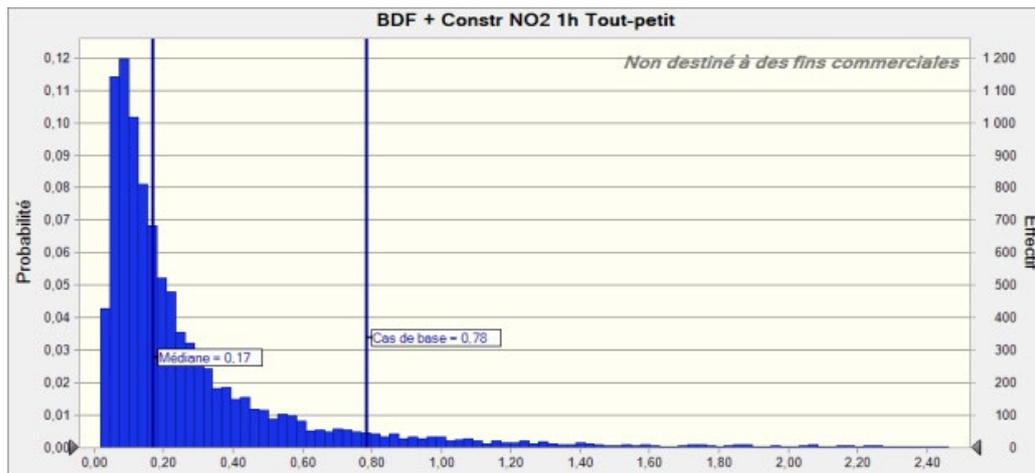
Cellule : AM30

Récapitulatif :

La plage entière est comprise entre 0,02 et 31,66

Le cas de base est 0,78

Après 10 000 tirages, l'erreur standard de la moyenne est 0,01



Statistiques :	Valeurs de prévision
Tirages	10 000
Cas de base	0,78
Moyenne	0,36
Médiane	0,17
Mode	---
Ecart-type	0,75
Variance	0,57
Asymétrie	14,06
Aplatissement	398,29
Coeff. de variation	2,12
Minimum	0,02
Maximum	31,66
Etendue	31,64
Erreur standard de la moyenne	0,01

Prévision: BDF + Constr NO2 1h Tout-petit suite

Cellule : AM30

Fractiles :	Valeurs de prévision
0%	0,02
10%	0,06
20%	0,08
30%	0,11
40%	0,13
50%	0,17
60%	0,22
70%	0,29
80%	0,42
90%	0,73
100%	31,66

Prévision: BDF + Constr NO2 1h Travailleur

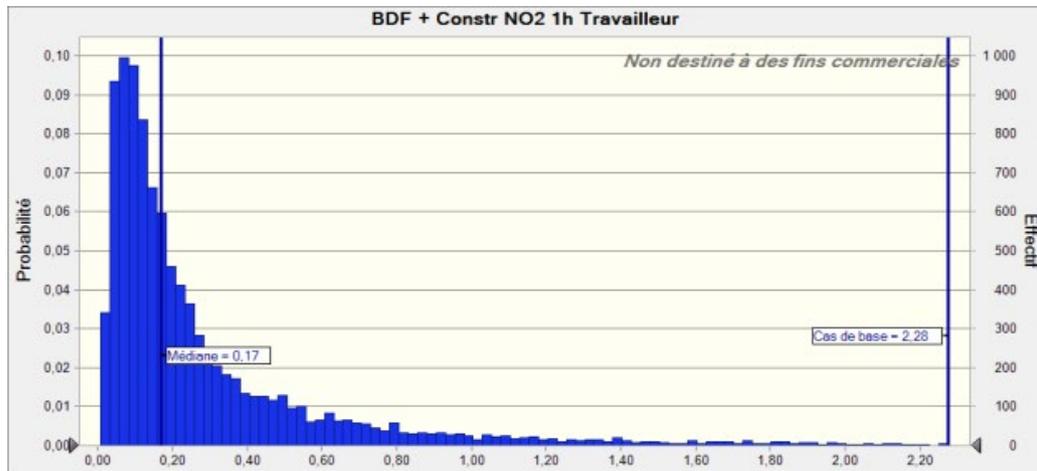
Cellule : AP30

Récapitulatif :

La plage entière est comprise entre 0,01 et 19,38

Le cas de base est 2,28

Après 10 000 tirages, l'erreur standard de la moyenne est 0,01



Statistiques :	Valeurs de prévision
Tirages	10 000
Cas de base	2,28
Moyenne	0,35
Médiane	0,17
Mode	---
Ecart-type	0,67
Variance	0,45
Asymétrie	9,52
Aplatissement	170,58
Coeff. de variation	1,89
Minimum	0,01
Maximum	19,38
Etendue	19,37
Erreur standard de la moyenne	0,01

Prévision: BDF + Constr NO2 1h Travailleur suite

Cellule : AP30

Fractiles :	Valeurs de prévision
0%	0,01
10%	0,05
20%	0,08
30%	0,10
40%	0,13
50%	0,17
60%	0,22
70%	0,30
80%	0,45
90%	0,76
100%	19,38

Prévision: BDF + Constr NO2 24h Tout-petit

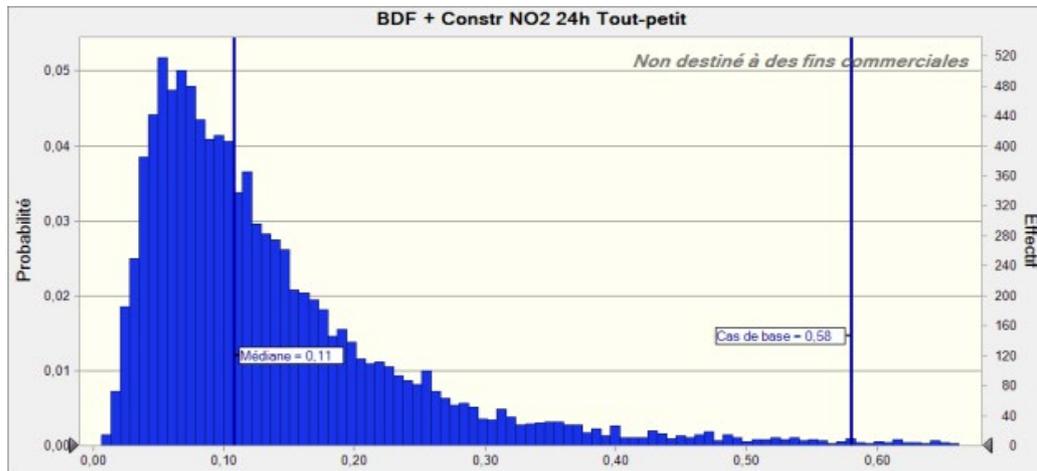
Cellule : AM31

Récapitulatif :

La plage entière est comprise entre 0,01 et 7,44

Le cas de base est 0,58

Après 10 000 tirages, l'erreur standard de la moyenne est 0,00



Statistiques :	Valeurs de prévision
Tirages	10 000
Cas de base	0,58
Moyenne	0,15
Médiane	0,11
Mode	---
Ecart-type	0,18
Variance	0,03
Asymétrie	12,61
Aplatissement	351,86
Coeff. de variation	1,22
Minimum	0,01
Maximum	7,44
Etendue	7,43
Erreur standard de la moyenne	0,00

Prévision: BDF + Constr NO2 24h Tout-petit suite

Cellule : AM31

Fractiles :	Valeurs de prévision
0%	0,01
10%	0,04
20%	0,06
30%	0,07
40%	0,09
50%	0,11
60%	0,13
70%	0,16
80%	0,20
90%	0,28
100%	7,44

Prévision: BDF + Constr NO2 chronique Tout-petit

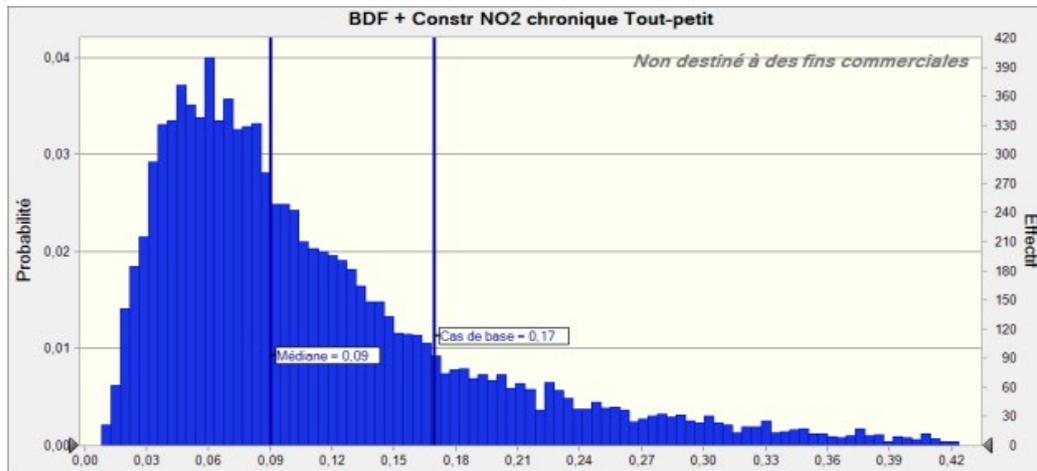
Cellule : AM37

Récapitulatif :

La plage entière est comprise entre 0,01 et 1,33

Le cas de base est 0,17

Après 10 000 tirages, l'erreur standard de la moyenne est 0,00



Statistiques :	Valeurs de prévision
Tirages	10 000
Cas de base	0,17
Moyenne	0,12
Médiane	0,09
Mode	---
Ecart-type	0,11
Variance	0,01
Asymétrie	3,07
Aplatissement	18,23
Coeff. de variation	0,8823
Minimum	0,01
Maximum	1,33
Etendue	1,32
Erreur standard de la moyenne	0,00

Prévision: BDF + Constr NO2 chronique Tout-petit suite

Cellule : AM37

Fractiles :	Valeurs de prévision
0%	0,01
10%	0,04
20%	0,05
30%	0,06
40%	0,08
50%	0,09
60%	0,11
70%	0,13
80%	0,17
90%	0,24
100%	1,33

Prévision: BDF + Constr NO2 chronique Travailleur

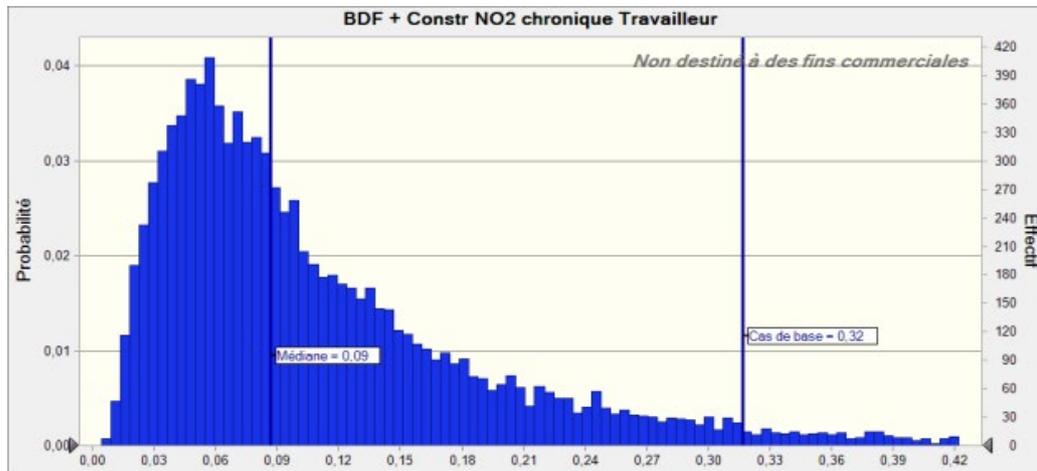
Cellule : AP37

Récapitulatif :

La plage entière est comprise entre 0,00 et 1,34

Le cas de base est 0,32

Après 10 000 tirages, l'erreur standard de la moyenne est 0,00



Statistiques :	Valeurs de prévision
Tirages	10 000
Cas de base	0,32
Moyenne	0,12
Médiane	0,09
Mode	---
Ecart-type	0,11
Variance	0,01
Asymétrie	3,21
Aplatissement	20,27
Coeff. de variation	0,9090
Minimum	0,00
Maximum	1,34
Etendue	1,33
Erreur standard de la moyenne	0,00

Prévision: BDF + Constr NO2 chronique Travailleur suite

Cellule : AP37

Fractiles :	Valeurs de prévision
0%	0,00
10%	0,03
20%	0,05
30%	0,06
40%	0,07
50%	0,09
60%	0,11
70%	0,13
80%	0,17
90%	0,24
100%	1,34

Prévision: BDF + Constr PM2.5 24h Tout-petit

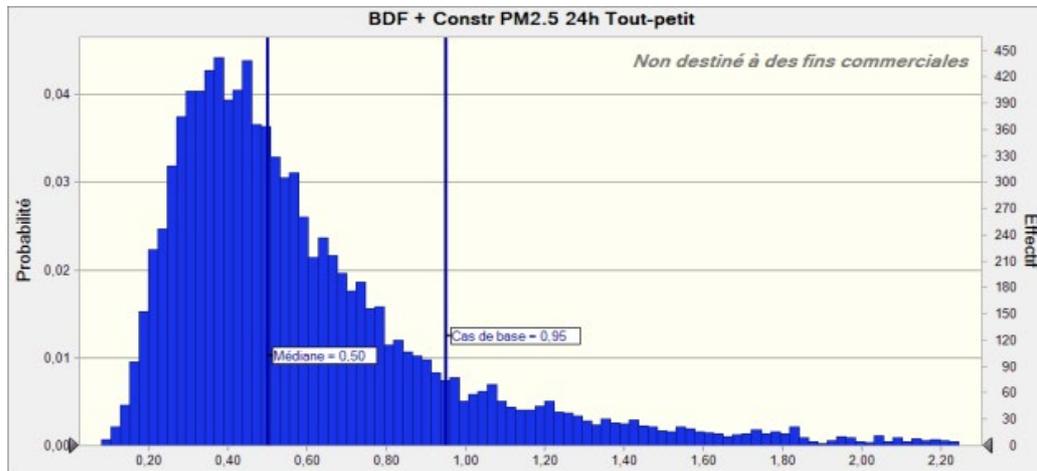
Cellule : AM32

Récapitulatif :

La plage entière est comprise entre 0,08 et 10,95

Le cas de base est 0,95

Après 10 000 tirages, l'erreur standard de la moyenne est 0,01



Statistiques :	Valeurs de prévision
Tirages	10 000
Cas de base	0,95
Moyenne	0,65
Médiane	0,50
Mode	---
Ecart-type	0,57
Variance	0,33
Asymétrie	5,37
Aplatissement	54,99
Coeff. de variation	0,8801
Minimum	0,08
Maximum	10,95
Etendue	10,87
Erreur standard de la moyenne	0,01

Prévision: BDF + Constr PM2.5 24h Tout-petit suite

Cellule : AM32

Fractiles :	Valeurs de prévision
0%	0,08
10%	0,26
20%	0,33
30%	0,38
40%	0,44
50%	0,50
60%	0,57
70%	0,68
80%	0,82
90%	1,14
100%	10,95

Prévision: BDF + Constr PM2.5 24h Travailleur

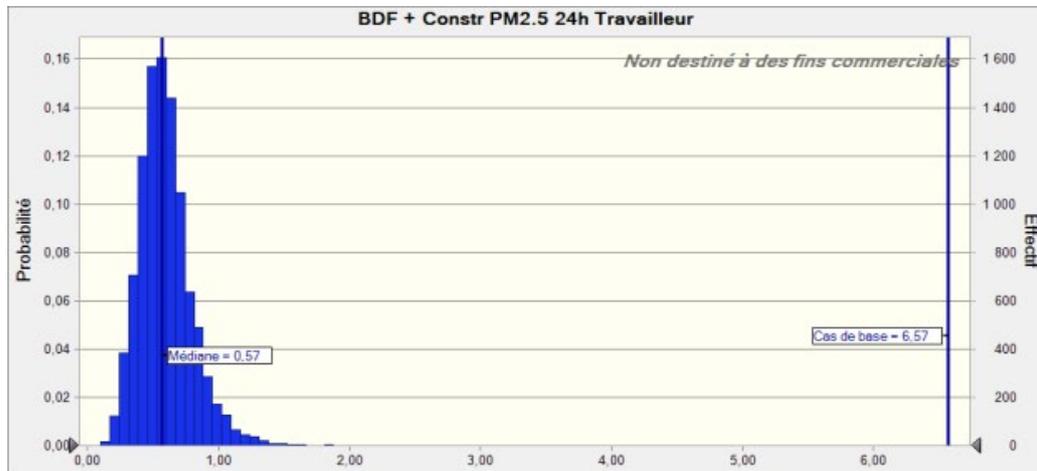
Cellule : AP32

Récapitulatif :

La plage entière est comprise entre 0,10 et 2,22

Le cas de base est 6,57

Après 10 000 tirages, l'erreur standard de la moyenne est 0,00



Statistiques :	Valeurs de prévision
Tirages	10 000
Cas de base	6,57
Moyenne	0,60
Médiane	0,57
Mode	---
Ecart-type	0,20
Variance	0,04
Asymétrie	1,07
Aplatissement	5,91
Coeff. de variation	0,3363
Minimum	0,10
Maximum	2,22
Etendue	2,12
Erreur standard de la moyenne	0,00

Prévision: BDF + Constr PM2.5 24h Travailleur suite

Cellule : AP32

Fractiles :	Valeurs de prévision
0%	0,10
10%	0,37
20%	0,44
30%	0,49
40%	0,53
50%	0,57
60%	0,62
70%	0,67
80%	0,73
90%	0,85
100%	2,22

Prévision: BDF + Constr PM2.5 Chronique Tout-petit

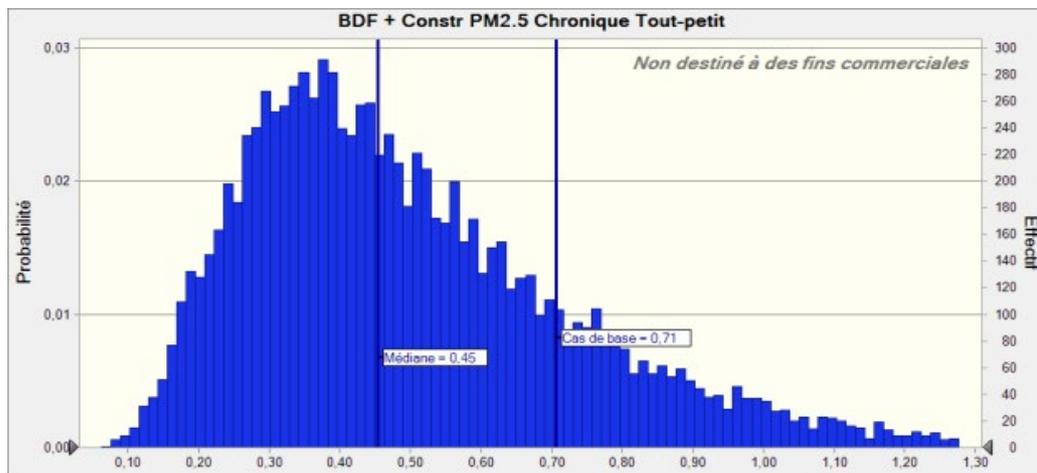
Cellule : AM38

Récapitulatif :

La plage entière est comprise entre 0,06 et 3,42

Le cas de base est 0,71

Après 10 000 tirages, l'erreur standard de la moyenne est 0,00



Statistiques :	Valeurs de prévision
Tirages	10 000
Cas de base	0,71
Moyenne	0,52
Médiane	0,45
Mode	---
Ecart-type	0,27
Variance	0,07
Asymétrie	1,81
Aplatissement	9,67
Coeff. de variation	0,5279
Minimum	0,06
Maximum	3,42
Etendue	3,35
Erreur standard de la moyenne	0,00

Prévision: BDF + Constr PM2.5 Chronique Tout-petit suite

Cellule : AM38

Fractiles :	Valeurs de prévision
0%	0,06
10%	0,24
20%	0,30
30%	0,35
40%	0,40
50%	0,45
60%	0,52
70%	0,59
80%	0,69
90%	0,86
100%	3,42

Prévision: BDF + Constr PM2.5 chronique Travailleur

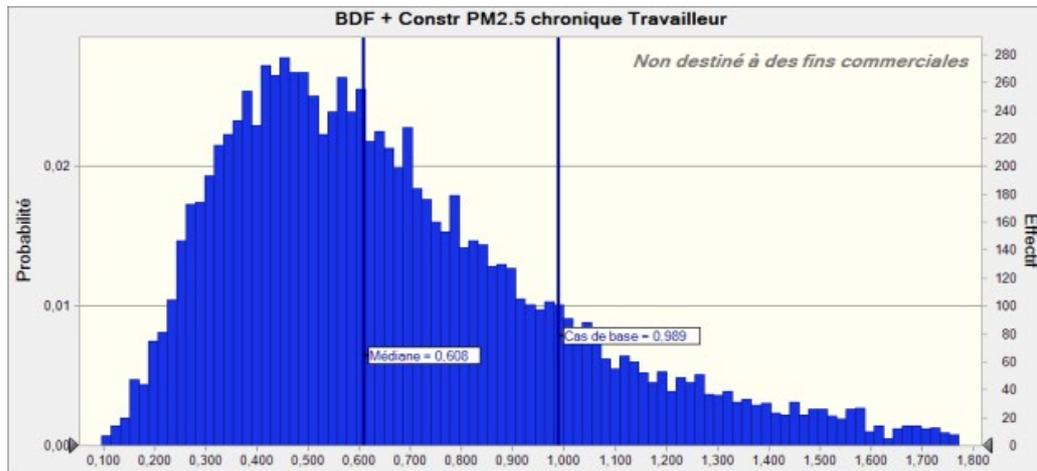
Cellule : AP38

Récapitulatif :

La plage entière est comprise entre 0,095 et 5,450

Le cas de base est 0,989

Après 10 000 tirages, l'erreur standard de la moyenne est 0,004



Statistiques :	Valeurs de prévision
Tirages	10 000
Cas de base	0,989
Moyenne	0,693
Médiane	0,608
Mode	---
Ecart-type	0,385
Variance	0,148
Asymétrie	1,88
Aplatissement	10,92
Coeff. de variation	0,5556
Minimum	0,095
Maximum	5,450
Etendue	5,355
Erreur standard de la moyenne	0,004

Prévision: BDF + Constr PM2.5 chronique Travailleur suite

Cellule : AP38

Fractiles :	Valeurs de prévision
0%	0,095
10%	0,309
20%	0,390
30%	0,461
40%	0,533
50%	0,607
60%	0,692
70%	0,797
80%	0,941
90%	1,185
100%	5,450

Prévision: BDF + Exp NO2 1h Tout-petit

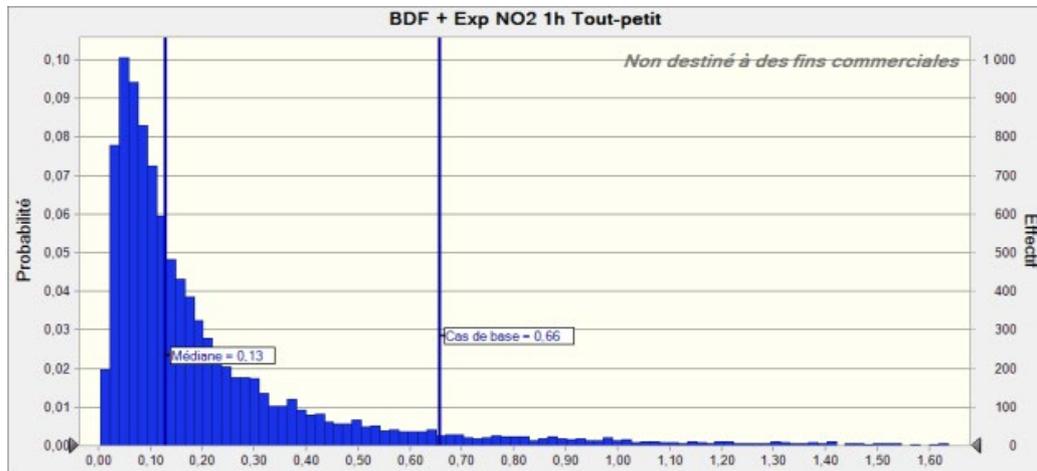
Cellule : BA30

Récapitulatif :

La plage entière est comprise entre 0,01 et 13,60

Le cas de base est 0,66

Après 10 000 tirages, l'erreur standard de la moyenne est 0,00



Statistiques :	Valeurs de prévision
Tirages	10 000
Cas de base	0,66
Moyenne	0,26
Médiane	0,13
Mode	---
Ecart-type	0,49
Variance	0,24
Asymétrie	9,21
Aplatissement	154,87
Coeff. de variation	1,88
Minimum	0,01
Maximum	13,60
Etendue	13,60
Erreur standard de la moyenne	0,00

Prévision: BDF + Exp NO2 1h Tout-petit suite

Cellule : BA30

Fractiles :	Valeurs de prévision
0%	0,01
10%	0,04
20%	0,06
30%	0,08
40%	0,10
50%	0,13
60%	0,17
70%	0,22
80%	0,32
90%	0,55
100%	13,60

Prévision: BDF + Expl NO2 1h Travailleur

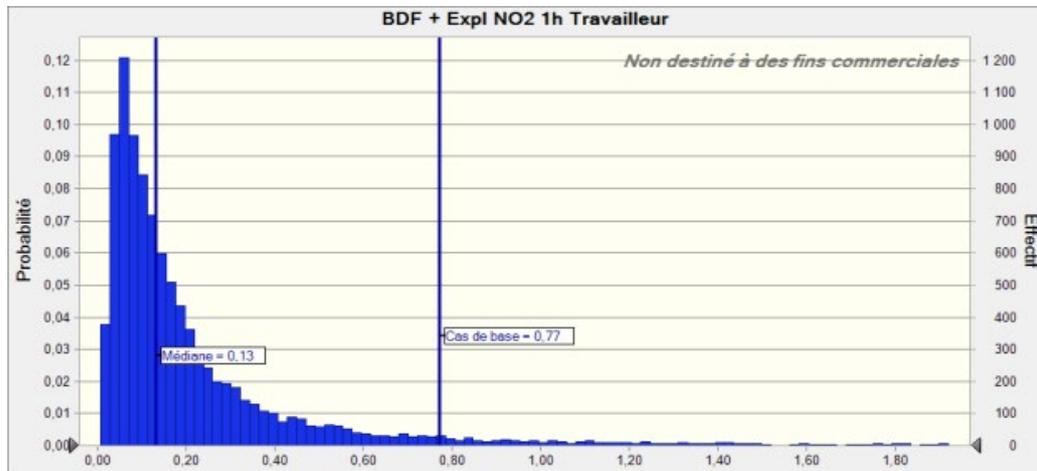
Cellule : BD30

Récapitulatif :

La plage entière est comprise entre 0,01 et 27,93

Le cas de base est 0,77

Après 10 000 tirages, l'erreur standard de la moyenne est 0,01



Statistiques :	Valeurs de prévision
Tirages	10 000
Cas de base	0,77
Moyenne	0,26
Médiane	0,13
Mode	---
Ecart-type	0,59
Variance	0,35
Asymétrie	17,81
Aplatissement	610,50
Coeff. de variation	2,25
Minimum	0,01
Maximum	27,93
Etendue	27,93
Erreur standard de la moyenne	0,01

Prévision: BDF + Expl NO2 1h Travailleur suite

Cellule : BD30

Fractiles :	Valeurs de prévision
0%	0,01
10%	0,04
20%	0,06
30%	0,08
40%	0,10
50%	0,13
60%	0,17
70%	0,22
80%	0,31
90%	0,53
100%	27,93

Prévision: BDF + Expl NO2 24h Tout-petit

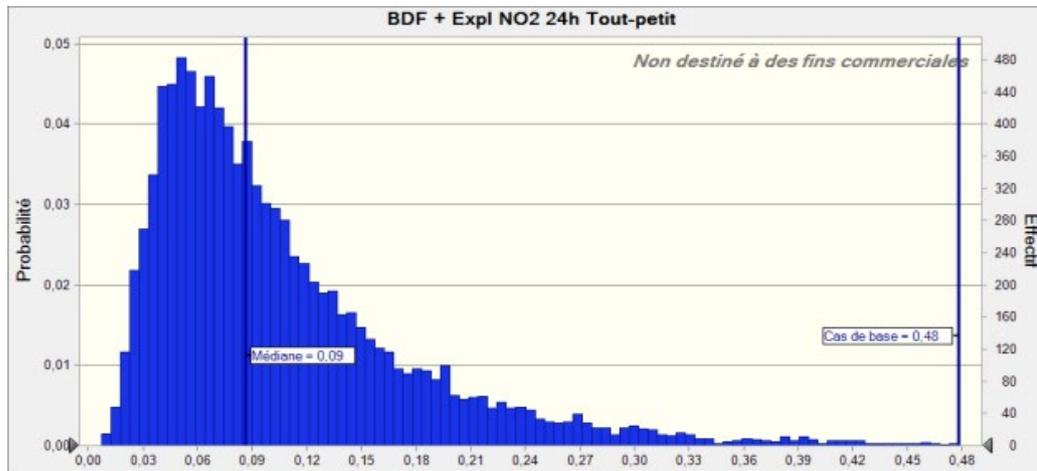
Cellule : BA31

Récapitulatif :

La plage entière est comprise entre 0,01 et 1,48

Le cas de base est 0,48

Après 10 000 tirages, l'erreur standard de la moyenne est 0,00



Statistiques :	Valeurs de prévision
Tirages	10 000
Cas de base	0,48
Moyenne	0,11
Médiane	0,09
Mode	---
Ecart-type	0,09
Variance	0,01
Asymétrie	3,54
Aplatissement	31,02
Coeff. de variation	0,7909
Minimum	0,01
Maximum	1,48
Etendue	1,47
Erreur standard de la moyenne	0,00

Prévision: BDF + Expl NO2 24h Tout-petit suite

Cellule : BA31

Fractiles :	Valeurs de prévision
0%	0,01
10%	0,04
20%	0,05
30%	0,06
40%	0,07
50%	0,09
60%	0,10
70%	0,12
80%	0,15
90%	0,21
100%	1,48

Prévision: BDF + Expl NO2 chronique Tout-petit

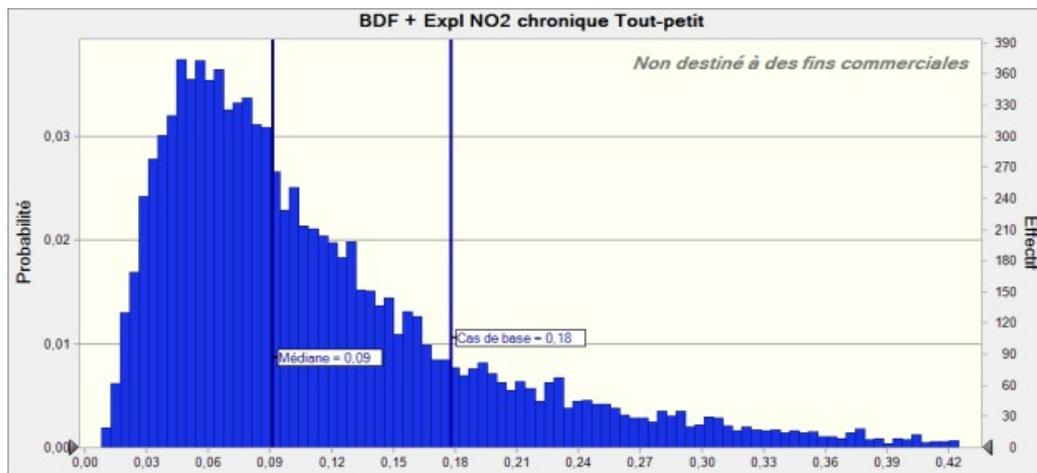
Cellule : BA37

Récapitulatif :

La plage entière est comprise entre 0,01 et 1,32

Le cas de base est 0,18

Après 10 000 tirages, l'erreur standard de la moyenne est 0,00



Statistiques :	Valeurs de prévision
Tirages	10 000
Cas de base	0,18
Moyenne	0,12
Médiane	0,09
Mode	---
Ecart-type	0,11
Variance	0,01
Asymétrie	3,05
Aplatissement	18,03
Coeff. de variation	0,8772
Minimum	0,01
Maximum	1,32
Etendue	1,31
Erreur standard de la moyenne	0,00

Prévision: BDF + Expl NO2 chronique Tout-petit suite

Cellule : BA37

Fractiles :	Valeurs de prévision
0%	0,01
10%	0,04
20%	0,05
30%	0,06
40%	0,08
50%	0,09
60%	0,11
70%	0,13
80%	0,17
90%	0,24
100%	1,32

Prévision: BDF + Expl NO2 chronique Travailleur

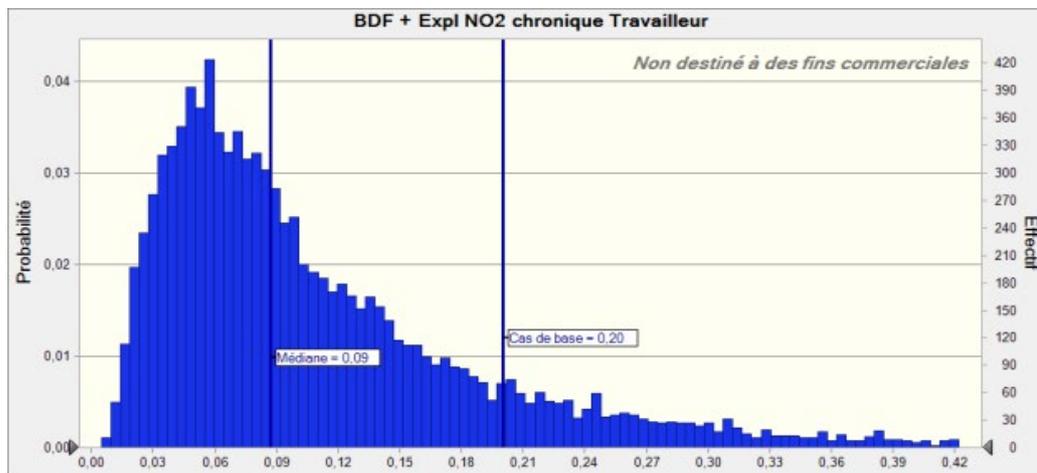
Cellule : BD37

Récapitulatif :

La plage entière est comprise entre 0,00 et 1,34

Le cas de base est 0,20

Après 10 000 tirages, l'erreur standard de la moyenne est 0,00



Statistiques :	Valeurs de prévision
Tirages	10 000
Cas de base	0,20
Moyenne	0,12
Médiane	0,09
Mode	---
Ecart-type	0,11
Variance	0,01
Asymétrie	3,21
Aplatissement	20,26
Coeff. de variation	0,9083
Minimum	0,00
Maximum	1,34
Etendue	1,33
Erreur standard de la moyenne	0,00

Prévision: BDF + Expl NO2 chronique Travailleur suite

Cellule : BD37

Fractiles :	Valeurs de prévision
0%	0,00
10%	0,03
20%	0,05
30%	0,06
40%	0,07
50%	0,09
60%	0,11
70%	0,13
80%	0,17
90%	0,24
100%	1,34

Prévision: BDF + Expl PM2.5 24h Tout-petit

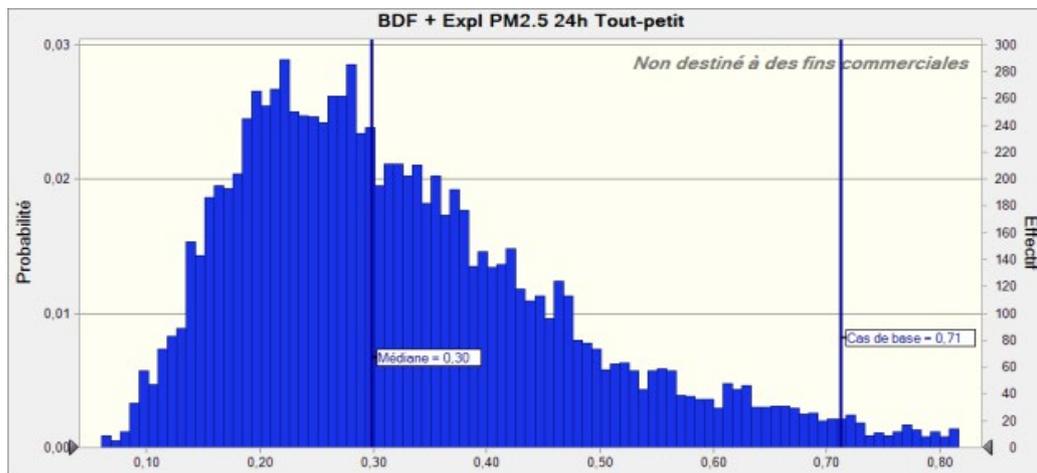
Cellule : BA32

Récapitulatif :

La plage entière est comprise entre 0,06 et 1,85

Le cas de base est 0,71

Après 10 000 tirages, l'erreur standard de la moyenne est 0,00



Statistiques :	Valeurs de prévision
Tirages	10 000
Cas de base	0,71
Moyenne	0,34
Médiane	0,30
Mode	---
Ecart-type	0,17
Variance	0,03
Asymétrie	1,75
Aplatissement	8,72
Coeff. de variation	0,5089
Minimum	0,06
Maximum	1,85
Etendue	1,79
Erreur standard de la moyenne	0,00

Prévision: BDF + Expl PM2.5 24h Tout-petit suite

Cellule : BA32

Fractiles :	Valeurs de prévision
0%	0,06
10%	0,16
20%	0,20
30%	0,23
40%	0,27
50%	0,30
60%	0,34
70%	0,38
80%	0,45
90%	0,56
100%	1,85

Prévision: BDF + Expl PM2.5 24h Travailleur

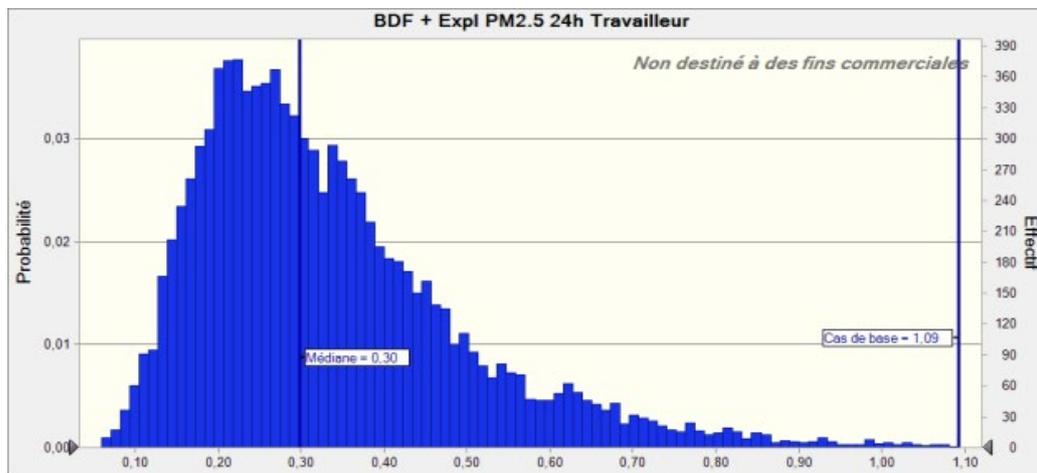
Cellule : BD32

Récapitulatif :

La plage entière est comprise entre 0,06 et 1,84

Le cas de base est 1,09

Après 10 000 tirages, l'erreur standard de la moyenne est 0,00



Statistiques :	Valeurs de prévision
Tirages	10 000
Cas de base	1,09
Moyenne	0,34
Médiane	0,30
Mode	---
Ecart-type	0,17
Variance	0,03
Asymétrie	1,74
Aplatissement	8,60
Coeff. de variation	0,5081
Minimum	0,06
Maximum	1,84
Etendue	1,78
Erreur standard de la moyenne	0,00

Prévision: BDF + Expl PM2.5 24h Travailleur suite

Cellule : BD32

Fractiles :	Valeurs de prévision
0%	0,06
10%	0,16
20%	0,20
30%	0,23
40%	0,27
50%	0,30
60%	0,34
70%	0,38
80%	0,45
90%	0,56
100%	1,84

Prévision: BDF + Expl PM2.5 chronique Tout-petit

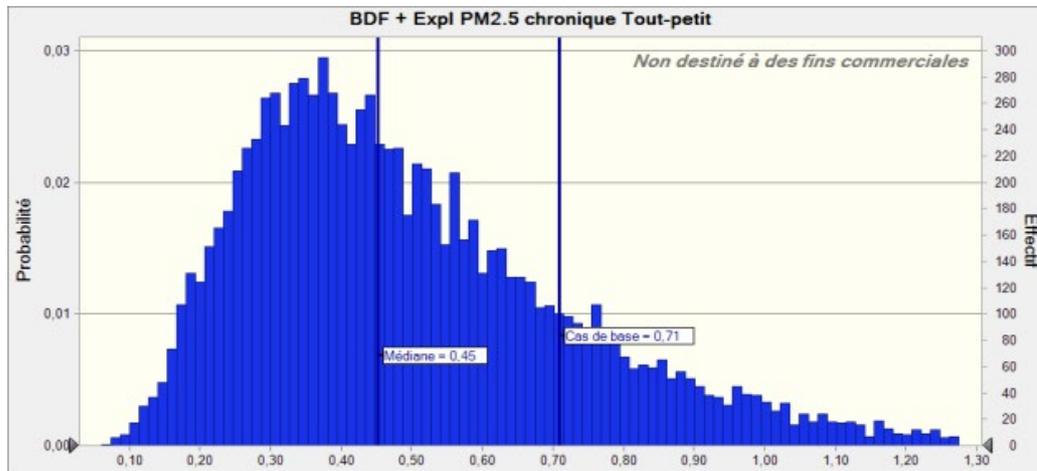
Cellule : BA38

Récapitulatif :

La plage entière est comprise entre 0,06 et 3,42

Le cas de base est 0,71

Après 10 000 tirages, l'erreur standard de la moyenne est 0,00



Statistiques :	Valeurs de prévision
Tirages	10 000
Cas de base	0,71
Moyenne	0,51
Médiane	0,45
Mode	---
Ecart-type	0,27
Variance	0,07
Asymétrie	1,81
Aplatissement	9,67
Coeff. de variation	0,5292
Minimum	0,06
Maximum	3,42
Etendue	3,36
Erreur standard de la moyenne	0,00

Prévision: BDF + Expl PM2.5 chronique Tout-petit suite

Cellule : BA38

Fractiles :	Valeurs de prévision
0%	0,06
10%	0,24
20%	0,30
30%	0,35
40%	0,40
50%	0,45
60%	0,52
70%	0,59
80%	0,69
90%	0,86
100%	3,42

Prévision: BDF + Expl PM2.5 chronique Travailleur

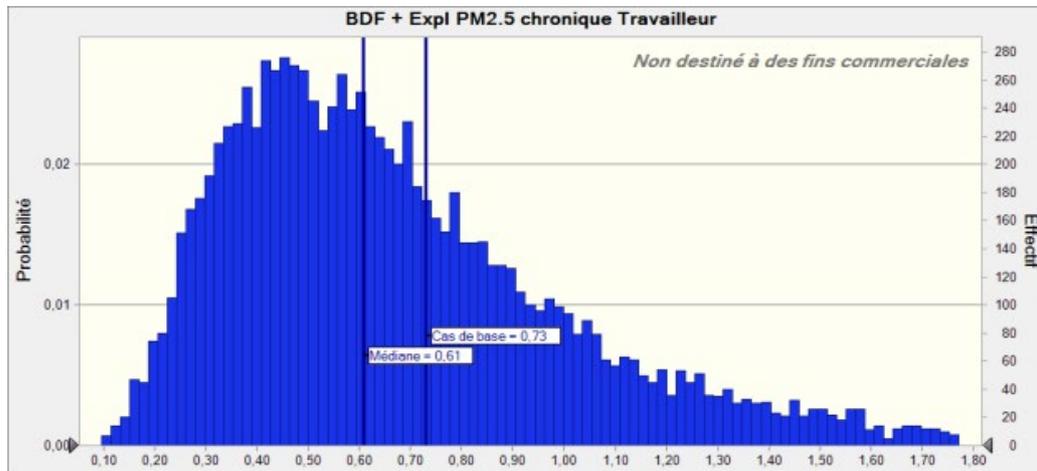
Cellule : BD38

Récapitulatif :

La plage entière est comprise entre 0,10 et 5,45

Le cas de base est 0,73

Après 10 000 tirages, l'erreur standard de la moyenne est 0,00



Statistiques :	Valeurs de prévision
Tirages	10 000
Cas de base	0,73
Moyenne	0,69
Médiane	0,61
Mode	---
Ecart-type	0,39
Variance	0,15
Asymétrie	1,88
Aplatissement	10,92
Coeff. de variation	0,5557
Minimum	0,10
Maximum	5,45
Etendue	5,35
Erreur standard de la moyenne	0,00

Prévision: BDF + Expl PM2.5 chronique Travailleur suite

Cellule : BD38

Fractiles :	Valeurs de prévision
0%	0,10
10%	0,31
20%	0,39
30%	0,46
40%	0,53
50%	0,61
60%	0,69
70%	0,80
80%	0,94
90%	1,19
100%	5,45

Prévision: BDF+ Const NO2 24h Travailleur

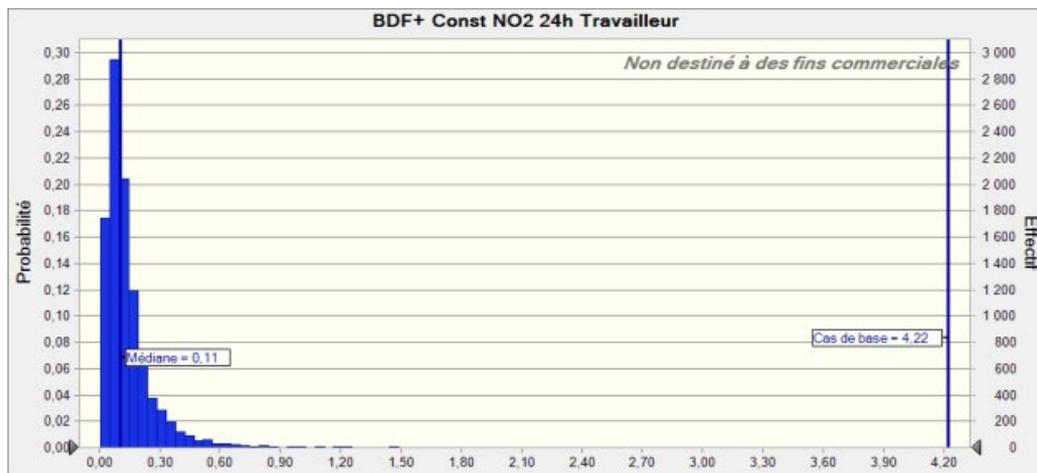
Cellule : AP31

Récapitulatif :

La plage entière est comprise entre 0,01 et 5,23

Le cas de base est 4,22

Après 10 000 tirages, l'erreur standard de la moyenne est 0,00



Statistiques :	Valeurs de prévision
Tirages	10 000
Cas de base	4,22
Moyenne	0,15
Médiane	0,11
Mode	---
Ecart-type	0,17
Variance	0,03
Asymétrie	9,51
Aplatissement	189,26
Coeff. de variation	1,17
Minimum	0,01
Maximum	5,23
Etendue	5,23
Erreur standard de la moyenne	0,00

Prévision: BDF+ Const NO2 24h Travailleur suite

Cellule : AP31

Fractiles :	Valeurs de prévision
0%	0,01
10%	0,04
20%	0,06
30%	0,07
40%	0,09
50%	0,11
60%	0,13
70%	0,16
80%	0,20
90%	0,29
100%	5,23

Prévision: BDF+ Expl NO2 24h Travailleur

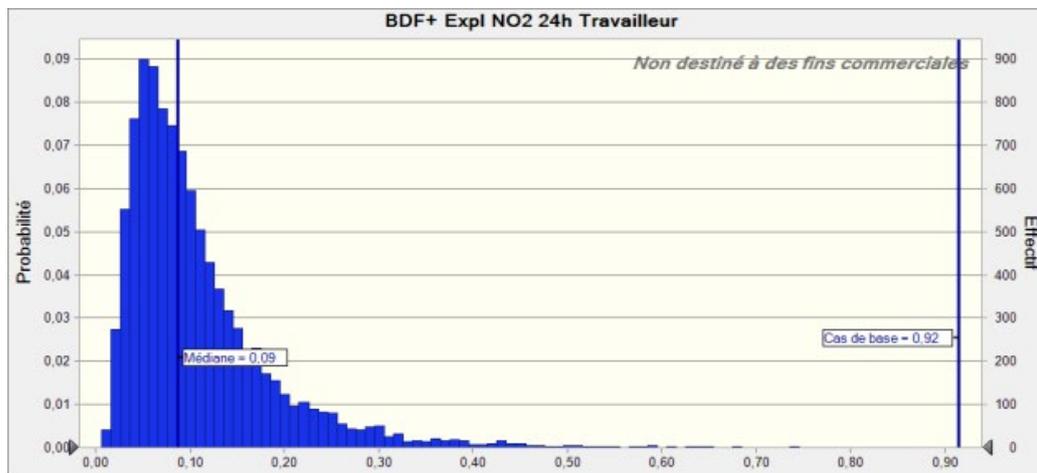
Cellule : BD31

Récapitulatif :

La plage entière est comprise entre 0,01 et 1,24

Le cas de base est 0,92

Après 10 000 tirages, l'erreur standard de la moyenne est 0,00



Statistiques :	Valeurs de prévision
Tirages	10 000
Cas de base	0,92
Moyenne	0,11
Médiane	0,09
Mode	---
Ecart-type	0,08
Variance	0,01
Asymétrie	2,64
Aplatissement	15,91
Coeff. de variation	0,7521
Minimum	0,01
Maximum	1,24
Etendue	1,23
Erreur standard de la moyenne	0,00

Prévision: BDF+ Expl NO2 24h Travailleur suite

Cellule : BD31

Fractiles :	Valeurs de prévision
0%	0,01
10%	0,04
20%	0,05
30%	0,06
40%	0,07
50%	0,09
60%	0,10
70%	0,12
80%	0,15
90%	0,20
100%	1,24

Prévision: État de référence (BDF) NO2 1h

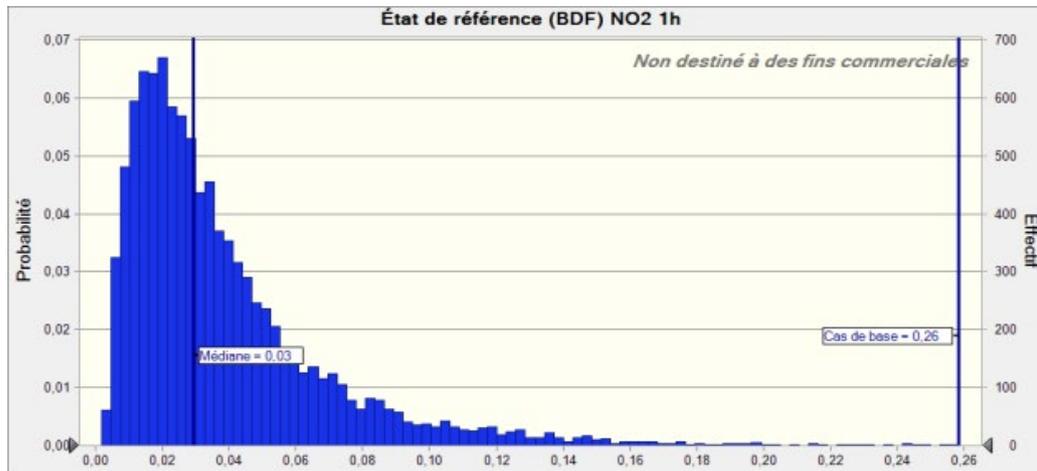
Cellule : AM44

Récapitulatif :

La plage entière est comprise entre 0,00 et 0,63

Le cas de base est 0,26

Après 10 000 tirages, l'erreur standard de la moyenne est 0,00



Statistiques :

Valeurs de prévision

Tirages	10 000
Cas de base	0,26
Moyenne	0,04
Médiane	0,03
Mode	---
Ecart-type	0,03
Variance	0,00
Asymétrie	3,41
Aplatissement	28,74
Coeff. de variation	0,8757
Minimum	0,00
Maximum	0,63
Etendue	0,62
Erreur standard de la moyenne	0,00

Prévision: État de référence (BDF) NO2 1h suite

Cellule : AM44

Fractiles :	Valeurs de prévision
0%	0,00
10%	0,01
20%	0,02
30%	0,02
40%	0,02
50%	0,03
60%	0,04
70%	0,04
80%	0,06
90%	0,08
100%	0,63

Prévision: État de référence (BDF) NO2 24h

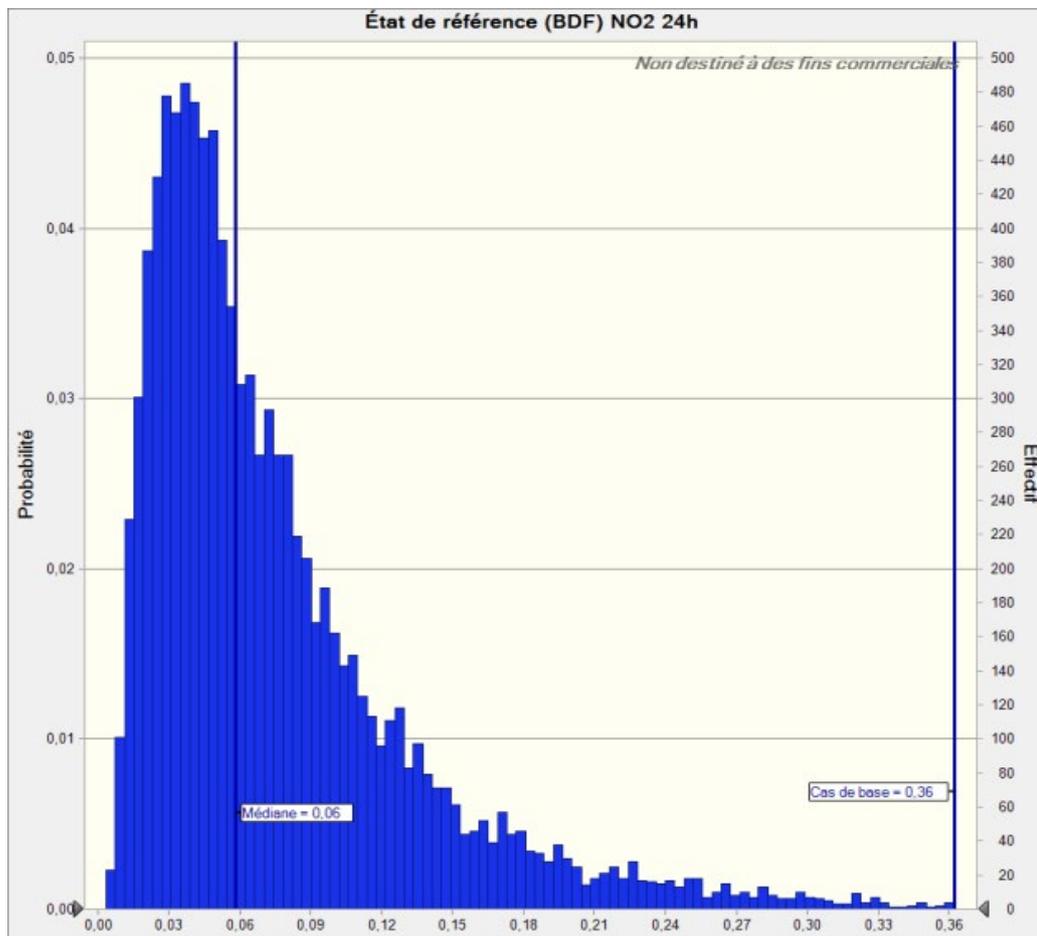
Cellule : AM45

Récapitulatif :

La plage entière est comprise entre 0,00 et 0,78

Le cas de base est 0,36

Après 10 000 tirages, l'erreur standard de la moyenne est 0,00



Prévision: État de référence (BDF) NO2 24h suite

Cellule : AM45

Statistiques :	Valeurs de prévision
Tirages	10 000
Cas de base	0,36
Moyenne	0,08
Médiane	0,06
Mode	---
Ecart-type	0,07
Variance	0,00
Asymétrie	2,73
Aplatissement	15,61
Coeff. de variation	0,8469
Minimum	0,00
Maximum	0,78
Etendue	0,77
Erreur standard de la moyenne	0,00

Fractiles :	Valeurs de prévision
0%	0,00
10%	0,02
20%	0,03
30%	0,04
40%	0,05
50%	0,06
60%	0,07
70%	0,09
80%	0,11
90%	0,15
100%	0,78

Prévision: État de référence (BDF) NO2 chronique

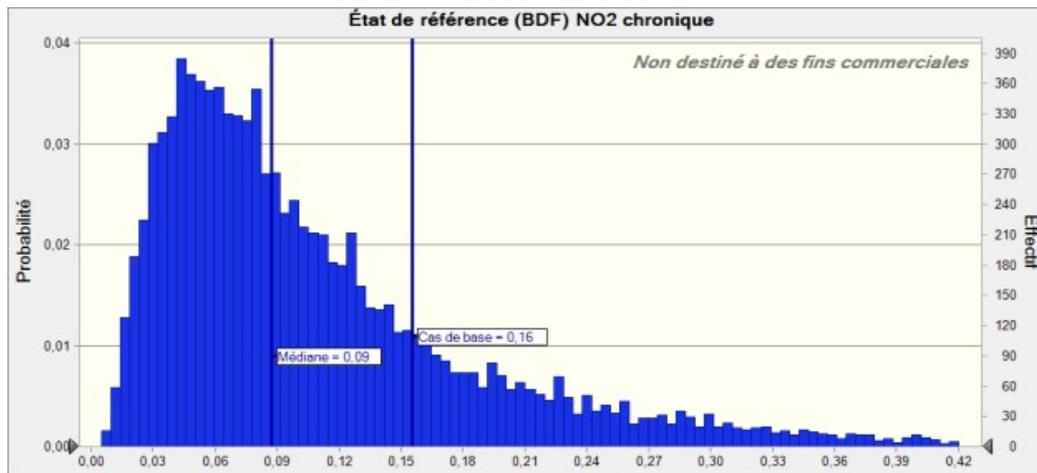
Cellule : AM51

Récapitulatif :

La plage entière est comprise entre 0,00 et 1,32

Le cas de base est 0,16

Après 10 000 tirages, l'erreur standard de la moyenne est 0,00



Statistiques :	Valeurs de prévision
Tirages	10 000
Cas de base	0,16
Moyenne	0,12
Médiane	0,09
Mode	---
Ecart-type	0,11
Variance	0,01
Asymétrie	3,07
Aplatissement	18,19
Coeff. de variation	0,9049
Minimum	0,00
Maximum	1,32
Etendue	1,31
Erreur standard de la moyenne	0,00

Prévision: État de référence (BDF) NO2 chronique suite

Cellule : AM51

Fractiles :	Valeurs de prévision
0%	0,00
10%	0,03
20%	0,05
30%	0,06
40%	0,07
50%	0,09
60%	0,11
70%	0,13
80%	0,17
90%	0,24
100%	1,32

Prévision: État de référence (BDF) PM2.5 24h

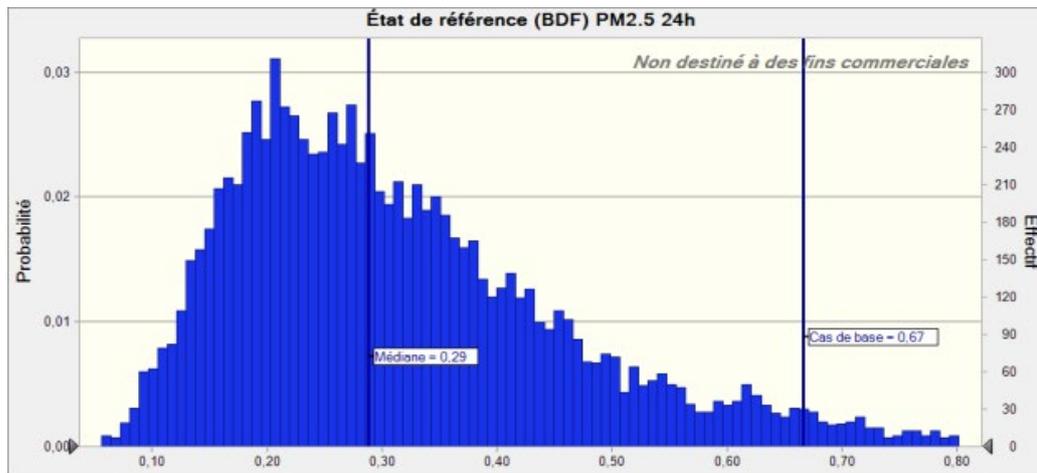
Cellule : AM46

Récapitulatif :

La plage entière est comprise entre 0,06 et 1,83

Le cas de base est 0,67

Après 10 000 tirages, l'erreur standard de la moyenne est 0,00



Statistiques :	Valeurs de prévision
Tirages	10 000
Cas de base	0,67
Moyenne	0,33
Médiane	0,29
Mode	---
Ecart-type	0,17
Variance	0,03
Asymétrie	1,77
Aplatissement	8,82
Coeff. de variation	0,5222
Minimum	0,06
Maximum	1,83
Etendue	1,78
Erreur standard de la moyenne	0,00

Prévision: État de référence (BDF) PM2.5 24h suite

Cellule : AM46

Fractiles :	Valeurs de prévision
0%	0,06
10%	0,16
20%	0,19
30%	0,22
40%	0,26
50%	0,29
60%	0,33
70%	0,37
80%	0,43
90%	0,54
100%	1,83

Prévision: État de référence (BDF) PM2.5 chronique

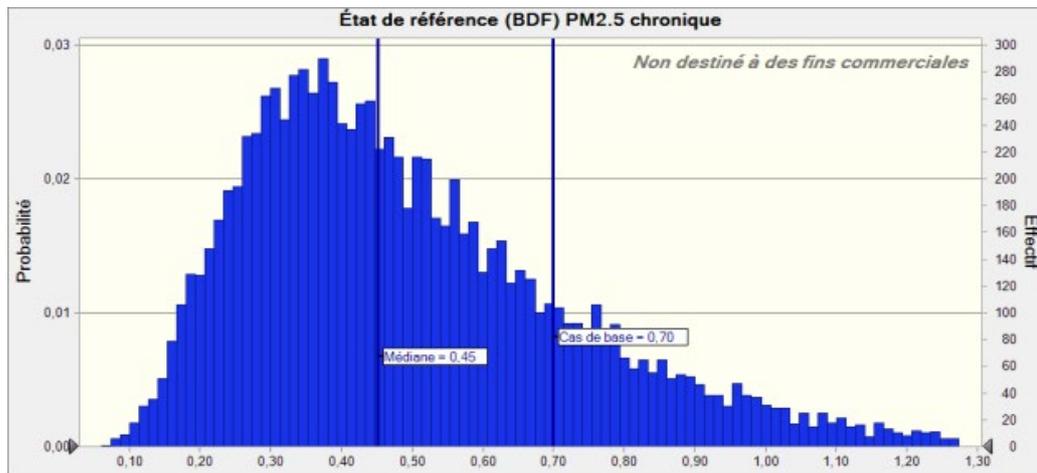
Cellule : AM52

Récapitulatif :

La plage entière est comprise entre 0,06 et 3,42

Le cas de base est 0,70

Après 10 000 tirages, l'erreur standard de la moyenne est 0,00



Statistiques :	Valeurs de prévision
Tirages	10 000
Cas de base	0,70
Moyenne	0,51
Médiane	0,45
Mode	---
Ecart-type	0,27
Variance	0,07
Asymétrie	1,81
Aplatissement	9,68
Coeff. de variation	0,5305
Minimum	0,06
Maximum	3,42
Etendue	3,36
Erreur standard de la moyenne	0,00

Prévision: État de référence (BDF) PM2.5 chronique suite

Cellule : AM52

Fractiles :	Valeurs de prévision
0%	0,06
10%	0,24
20%	0,30
30%	0,35
40%	0,40
50%	0,45
60%	0,52
70%	0,59
80%	0,69
90%	0,85
100%	3,42

Fin des prévisions

Hypothèses

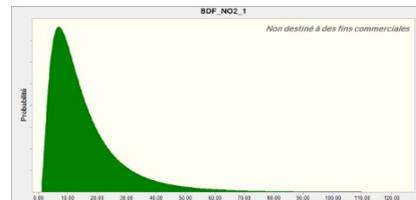
Feuille de calcul : [220358 Monte-Carlo - Approche toxicologiquev2 2402,.xlsx] Simulations Monte

Hypothèse: BDF_NO2_1

Cellule : G4

Log-normale loi comportant des paramètres :

Position	0,00
Moyenne	16,20
Ec.-type	14,12

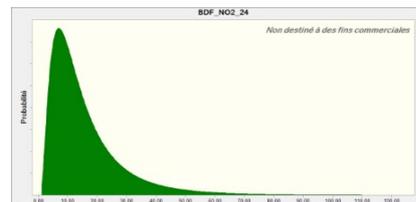


Hypothèse: BDF_NO2_24

Cellule : G5

Log-normale loi comportant des paramètres :

Position	0,00
Moyenne	16,21
Ec.-type	14,12

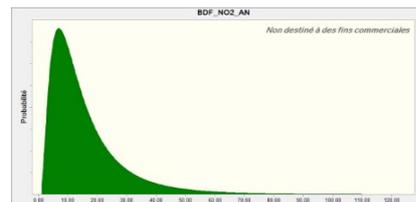


Hypothèse: BDF_NO2_AN

Cellule : G6

Log-normale loi comportant des paramètres :

Position	0,00
Moyenne	16,21
Ec.-type	14,12

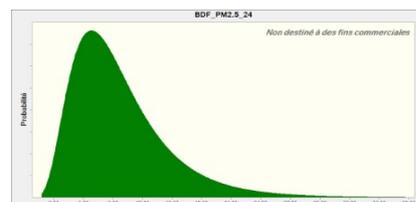


Hypothèse: BDF_PM2.5_24

Cellule : G7

Log-normale loi comportant des paramètres :

Position	0,00
Moyenne	9,72
Ec.-type	5,00

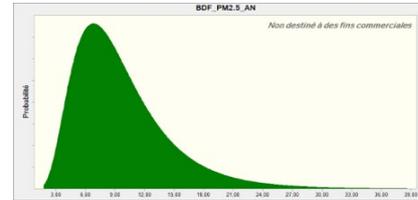


Hypothèse: BDF_PM2.5_AN

Cellule : G8

Log-normale loi comportant des paramètres :

Position 0,00
Moyenne 9,72
Ec.-type 5,00

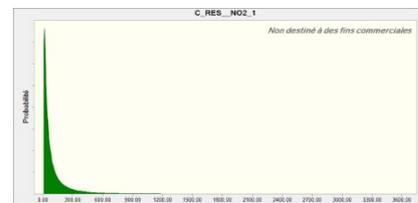


Hypothèse: C_RES_NO2_1

Cellule : K4

Log-normale loi comportant des paramètres :

Position 5,00
Moyenne 132,00
Ec.-type 317,00



Hypothèse: C_RES_NO2_24

Cellule : K5

Log-normale loi comportant des paramètres :

Position 0,00
Moyenne 15,00
Ec.-type 34,00

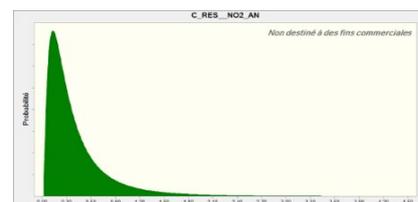


Hypothèse: C_RES_NO2_AN

Cellule : K6

Log-normale loi comportant des paramètres :

Position 0,00
Moyenne 0,43
Ec.-type 0,47

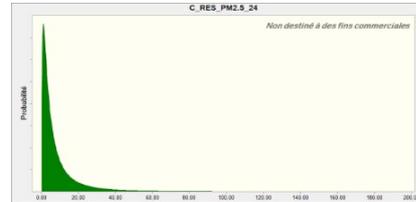


Hypothèse: C_RES_PM2.5_24

Cellule : K7

Log-normale loi comportant des paramètres :

Position 0,00
 Moyenne 9,72
 Ec.-type 17,72

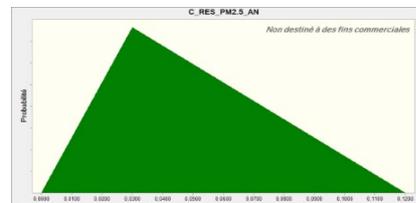


Hypothèse: C_RES_PM2.5_AN

Cellule : K8

Triangulaire loi comportant des paramètres :

Minimum 0,0000
 Plus probable 0,0300
 Maximum 0,1200

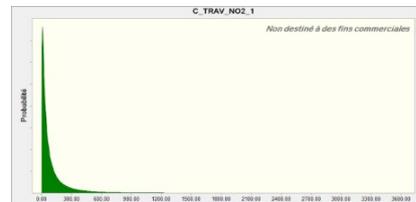


Hypothèse: C_TRAV_NO2_1

Cellule : I4

Log-normale loi comportant des paramètres :

Position 0,00
 Moyenne 132,00
 Ec.-type 317,00

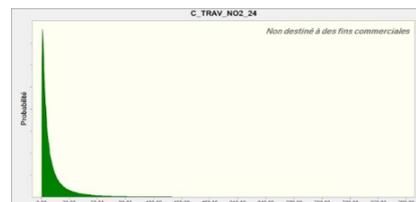


Hypothèse: C_TRAV_NO2_24

Cellule : I5

Log-normale loi comportant des paramètres :

Position 0,00
 Moyenne 15,00
 Ec.-type 34,00

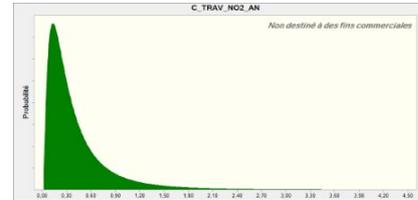


Hypothèse: C_TRAV_NO2_AN

Cellule : I6

Log-normale loi comportant des paramètres :

Position 0,00
Moyenne 0,43
Ec.-type 0,47

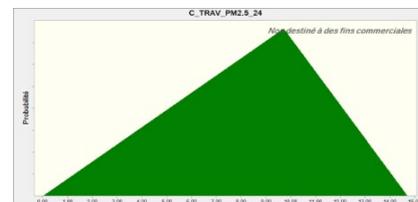


Hypothèse: C_TRAV_PM2.5_24

Cellule : I7

Triangulaire loi comportant des paramètres :

Minimum 0,03
Plus probable 9,72
Maximum 14,70

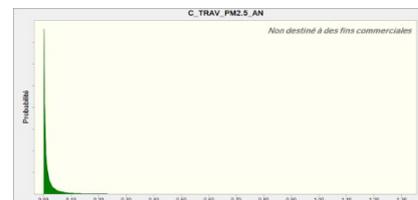


Hypothèse: C_TRAV_PM2.5_AN

Cellule : I8

Log-normale loi comportant des paramètres :

Position 0,00
Moyenne 0,03
Ec.-type 0,12



Hypothèse: EX_RES_NO2_1

Cellule : O4

Log-normale loi comportant des paramètres :

Position 0,00
Moyenne 90,00
Ec.-type 218,00

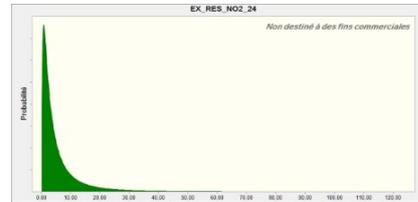


Hypothèse: EX_RES_NO2_24

Cellule : O5

Log-normale loi comportant des paramètres :

Position 0,00
 Moyenne 6,50
 Ec.-type 11,30

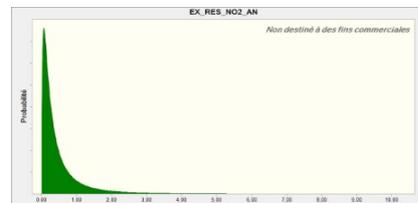


Hypothèse: EX_RES_NO2_AN

Cellule : O6

Log-normale loi comportant des paramètres :

Position 0,00
 Moyenne 0,56
 Ec.-type 0,95

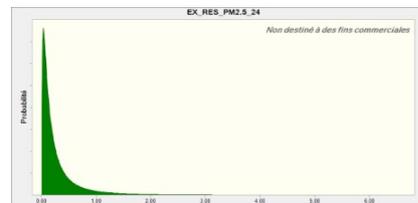


Hypothèse: EX_RES_PM2.5_24

Cellule : O7

Log-normale loi comportant des paramètres :

Position 0,00
 Moyenne 0,33
 Ec.-type 0,60

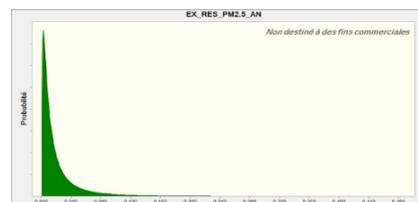


Hypothèse: EX_RES_PM2.5_AN

Cellule : O8

Log-normale loi comportant des paramètres :

Position 0,000
 Moyenne 0,024
 Ec.-type 0,044

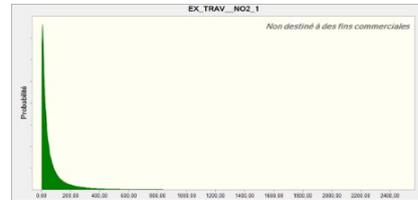


Hypothèse: EX_TRAV_NO2_1

Cellule : M4

Log-normale loi comportant des paramètres :

Position 0,00
 Moyenne 90,00
 Ec.-type 218,00

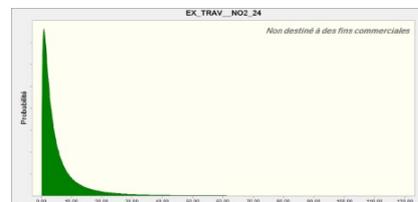


Hypothèse: EX_TRAV_NO2_24

Cellule : M5

Log-normale loi comportant des paramètres :

Position 0,00
 Moyenne 6,50
 Ec.-type 11,00

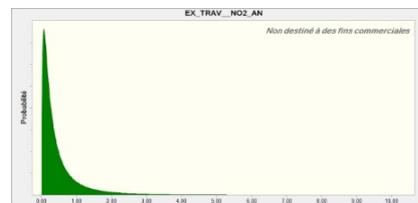


Hypothèse: EX_TRAV_NO2_AN

Cellule : M6

Log-normale loi comportant des paramètres :

Position 0,00
 Moyenne 0,56
 Ec.-type 0,95

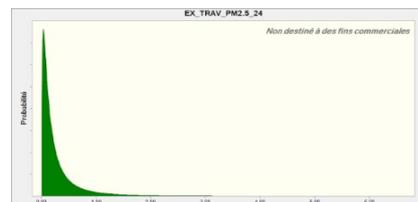


Hypothèse: EX_TRAV_PM2.5_24

Cellule : M7

Log-normale loi comportant des paramètres :

Position 0,00
 Moyenne 0,33
 Ec.-type 0,60

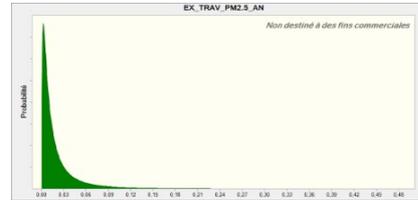


Hypothèse: EX_TRAV_PM2.5_AN

Cellule : M8

Log-normale loi comportant des paramètres :

Position 0,00
 Moyenne 0,02
 Ec.-type 0,04

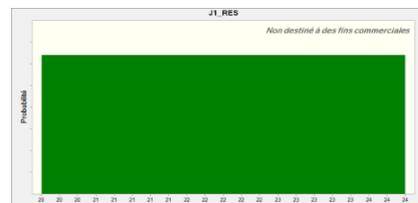


Hypothèse: J1_RES

Cellule : D22

Uniforme loi comportant des paramètres :

Minimum 20
 Maximum 24

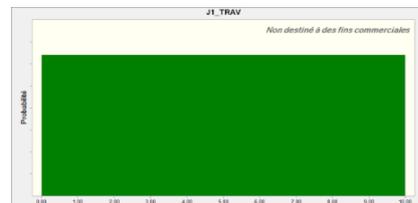


Hypothèse: J1_TRAV

Cellule : I22

Uniforme loi comportant des paramètres :

Minimum 0,00
 Maximum 10,00



Hypothèse: J1_TRAV_BDF

Cellule : G22

Uniforme loi comportant des paramètres :

Minimum 20
 Maximum 24

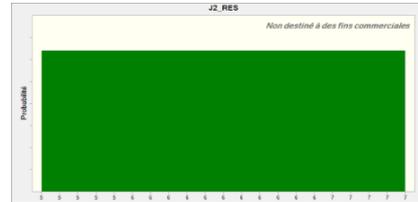


Hypothèse: J2_RES

Cellule : D23

Uniforme loi comportant des paramètres :

Minimum 5
Maximum 7

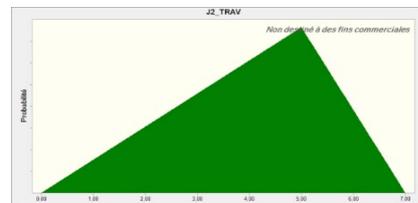


Hypothèse: J2_TRAV

Cellule : I23

Triangulaire loi comportant des paramètres :

Minimum 0,00
Plus probable 5,00
Maximum 7,00



Hypothèse: J2_TRAV_BDF

Cellule : G23

Uniforme loi comportant des paramètres :

Minimum 5
Maximum 7



Hypothèse: J3_RES

Cellule : D24

Uniforme loi comportant des paramètres :

Minimum 48
Maximum 52

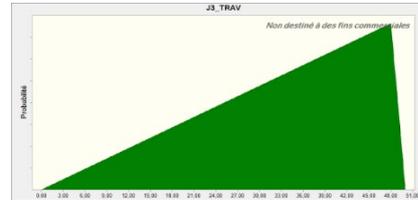


Hypothèse: J3_TRAV

Cellule : I24

Triangulaire loi comportant des paramètres :

Minimum	0,00
Plus probable	48,00
Maximum	50,00

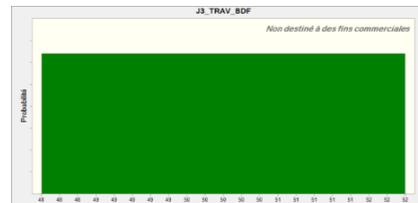


Hypothèse: J3_TRAV_BDF

Cellule : G24

Uniforme loi comportant des paramètres :

Minimum	48
Maximum	52

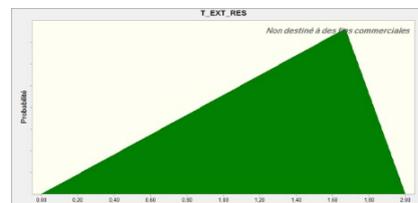


Hypothèse: T_EXT_RES

Cellule : D20

Triangulaire loi comportant des paramètres :

Minimum	0,00
Plus probable	1,67
Maximum	2,00

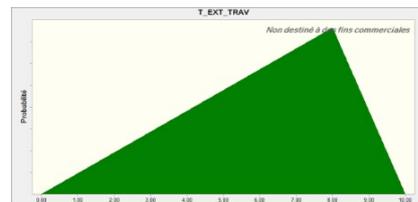


Hypothèse: T_EXT_TRAV

Cellule : I20

Triangulaire loi comportant des paramètres :

Minimum	0,00
Plus probable	8,00
Maximum	10,00

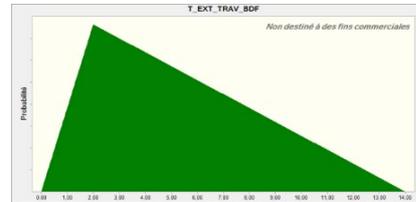


Hypothèse: T_EXT_TRAV_BDF

Cellule : G20

Triangulaire loi comportant des paramètres :

Minimum 0,00
 Plus probable 2,00
 Maximum 14,00

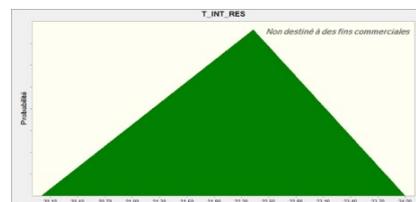


Hypothèse: T_INT_RES

Cellule : D19

Triangulaire loi comportant des paramètres :

Minimum 20,00
 Plus probable 22,33
 Maximum 24,00

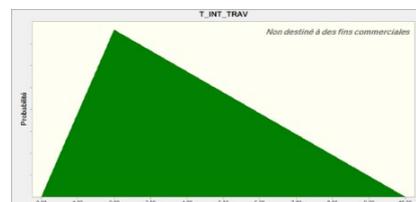


Hypothèse: T_INT_TRAV

Cellule : I19

Triangulaire loi comportant des paramètres :

Minimum 0,00
 Plus probable 2,00
 Maximum 10,00

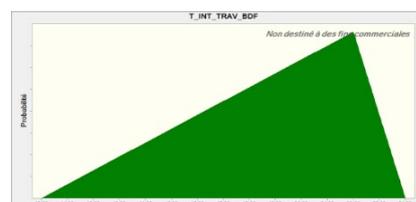


Hypothèse: T_INT_TRAV_BDF

Cellule : G19

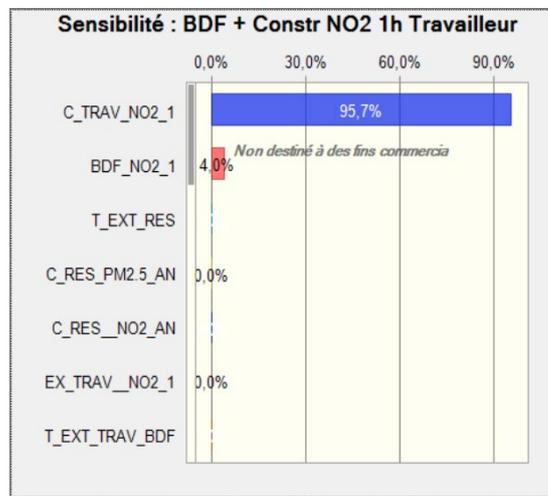
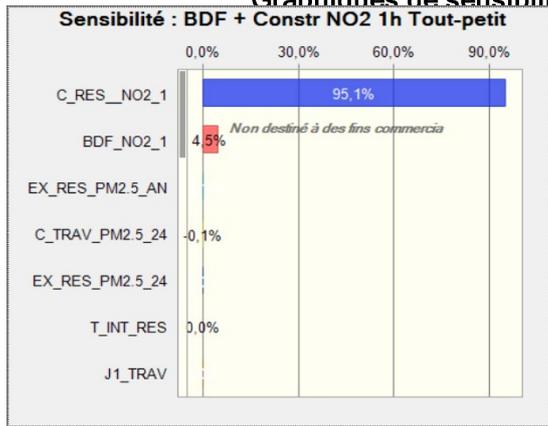
Triangulaire loi comportant des paramètres :

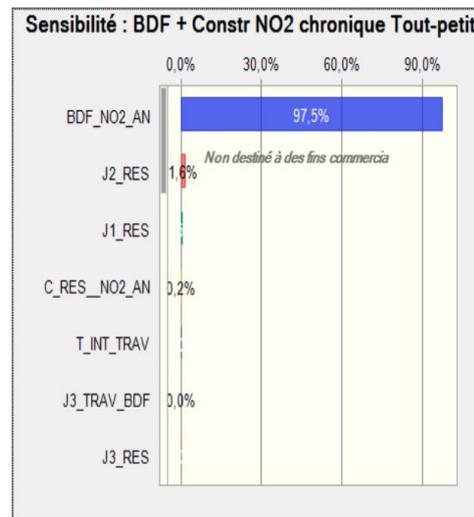
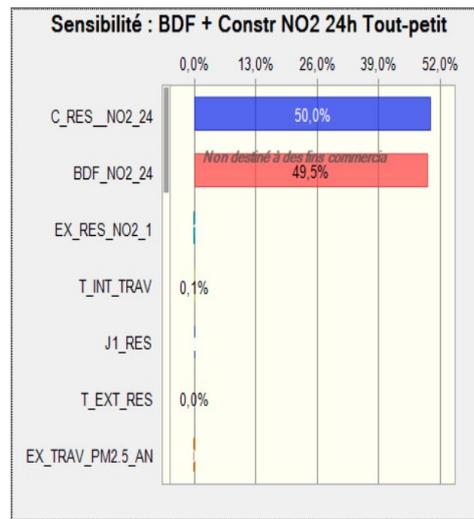
Minimum 10,00
 Plus probable 22,00
 Maximum 24,00

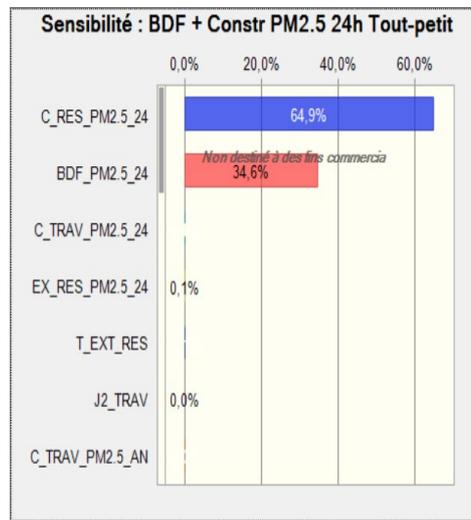
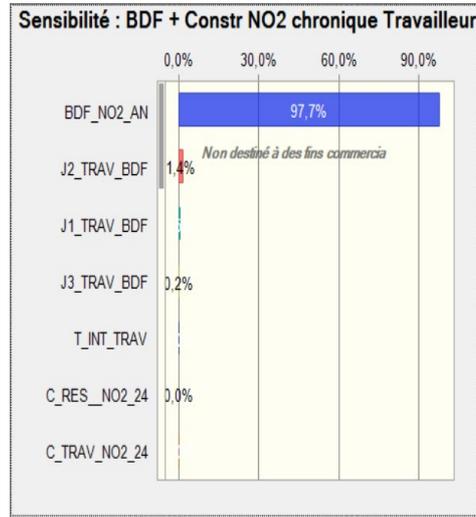


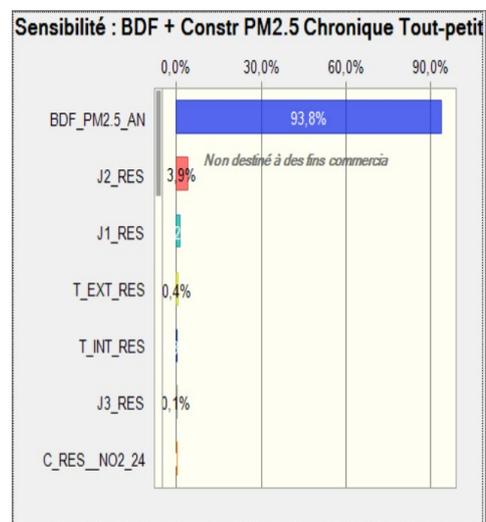
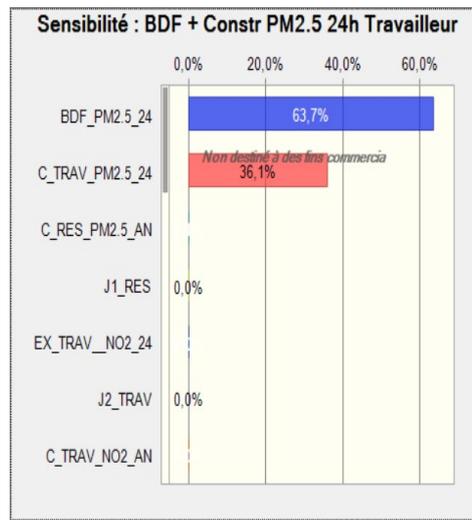
Fin des hypothèses

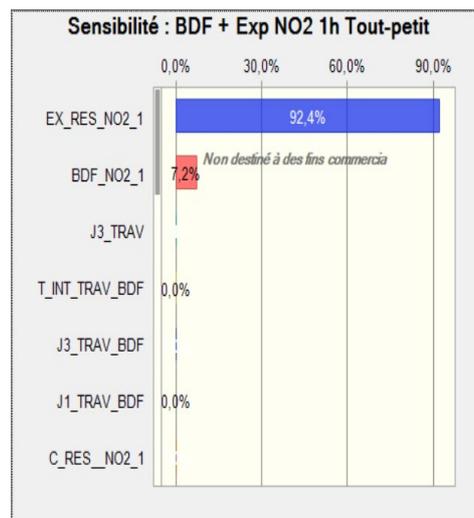
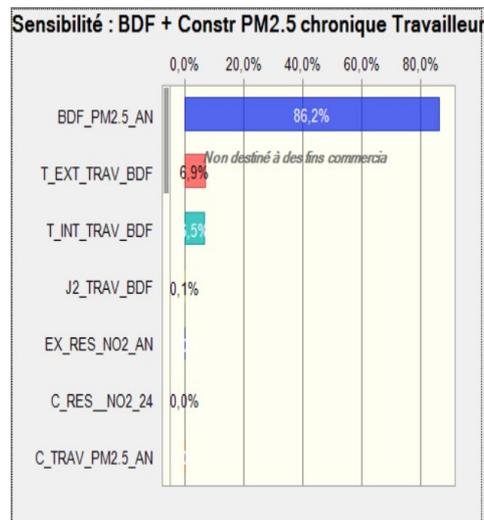
Graphiques de sensibilité

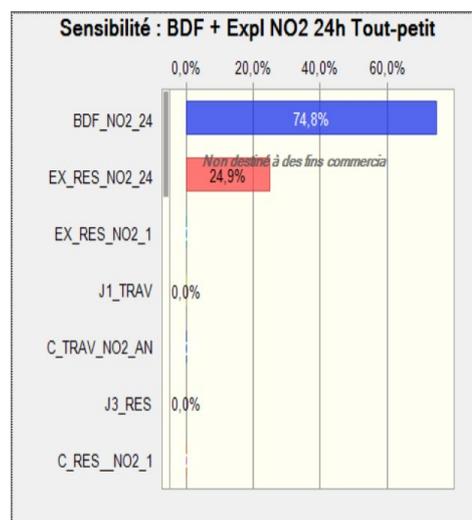
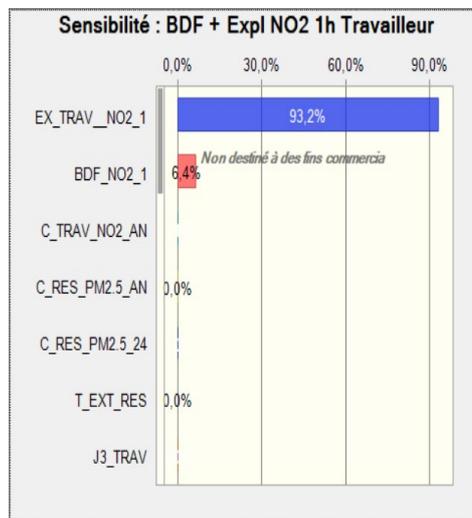


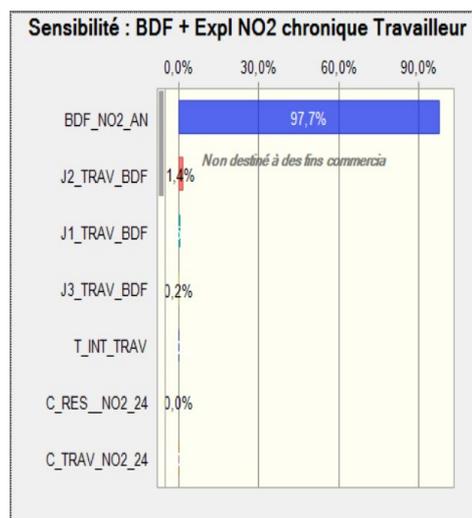
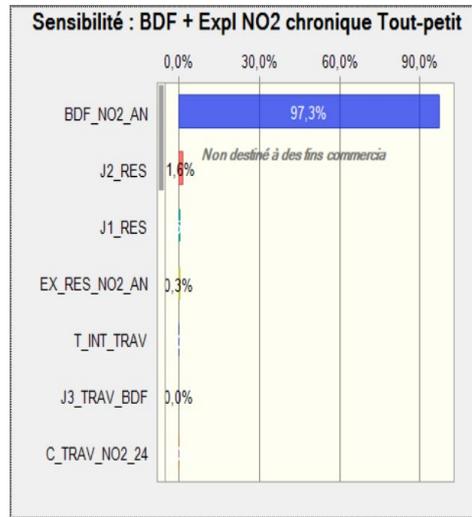


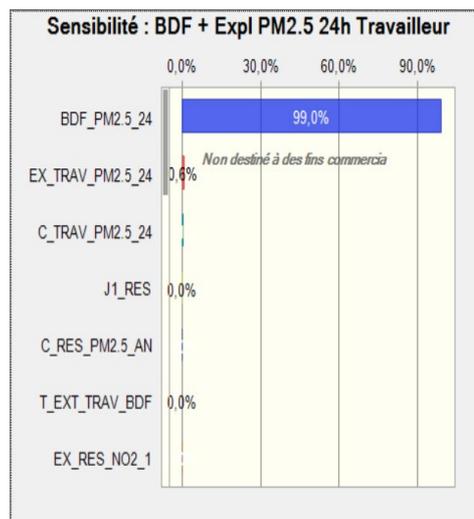
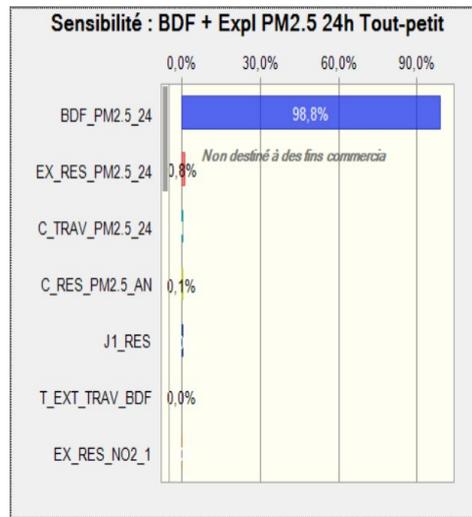


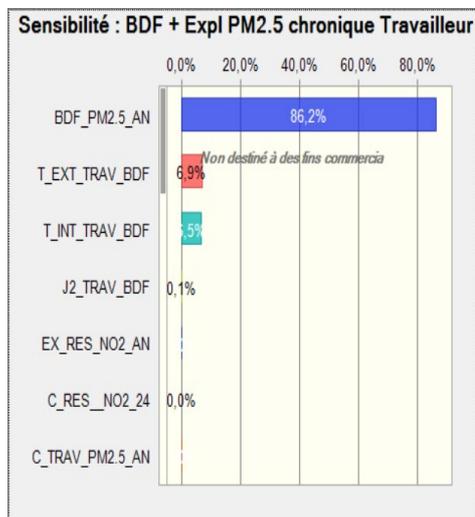
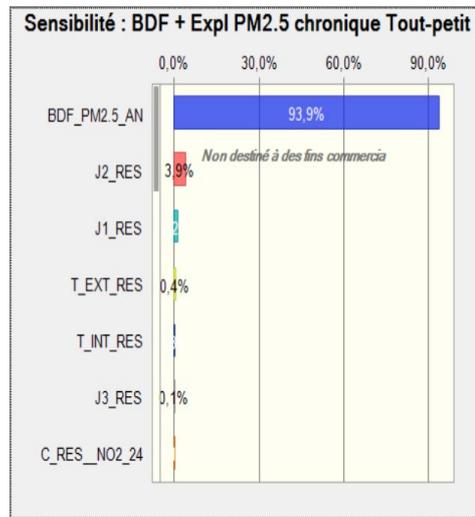


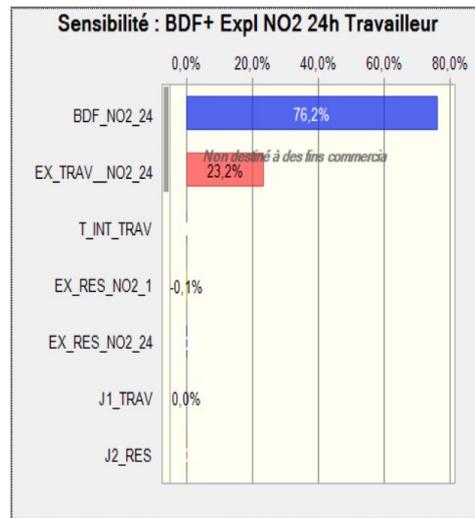
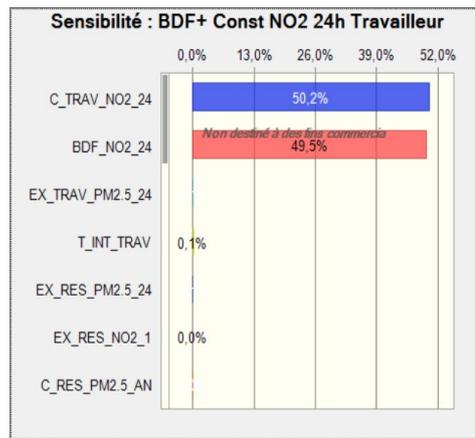


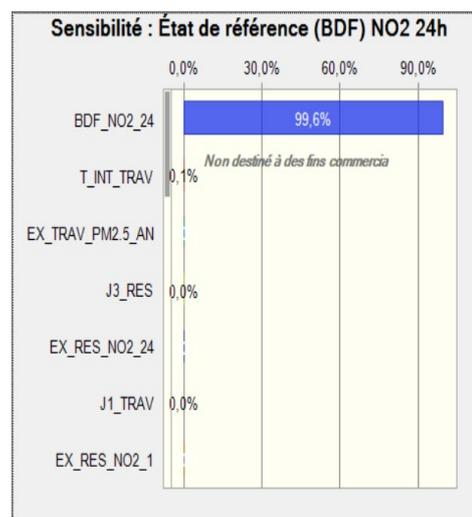
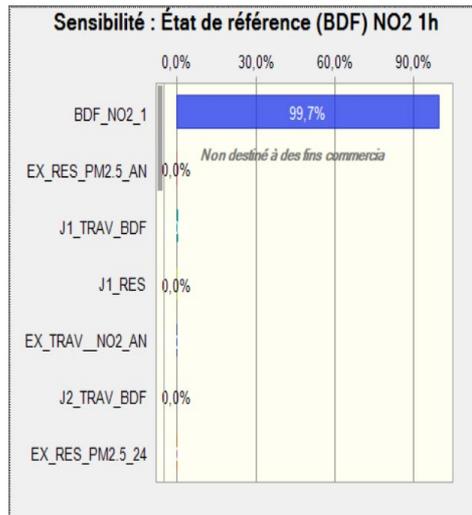


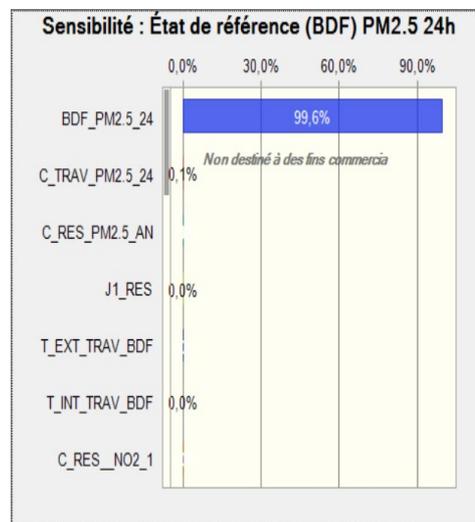
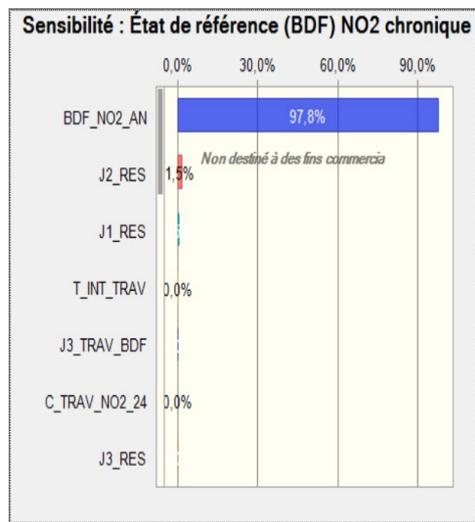


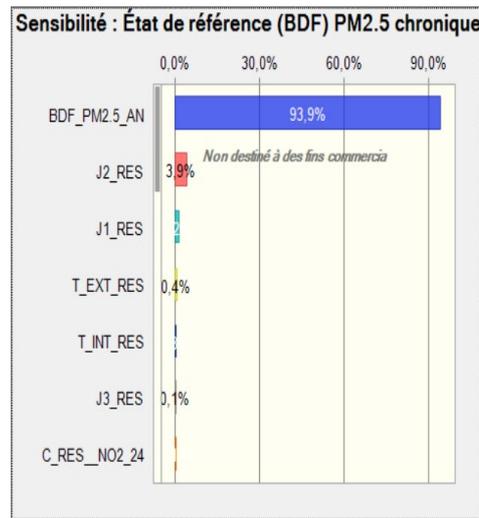












Annexe 3 : Simulations Monte-Carlo – Résultats bruts – Approche épidémiologique

Statistiques	Incidence de Mortalité - NO2 24 h (aigue) - Construction	Incidence de Mortalité - NO2 24 h (aigue) - Exploitation	Incidence d'hospitalisation - NO2 24 h (aigue) - Construction	Incidence d'hospitalisation - NO2 24 h (aigue) - Exploitation	Incidence - Hospitalisation (troubles card.) - PM2.5 - Construction	Incidence - Hospitalisation (troubles card.) - PM2.5 - Construction (I32)	Incidence - Hospitalisation (troubles resp.) - PM2.5 - Construction	Incidence - Hospitalisation (troubles resp.) - PM2.5 - Exploitation	Incidence Mortalité cardiopulmonaire (chronique) - Construction	Incidence Mortalité cardiopulmonaire (chronique) - Exploitation	Mortalité quotidienne (exposition aigue) - PM2.5 - Construction	Mortalité quotidienne (exposition aigue) - PM2.5 - Exploitation
Tirages	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
Cas de base	2,12E+01	3,50E+00	7,87E+01	1,30E+01	5,99E-02	2,07E-03	1,81E-01	6,23E-03	1,54E+00	4,97E-01	1,72E-01	5,93E-03
Moyenne	2,04E+00	4,60E-01	4,40E+00	1,01E+00	9,95E-03	3,37E-04	2,93E-02	9,90E-04	5,36E-02	4,45E-02	2,87E-02	9,72E-04
Médiane	8,53E-01	1,93E-01	1,65E+00	3,79E-01	5,44E-03	1,61E-04	1,76E-02	4,81E-04	1,69E-02	1,28E-02	1,59E-02	4,71E-04
Mode	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Ecart-type	4,57E+00	9,90E-01	1,01E+01	2,79E+00	1,45E-02	6,23E-04	4,27E-02	1,85E-03	1,90E-01	7,07E-02	4,16E-02	1,85E-03
Variance	2,08E+01	9,81E-01	1,02E+02	7,76E+00	2,11E-04	3,88E-07	1,83E-03	3,42E-06	3,60E-02	5,00E-03	1,73E-03	3,43E-06
Asymétrie	15,20	9,92	10,21	17,57	5,30	9,08	5,54	11,76	18,57	5,48	5,64	13,39
Aplatissement	463,48	165,10	186,94	531,24	51,87	155,19	58,77	323,72	561,40	51,20	60,23	410,40
Coef. de variation	2,24	2,15	2,30	2,75	1,46	1,85	1,46	1,87	3,54	1,59	1,45	1,90
Minimum	9,83E-03	1,37E-03	7,13E-03	1,35E-03	6,02E-05	1,50E-06	1,57E-04	5,40E-06	1,50E-05	1,71E-04	2,08E-04	4,88E-06
Maximum	1,98E+02	2,64E+01	3,13E+02	1,20E+02	2,63E-01	1,75E-02	8,69E-01	7,60E-02	7,52E+00	1,28E+00	8,66E-01	8,07E-02
Etendue	1,98E+02	2,64E+01	3,13E+02	1,20E+02	2,63E-01	1,75E-02	8,69E-01	7,59E-02	7,52E+00	1,28E+00	8,66E-01	8,06E-02
Erreur standard de la moyenne	4,57E-02	9,90E-03	1,01E-01	2,79E-02	1,45E-04	6,23E-06	4,27E-04	1,85E-05	1,90E-03	7,07E-04	4,16E-04	1,85E-05
Ratio valeur déterministe (cas de base) / médiane	24,8	18,1	47,5	34,3	11,0	12,8	11,3	12,9	114,2	21,8	10,8	12,6

Tous les scénarios

n 12,0

Écart-moyen 27,7

Minimum 10,8

Maximum 114,2

Fractiles	Incidence de Mortalité - NO2 24 h (aigue) - Construction	Incidence de Mortalité - NO2 24 h (aigue) - Exploitation	Incidence d'hospitalisation - NO2 24 h (aigue) - Construction	Incidence d'hospitalisation - NO2 24 h (aigue) - Exploitation	Incidence - Hospitalisation (troubles card.) - PM2.5 - Construction	Incidence - Hospitalisation (troubles card.) - PM2.5 - Construction (I32)	Incidence - Hospitalisation (troubles resp.) - PM2.5 - Construction	Incidence - Hospitalisation (troubles resp.) - PM2.5 - Exploitation	Incidence Mortalité cardiopulmonaire (chronique) - Construction	Incidence Mortalité cardiopulmonaire (chronique) - Exploitation	Mortalité quotidienne (exposition aigue) - PM2.5 - Construction	Mortalité quotidienne (exposition aigue) - PM2.5 - Exploitation
0%	9,83E-03	1,37E-03	7,13E-03	1,35E-03	6,02E-05	1,50E-06	1,57E-04	5,40E-06	1,50E-05	1,71E-04	2,08E-04	4,88E-06
5%	1,04E-01	2,50E-02	1,45E-01	3,47E-02	8,74E-04	2,04E-05	2,62E-03	6,11E-05	8,11E-04	3,28E-03	2,58E-03	6,04E-05
10%	1,63E-01	3,85E-02	2,51E-01	5,69E-02	1,31E-03	3,32E-05	3,87E-03	9,92E-05	1,49E-03	5,13E-03	3,88E-03	9,78E-05
15%	2,25E-01	5,14E-02	3,64E-01	8,32E-02	1,70E-03	4,46E-05	5,15E-03	1,34E-04	2,29E-03	6,79E-03	5,10E-03	1,33E-04
20%	2,88E-01	6,60E-02	4,84E-01	1,09E-01	2,13E-03	5,73E-05	6,35E-03	1,69E-04	3,16E-03	8,55E-03	6,31E-03	1,68E-04
25%	3,59E-01	8,20E-02	6,21E-01	1,40E-01	2,55E-03	6,96E-05	7,68E-03	2,07E-04	4,14E-03	1,03E-02	7,47E-03	2,08E-04
30%	4,36E-01	9,86E-02	7,68E-01	1,74E-01	3,01E-03	8,44E-05	9,11E-03	2,51E-04	5,52E-03	1,23E-02	8,86E-03	2,50E-04
35%	5,24E-01	1,18E-01	9,49E-01	2,18E-01	3,51E-03	1,01E-04	1,06E-02	3,00E-04	7,02E-03	1,44E-02	1,04E-02	2,99E-04
40%	6,17E-01	1,40E-01	1,15E+00	2,65E-01	4,07E-03	1,18E-04	1,21E-02	3,52E-04	8,72E-03	1,67E-02	1,19E-02	3,50E-04
45%	7,25E-01	1,65E-01	1,40E+00	3,16E-01	4,70E-03	1,39E-04	1,39E-02	4,09E-04	1,08E-02	1,94E-02	1,37E-02	4,07E-04
50%	8,53E-01	1,93E-01	1,65E+00	3,79E-01	5,44E-03	1,61E-04	1,60E-02	4,81E-04	1,35E-02	2,28E-02	1,59E-02	4,71E-04
55%	1,01E+00	2,27E-01	1,98E+00	4,50E-01	6,22E-03	1,88E-04	1,85E-02	5,62E-04	1,68E-02	2,61E-02	1,83E-02	5,47E-04
60%	1,20E+00	2,73E-01	2,37E+00	5,38E-01	7,14E-03	2,20E-04	2,14E-02	6,51E-04	2,07E-02	3,02E-02	2,11E-02	6,37E-04
65%	1,42E+00	3,27E-01	2,85E+00	6,41E-01	8,25E-03	2,59E-04	2,47E-02	7,67E-04	2,54E-02	3,52E-02	2,42E-02	7,53E-04
70%	1,72E+00	3,87E-01	3,50E+00	7,87E-01	9,61E-03	3,04E-04	2,86E-02	9,02E-04	3,25E-02	4,16E-02	2,84E-02	8,79E-04
75%	2,05E+00	4,68E-01	4,30E+00	9,63E-01	1,15E-02	3,66E-04	3,35E-02	1,07E-03	4,14E-02	4,92E-02	3,32E-02	1,06E-03
80%	2,54E+00	5,81E-01	5,41E+00	1,21E+00	1,38E-02	4,50E-04	4,05E-02	1,32E-03	5,41E-02	5,99E-02	3,99E-02	1,29E-03
85%	3,36E+00	7,53E-01	7,05E+00	1,72E+00	1,72E-02	5,64E-04	5,04E-02	1,65E-03	7,59E-02	7,56E-02	4,92E-02	1,64E-03
90%	4,69	1,02	10,06	2,27	0,02	0,00	0,07	0,00	0,11	0,10	0,07	0,00
95%	7,47	1,62	16,64	3,73	0,03	0,00	0,10	0,00	0,21	0,16	0,10	0,00
96%	45,60	6,57	75,87	26,99	0,08	0,00	0,25	0,02	1,67	0,38	0,25	0,02
97%	83,73	11,53	135,11	50,25	0,13	0,01	0,41	0,03	3,13	0,61	0,40	0,03
98%	121,87	16,49	194,34	73,51	0,17	0,01	0,56	0,05	4,59	0,83	0,56	0,05
99%	160,00	21,45	253,58	96,77	0,22	0,01	0,71	0,06	6,06	1,06	0,71	0,07
100%	198,13	26,41	312,81	120,04	0,26	0,02	0,87	0,08	7,52	1,28	0,87	0,08

Données de sensibilité

Hypothèses	Incidence de Mortalité - NO2 24 h (aigue) - Construction	Incidence de Mortalité - NO2 24 h (aigue) - Exploitation	Incidence d'hospitalisation - NO2 24 h (aigue) - Construction	Incidence d'hospitalisation - NO2 24 h (aigue) - Exploitation	Incidence - Hospitalisation (troubles card.) - PM2.5 - Construction	Incidence - Hospitalisation (troubles card.) - PM2.5 - Construction (I32)	Incidence - Hospitalisation (troubles resp.) - PM2.5 - Construction	Incidence - Hospitalisation (troubles resp.) - PM2.5 - Exploitation	Incidence Mortalité cardiopulmonaire (chronique) - Construction	Incidence Mortalité cardiopulmonaire (chronique) - Exploitation	Mortalité quotidienne (exposition aigue) - PM2.5 - Construction	Mortalité quotidienne (exposition aigue) - PM2.5 - Exploitation
Concentration maximale modélisée NO2 (aigue) - Construction	99%	0%	88%	0%	-2%	0%	-3%	-1%	0%	-2%	-2%	-1%
Concentration maximale modélisée NO2 (aigue) - Exploitation	0%	99%	1%	88%	1%	0%	1%	0%	-2%	0%	1%	0%
Concentration_critiques__20_30_ppb	0%	1%	-8%	-7%	0%	-1%	0%	-1%	1%	0%	0%	-1%
Risque accrue de mortalité NO2 (aigue) - Construction	16%	16%	1%	0%	1%	0%	1%	1%	1%	2%	1%	0%
Risque accrue de mortalité NO2 (aigue) - Construction (I24)	0%	1%	43%	43%	0%	-2%	0%	-2%	2%	0%	0%	-2%
Concentration BDF - PM2.5 An	1%	-1%	1%	-1%	0%	0%	0%	0%	1%	1%	0%	0%
Concentration BDF PM2.5 24 h (RAA)	1%	0%	1%	0%	0%	0%	1%	0%	-1%	-1%	0%	1%
Concentration maximale modélisée PM2.5 24 h - Construction	-2%	1%	-2%	1%	98%	-1%	99%	-1%	0%	-2%	99%	-1%
Concentration maximale modélisée PM2.5 24 h - Exploitation	0%	0%	-1%	0%	-1%	98%	-1%	99%	0%	-2%	-1%	100%
Concentration modélisée PM 2.5 An - Construction	1%	-2%	1%	-2%	0%	0%	0%	1%	99%	2%	0%	0%
Concentration modélisée PM 2.5 An - Exploitation	-1%	0%	-1%	0%	-1%	-2%	-1%	-2%	2%	-2%	98%	-2%
Taux de mortalité (chronique) - PM2.5 par 10 ug/m3	-2%	-1%	-2%	-1%	-1%	1%	-1%	1%	13%	20%	0%	1%
Taux d'hospitalisation - Troubles cardiaques (Aigue) - PM2.5 par 10 ug/m3	0%	1%	0%	0%	17%	17%	-1%	0%	0%	1%	-1%	0%
Taux d'hospitalisation - Troubles respiratoires (Aigue) - PM2.5 par 10 ug/m3	-3%	1%	-3%	0%	2%	2%	13%	12%	1%	0%	1%	1%
Taux d'incidence - Mortalité (Aigue) - PM2.5 par 10 ug/m3	0%	0%	0%	1%	-2%	0%	-1%	0%	1%	-2%	8%	8%

Rapport Crystal Ball - Complet

Simulation démarrée le 19/02/2021 à 14:49

Simulation arrêtée le 19/02/2021 à 14:50

Préférences d'exécution :

Nombre d'exécutions de tirage	10 000
Monte Carlo	
Valeur de départ	999
Contrôle de précision dans	
Niveau de confiance	95,00%

Statistiques d'exécution :

Temps d'exécution total (s)	15,28
Tirages/seconde (moyenne)	655
Nombres aléatoires par secon	9 820

Données Crystal Ball :

Hypothèses	15
Corrélations	0
Matrices de corrélation	0
Variables de décision	0
Prévisions	12

Prévisions

Feuille de calcul : [220358_Monte-Carlo- Approche épidémiologique.xlsx]NO2 (max)

Prévision: Incidence de Mortalité - NO2 24 h (aigue) - Construction

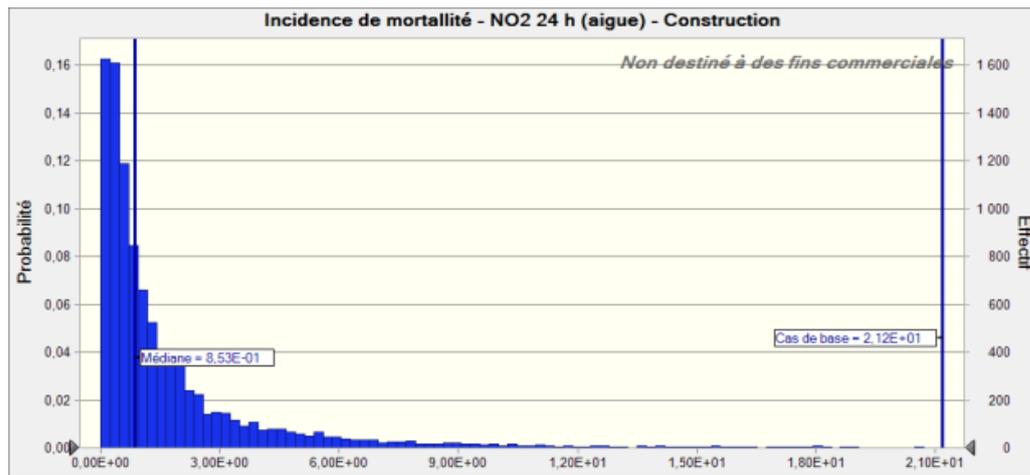
Cellule : I10

Récapitulatif :

La plage entière est comprise entre 9,83E-03 et 1,98E+02

Le cas de base est 2,12E+01

Après 10 000 tirages, l'erreur standard de la moyenne est 4,57E-02



Statistiques :	Valeurs de prévision
Tirages	10 000
Cas de base	2,12E+01
Moyenne	2,04E+00
Médiane	8,53E-01
Mode	---
Ecart-type	4,57E+00
Variance	2,08E+01
Asymétrie	15,20
Aplatissement	463,48
Coeff. de variation	2,24
Minimum	9,83E-03
Maximum	1,98E+02
Etendue	1,98E+02
Erreur standard de la moyenne	4,57E-02

Prévision: Incidence de Mortalité - NO2 24 h (aigue) - Construction suite

Cellule : I10

Fractiles :	Valeurs de prévision
0%	9,83E-03
10%	1,63E-01
20%	2,88E-01
30%	4,36E-01
40%	6,17E-01
50%	8,53E-01
60%	1,20E+00
70%	1,72E+00
80%	2,54E+00
90%	4,69E+00
100%	1,98E+02

Prévision: Incidence de Mortalité - NO2 24 h (aigue) - Exploitation

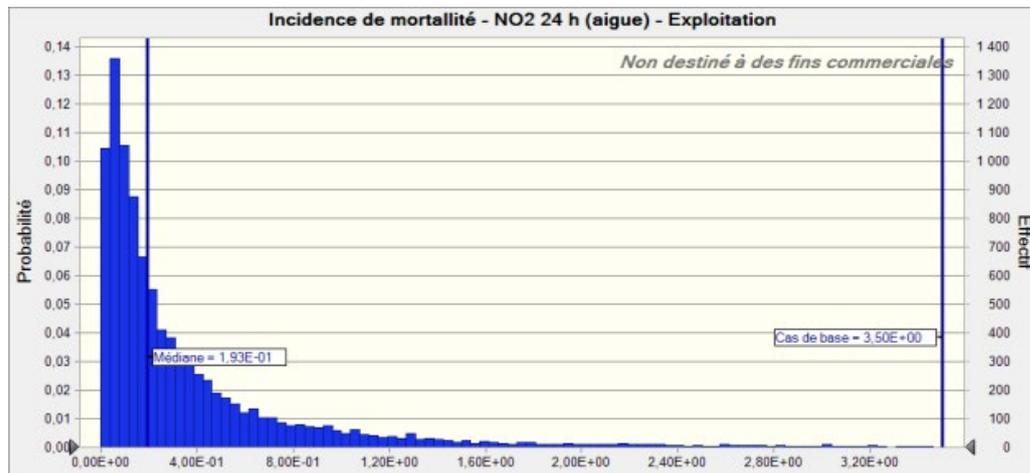
Cellule : I16

Récapitulatif :

La plage entière est comprise entre 1,37E-03 et 2,64E+01

Le cas de base est 3,50E+00

Après 10 000 tirages, l'erreur standard de la moyenne est 9,90E-03



Statistiques :	Valeurs de prévision
Tirages	10 000
Cas de base	3,50E+00
Moyenne	4,60E-01
Médiane	1,93E-01
Mode	---
Ecart-type	9,90E-01
Variance	9,81E-01
Asymétrie	9,92
Aplatissement	165,10
Coeff. de variation	2,15
Minimum	1,37E-03
Maximum	2,64E+01
Etendue	2,64E+01
Erreur standard de la moyenne	9,90E-03

Prévision: Incidence de Mortalité - NO2 24 h (aigue) - Exploitation suite

Cellule : I16

Fractiles :	Valeurs de prévision
0%	1,37E-03
10%	3,85E-02
20%	6,60E-02
30%	9,86E-02
40%	1,40E-01
50%	1,93E-01
60%	2,73E-01
70%	3,87E-01
80%	5,81E-01
90%	1,02E+00
100%	2,64E+01

Prévision: Incidence d'hospitalisation - NO2 24 h (aigue) - Construction

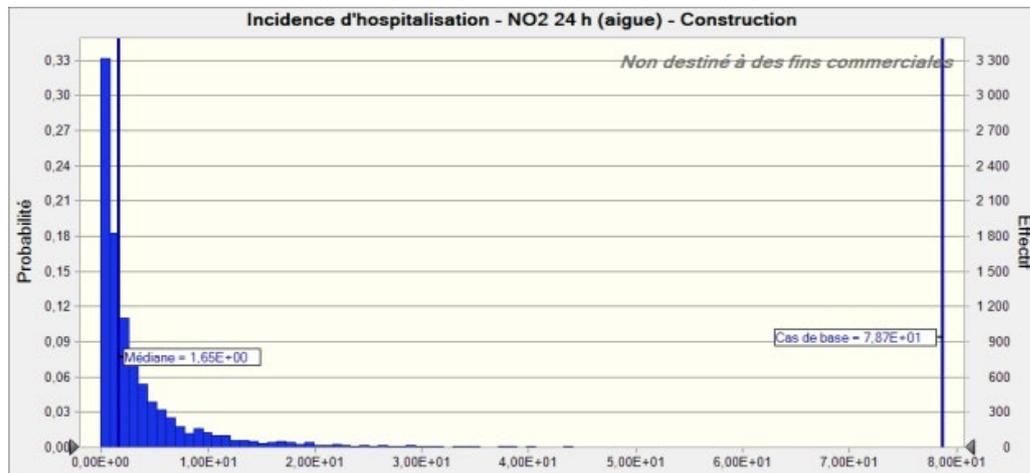
Cellule : I26

Récapitulatif :

La plage entière est comprise entre 7,13E-03 et 3,13E+02

Le cas de base est 7,87E+01

Après 10 000 tirages, l'erreur standard de la moyenne est 1,01E-01



Statistiques :

Valeurs de prévision

Tirages	10 000
Cas de base	7,87E+01
Moyenne	4,40E+00
Médiane	1,65E+00
Mode	---
Ecart-type	1,01E+01
Variance	1,02E+02
Asymétrie	10,21
Aplatissement	186,94
Coeff. de variation	2,30
Minimum	7,13E-03
Maximum	3,13E+02
Etendue	3,13E+02
Erreur standard de la moyenne	1,01E-01

Prévision: Incidence d'hospitalisation - NO2 24 h (aigue) - Construction suite

Cellule : I26

Fractiles :	Valeurs de prévision
0%	7,13E-03
10%	2,51E-01
20%	4,84E-01
30%	7,68E-01
40%	1,15E+00
50%	1,65E+00
60%	2,37E+00
70%	3,50E+00
80%	5,41E+00
90%	1,01E+01
100%	3,13E+02

Prévision: Incidence d'hospitalisation - NO2 24 h (aigue) - Exploitation

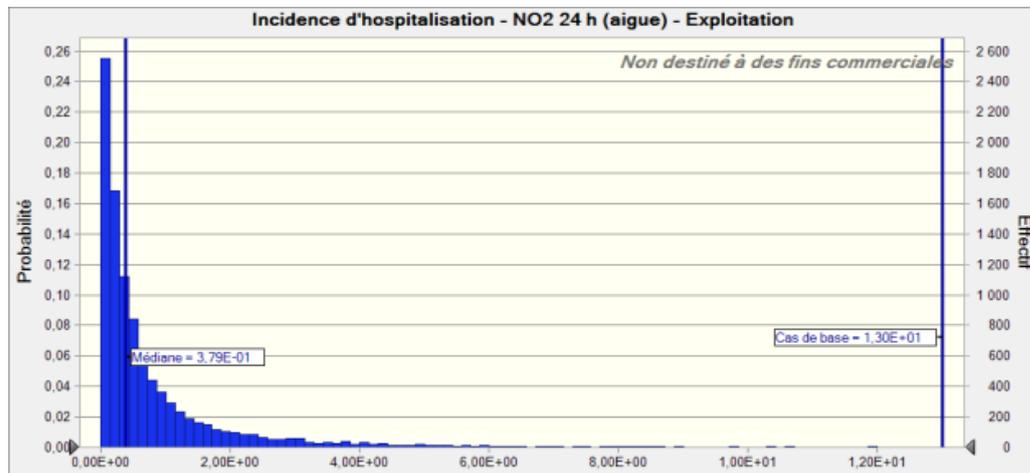
Cellule : I32

Récapitulatif :

La plage entière est comprise entre 1,35E-03 et 1,20E+02

Le cas de base est 1,30E+01

Après 10 000 tirages, l'erreur standard de la moyenne est 2,79E-02



Statistiques :

Valeurs de prévision

Tirages	10 000
Cas de base	1,30E+01
Moyenne	1,01E+00
Médiane	3,79E-01
Mode	---
Ecart-type	2,79E+00
Variance	7,76E+00
Asymétrie	17,57
Aplatissement	531,24
Coeff. de variation	2,75
Minimum	1,35E-03
Maximum	1,20E+02
Etendue	1,20E+02
Erreur standard de la moyenne	2,79E-02

Prévision: Incidence d'hospitalisation - NO2 24 h (aigue) - Exploitation suite

Cellule : I32

Fractiles :	Valeurs de prévision
0%	1,35E-03
10%	5,69E-02
20%	1,09E-01
30%	1,74E-01
40%	2,65E-01
50%	3,79E-01
60%	5,38E-01
70%	7,87E-01
80%	1,21E+00
90%	2,27E+00
100%	1,20E+02

Feuille de calcul : [220358_Monte-Carlo- Approche épidémiologique.xlsx]PM2.5 Construction (m

Prévision: Incidence - Hospitalisation (troubles card.) - PM2.5 - Construction

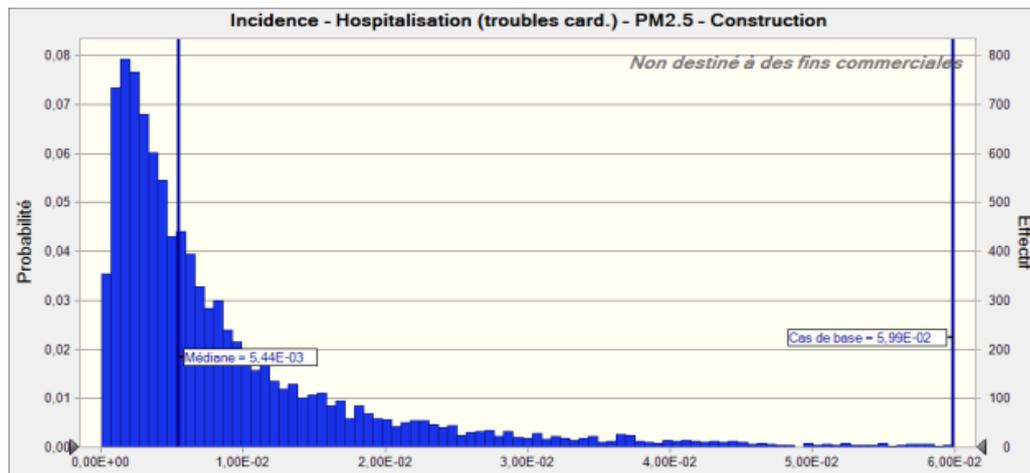
Cellule : I31

Récapitulatif :

La plage entière est comprise entre 6,02E-05 et 2,63E-01

Le cas de base est 5,99E-02

Après 10 000 tirages, l'erreur standard de la moyenne est 1,45E-04



Statistiques :

Valeurs de prévision

Tirages	10 000
Cas de base	5,99E-02
Moyenne	9,95E-03
Médiane	5,44E-03
Mode	---
Ecart-type	1,45E-02
Variance	2,11E-04
Asymétrie	5,30
Aplatissement	51,87
Coeff. de variation	1,46
Minimum	6,02E-05
Maximum	2,63E-01
Etendue	2,63E-01
Erreur standard de la moyenn	1,45E-04

Prévision: Incidence - Hospitalisation (troubles card.) - PM2.5 - Construction suite Cellule : I31

Fractiles :	Valeurs de prévision
0%	6,02E-05
10%	1,31E-03
20%	2,13E-03
30%	3,01E-03
40%	4,07E-03
50%	5,44E-03
60%	7,14E-03
70%	9,61E-03
80%	1,38E-02
90%	2,26E-02
100%	2,63E-01

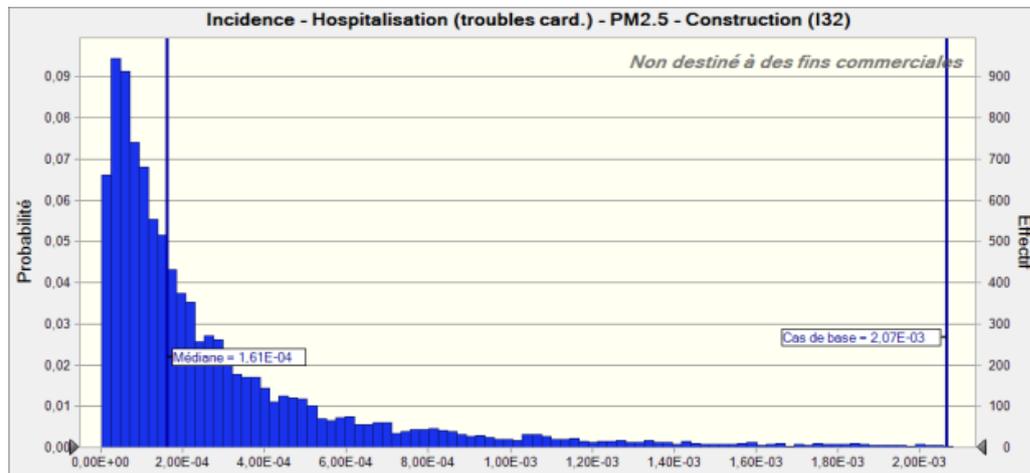
Prévision: Incidence - Hospitalisation (troubles card.) - PM2.5 - Construction (I32) Cellule : I32

Récapitulatif :

La plage entière est comprise entre 1,50E-06 et 1,75E-02

Le cas de base est 2,07E-03

Après 10 000 tirages, l'erreur standard de la moyenne est 6,23E-06



Statistiques :	Valeurs de prévision
Tirages	10 000
Cas de base	2,07E-03
Moyenne	3,37E-04
Médiane	1,61E-04
Mode	---
Ecart-type	6,23E-04
Variance	3,88E-07
Asymétrie	9,08
Aplatissement	155,19
Coeff. de variation	1,85
Minimum	1,50E-06
Maximum	1,75E-02
Etendue	1,75E-02
Erreur standard de la moyenne	6,23E-06

Prévision: Incidence - Hospitalisation (troubles card.) - PM2.5 - Construction (I32) suite Cellule : I32

Fractiles :	Valeurs de prévision
0%	1,50E-06
10%	3,32E-05
20%	5,73E-05
30%	8,44E-05
40%	1,18E-04
50%	1,61E-04
60%	2,20E-04
70%	3,04E-04
80%	4,50E-04
90%	7,70E-04
100%	1,75E-02

Prévision: Incidence - Hospitalisation (troubles resp.) - PM2.5 - Construction

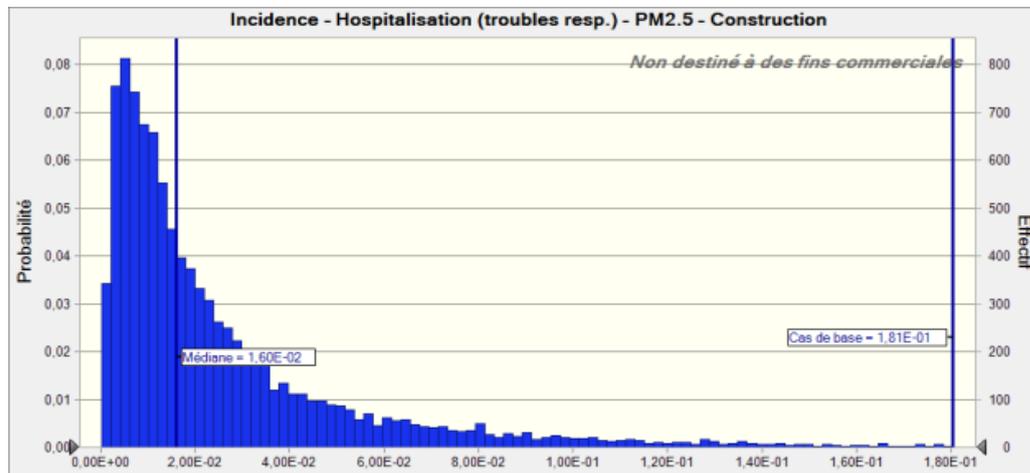
Cellule : I21

Récapitulatif :

La plage entière est comprise entre 1,57E-04 et 8,69E-01

Le cas de base est 1,81E-01

Après 10 000 tirages, l'erreur standard de la moyenne est 4,27E-04



Statistiques :

Valeurs de prévision

Tirages	10 000
Cas de base	1,81E-01
Moyenne	2,93E-02
Médiane	1,60E-02
Mode	---
Ecart-type	4,27E-02
Variance	1,83E-03
Asymétrie	5,54
Aplatissement	58,77
Coeff. de variation	1,46
Minimum	1,57E-04
Maximum	8,69E-01
Etendue	8,69E-01
Erreur standard de la moyenne	4,27E-04

Prévision: Incidence - Hospitalisation (troubles resp.) - PM2.5 - Construction suite Cellule : I21

Fractiles :	Valeurs de prévision
0%	1,57E-04
10%	3,87E-03
20%	6,35E-03
30%	9,11E-03
40%	1,21E-02
50%	1,60E-02
60%	2,14E-02
70%	2,86E-02
80%	4,05E-02
90%	6,65E-02
100%	8,69E-01

Prévision: Incidence - Hospitalisation (troubles resp.) - PM2.5 - Exploitation

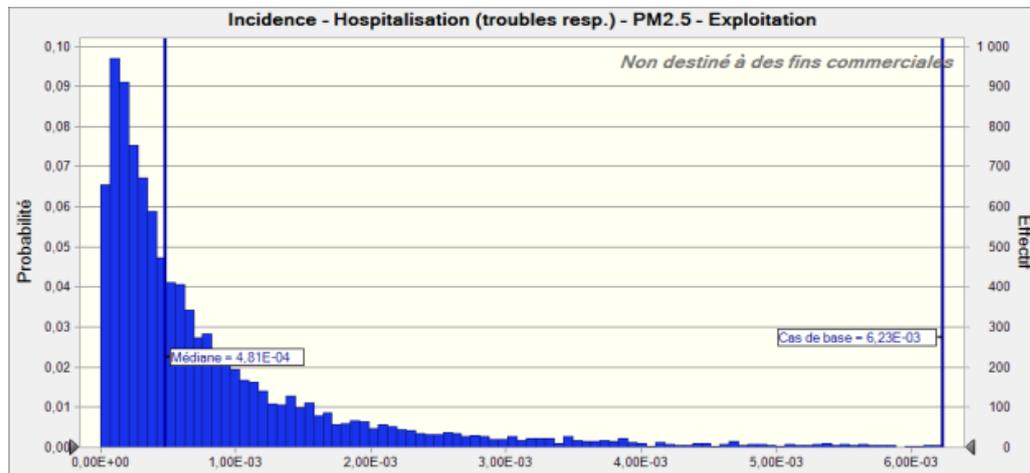
Cellule : I22

Récapitulatif :

La plage entière est comprise entre 5,40E-06 et 7,60E-02

Le cas de base est 6,23E-03

Après 10 000 tirages, l'erreur standard de la moyenne est 1,85E-05



Statistiques :

Valeurs de prévision

Tirages	10 000
Cas de base	6,23E-03
Moyenne	9,90E-04
Médiane	4,81E-04
Mode	---
Ecart-type	1,85E-03
Variance	3,42E-06
Asymétrie	11,76
Aplatissement	323,72
Coeff. de variation	1,87
Minimum	5,40E-06
Maximum	7,60E-02
Etendue	7,59E-02
Erreur standard de la moyenne	1,85E-05

Prévision: Incidence - Hospitalisation (troubles resp.) - PM2.5 - Exploitation suite Cellule : I22

Fractiles :	Valeurs de prévision
0%	5,40E-06
10%	9,92E-05
20%	1,69E-04
30%	2,51E-04
40%	3,52E-04
50%	4,81E-04
60%	6,51E-04
70%	9,02E-04
80%	1,32E-03
90%	2,22E-03
100%	7,60E-02

Prévision: Incidence Mortalité cardiopulmonaire (chronique) - Construction

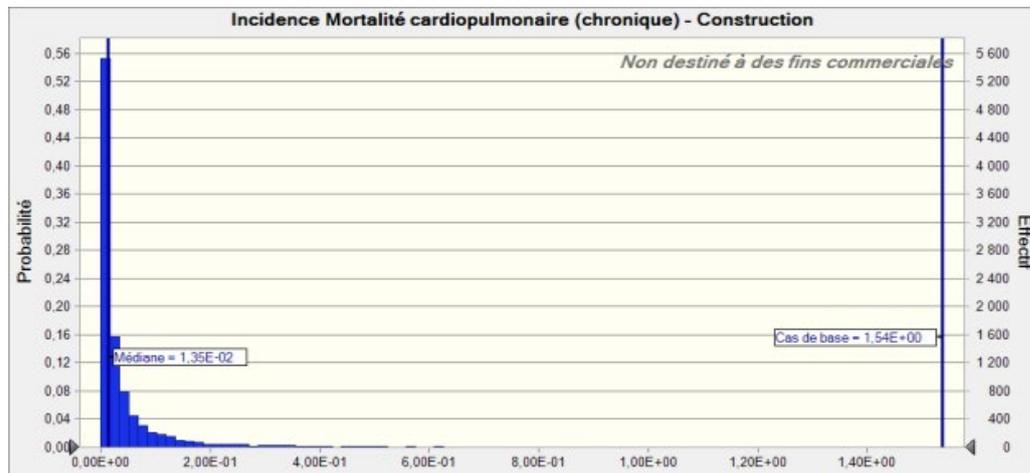
Cellule : I41

Récapitulatif :

La plage entière est comprise entre 1,50E-05 et 7,52E+00

Le cas de base est 1,54E+00

Après 10 000 tirages, l'erreur standard de la moyenne est 1,90E-03



Statistiques :

Valeurs de prévision

Tirages	10 000
Cas de base	1,54E+00
Moyenne	5,36E-02
Médiane	1,35E-02
Mode	---
Ecart-type	1,90E-01
Variance	3,60E-02
Asymétrie	18,57
Aplatissement	561,40
Coeff. de variation	3,54
Minimum	1,50E-05
Maximum	7,52E+00
Etendue	7,52E+00
Erreur standard de la moyenne	1,90E-03

Prévision: Incidence Mortalité cardiopulmonaire (chronique) - Construction suite Cellule : I41

Fractiles :	Valeurs de prévision
0%	1,50E-05
10%	1,49E-03
20%	3,16E-03
30%	5,52E-03
40%	8,72E-03
50%	1,35E-02
60%	2,07E-02
70%	3,25E-02
80%	5,41E-02
90%	1,14E-01
100%	7,52E+00

Prévision: Incidence Mortalité cardiopulmonaire (chronique) - Exploitation

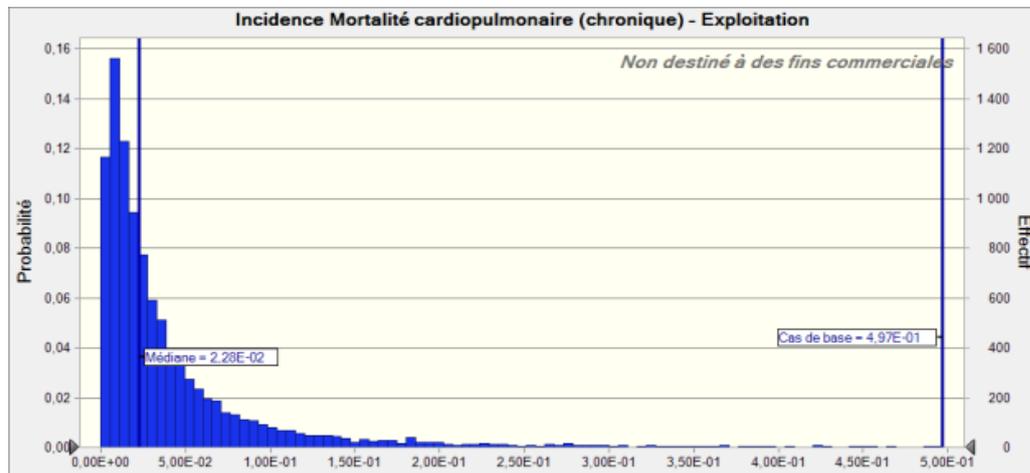
Cellule : I42

Récapitulatif :

La plage entière est comprise entre 1,71E-04 et 1,28E+00

Le cas de base est 4,97E-01

Après 10 000 tirages, l'erreur standard de la moyenne est 7,07E-04



Statistiques :

Valeurs de prévision

Tirages	10 000
Cas de base	4,97E-01
Moyenne	4,45E-02
Médiane	2,28E-02
Mode	---
Ecart-type	7,07E-02
Variance	5,00E-03
Asymétrie	5,48
Aplatissement	51,20
Coeff. de variation	1,59
Minimum	1,71E-04
Maximum	1,28E+00
Etendue	1,28E+00
Erreur standard de la moyenne	7,07E-04

Prévision: Incidence Mortalité cardiopulmonaire (chronique) - Exploitation suite Cellule : I42

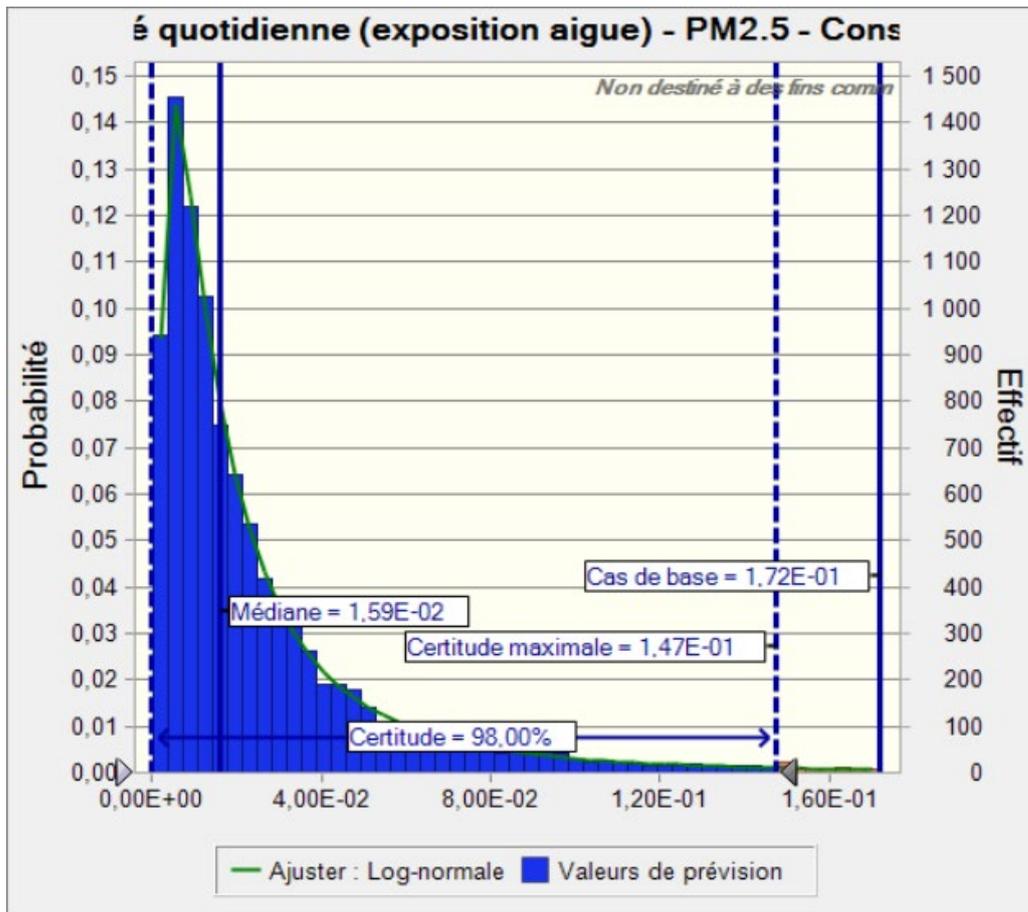
Fractiles :	Valeurs de prévision
0%	1,71E-04
10%	5,13E-03
20%	8,55E-03
30%	1,23E-02
40%	1,67E-02
50%	2,28E-02
60%	3,02E-02
70%	4,16E-02
80%	5,99E-02
90%	1,01E-01
100%	1,28E+00

Prévision: Mortalité quotidienne (exposition aigue) - PM2.5 - Construction

Cellule : I10

Récapitulatif :

- Le niveau de certitude est de 98,00 %
- La plage de certitude est comprise entre 0,00E+00 et 1,47E-01
- La plage entière est comprise entre 2,08E-04 et 8,66E-01
- Le cas de base est 1,72E-01
- Après 10 000 tirages, l'erreur standard de la moyenne est 4,16E-04



Prévision: Mortalité quotidienne (exposition aigue) - PM2.5 - Construction suite**Cellule : I10**

Statistiques :	Valeurs de prévision
Tirages	10 000
Cas de base	1,72E-01
Moyenne	2,87E-02
Médiane	1,59E-02
Mode	---
Ecart-type	4,16E-02
Variance	1,73E-03
Asymétrie	5,64
Aplatissement	60,23
Coeff. de variation	1,45
Minimum	2,08E-04
Maximum	8,66E-01
Etendue	8,66E-01
Erreur standard de la moyenne	4,16E-04

Fractiles :	Valeurs de prévision
0%	2,08E-04
10%	3,88E-03
20%	6,31E-03
30%	8,86E-03
40%	1,19E-02
50%	1,59E-02
60%	2,11E-02
70%	2,84E-02
80%	3,99E-02
90%	6,51E-02
100%	8,66E-01

Prévision: Mortalité quotidienne (exposition aigue) - PM2.5 - Exploitation

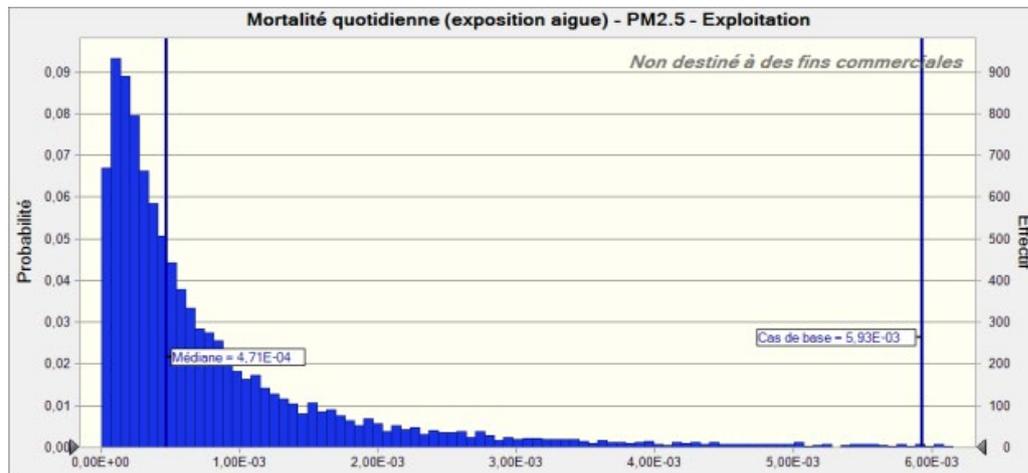
Cellule : I11

Récapitulatif :

La plage entière est comprise entre 4,88E-06 et 8,07E-02

Le cas de base est 5,93E-03

Après 10 000 tirages, l'erreur standard de la moyenne est 1,85E-05



Statistiques :

Valeurs de prévision

Tirages	10 000
Cas de base	5,93E-03
Moyenne	9,72E-04
Médiane	4,71E-04
Mode	---
Ecart-type	1,85E-03
Variance	3,43E-06
Asymétrie	13,39
Aplatissement	410,40
Coeff. de variation	1,90
Minimum	4,88E-06
Maximum	8,07E-02
Etendue	8,06E-02
Erreur standard de la moyenne	1,85E-05

Prévision: Mortalité quotidienne (exposition aigue) - PM2.5 - Exploitation suite

Cellule : I11

Fractiles :	Valeurs de prévision
0%	4,88E-06
10%	9,78E-05
20%	1,68E-04
30%	2,50E-04
40%	3,50E-04
50%	4,71E-04
60%	6,37E-04
70%	8,79E-04
80%	1,29E-03
90%	2,18E-03
100%	8,07E-02

Fin des prévisions

Hypothèses

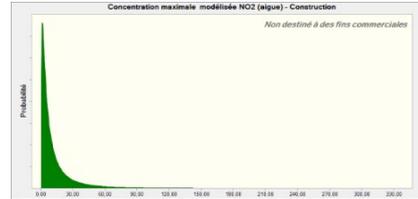
Feuille de calcul : [220358_Monte-Carlo- Approche épidémiologique.xlsx]NO2 (max)

Hypothèse: Concentration maximale modélisée NO2 (aigue) - Construction

Cellule : I7

Log-normale loi comportant des paramètres :

Position	0,00
Moyenne	15,00
Ec.-type	30,00

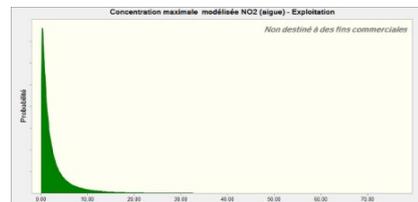


Hypothèse: Concentration maximale modélisée NO2 (aigue) - Exploitation

Cellule : I14

Log-normale loi comportant des paramètres :

Position	0,00
Moyenne	3,44
Ec.-type	6,88

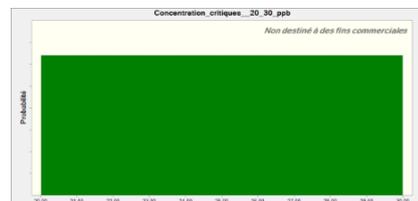


Hypothèse: Concentration_critiques__20_30_ppb

Cellule : I19

Uniforme loi comportant des paramètres :

Minimum	20,00
Maximum	30,00



Hypothèse: Risque accrue de mortalité NO2 (aigue) - Construction

Cellule : I9

Uniforme loi comportant des paramètres :

Minimum	1,7%
Maximum	3,5%

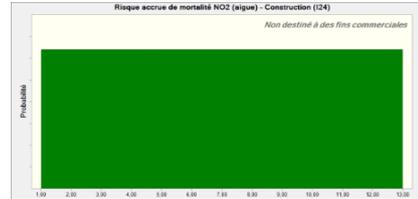


Hypothèse: Risque accru de mortalité NO2 (aigue) - Construction (I24)

Cellule : I24

Uniforme loi comportant des paramètres :

Minimum 1,00
Maximum 13,00



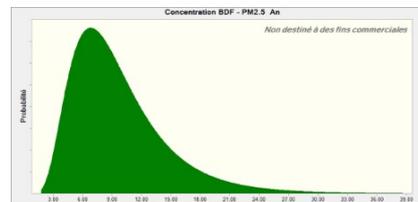
Feuille de calcul : [220358_Monte-Carlo- Approche épidémiologique.xlsx]PM2.5 Construction (m

Hypothèse: Concentration BDF - PM2.5 An

Cellule : I35

Log-normale loi comportant des paramètres :

Position 0,00
Moyenne 9,72
Ec.-type 5,00

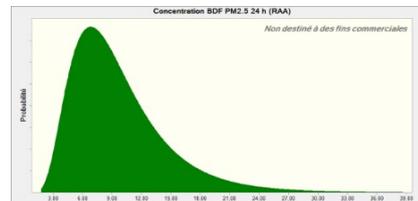


Hypothèse: Concentration BDF PM2.5 24 h (RAA)

Cellule : I5

Log-normale loi comportant des paramètres :

Position 0,00
Moyenne 9,72
Ec.-type 5,00

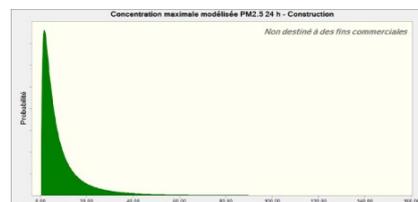


Hypothèse: Concentration maximale modélisée PM2.5 24 h - Construction

Cellule : I7

Log-normale loi comportant des paramètres :

Position 0,00
Moyenne 9,72
Ec.-type 14,72

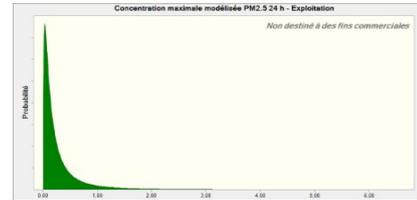


Hypothèse: Concentration maximale modélisée PM2.5 24 h - Exploitation

Cellule : I8

Log-normale loi comportant des paramètres :

Position 0,00
 Moyenne 0,33
 Ec.-type 0,60

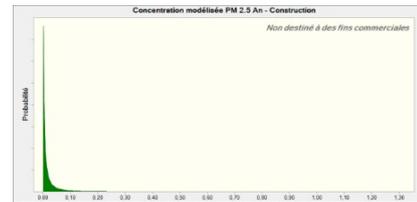


Hypothèse: Concentration modélisée PM 2.5 An - Construction

Cellule : I37

Log-normale loi comportant des paramètres :

Position 0,00
 Moyenne 0,03
 Ec.-type 0,12

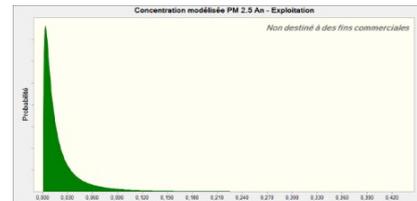


Hypothèse: Concentration modélisée PM 2.5 An - Exploitation

Cellule : I38

Log-normale loi comportant des paramètres :

Position 0,000
 Moyenne 0,024
 Ec.-type 0,040



Hypothèse: Taux de mortalité (chronique) - PM2.5 par 10 ug/m3

Cellule : F37

Uniforme loi comportant des paramètres :

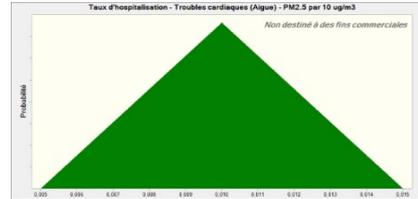
Minimum 6%
 Maximum 13%



Hypothèse: Taux d'hospitalisation - Troubles cardiaques (Aigue) - PM2.5 par 10 ug/m3 Cellule : F26

Triangulaire loi comportant des paramètres :

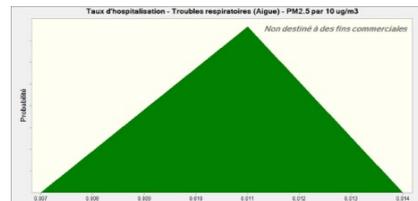
Minimum	0,005
Plus probable	0,010
Maximum	0,015



Hypothèse: Taux d'hospitalisation - Troubles respiratoires (Aigue) - PM2.5 par 10 ug/m3 Cellule : F16

Triangulaire loi comportant des paramètres :

Minimum	0,007
Plus probable	0,011
Maximum	0,014

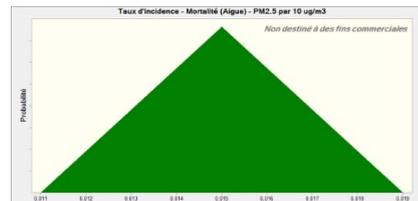


Hypothèse: Taux d'incidence - Mortalité (Aigue) - PM2.5 par 10 ug/m3

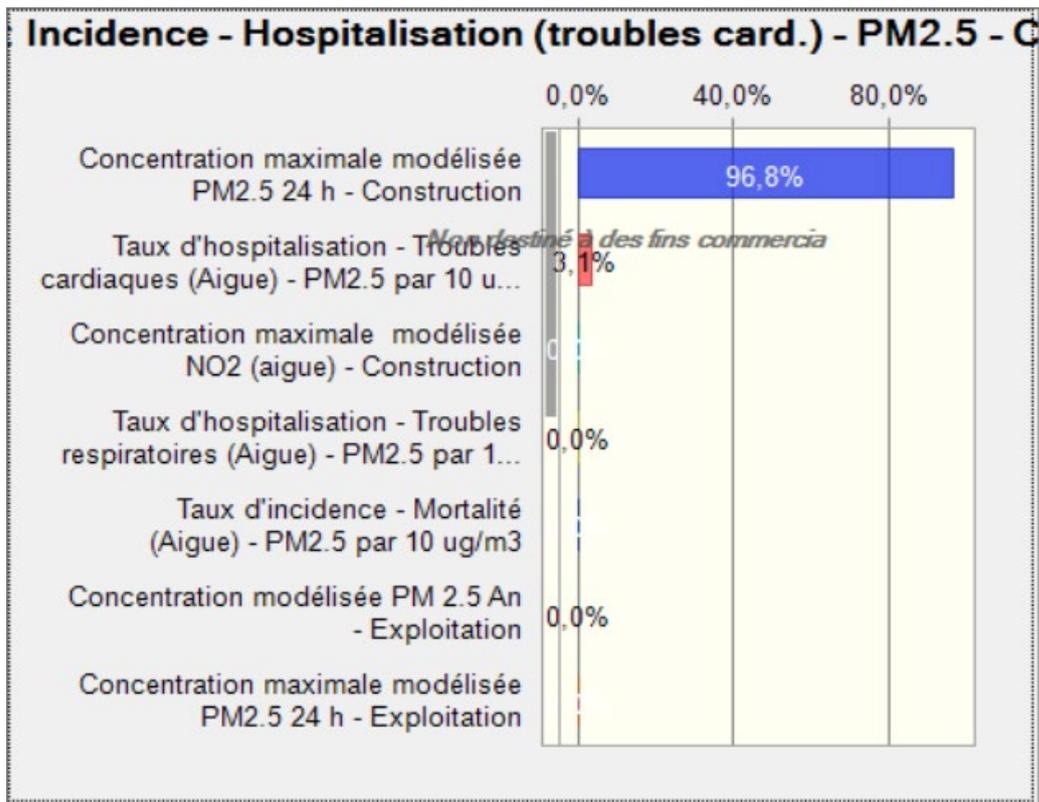
Cellule : F6

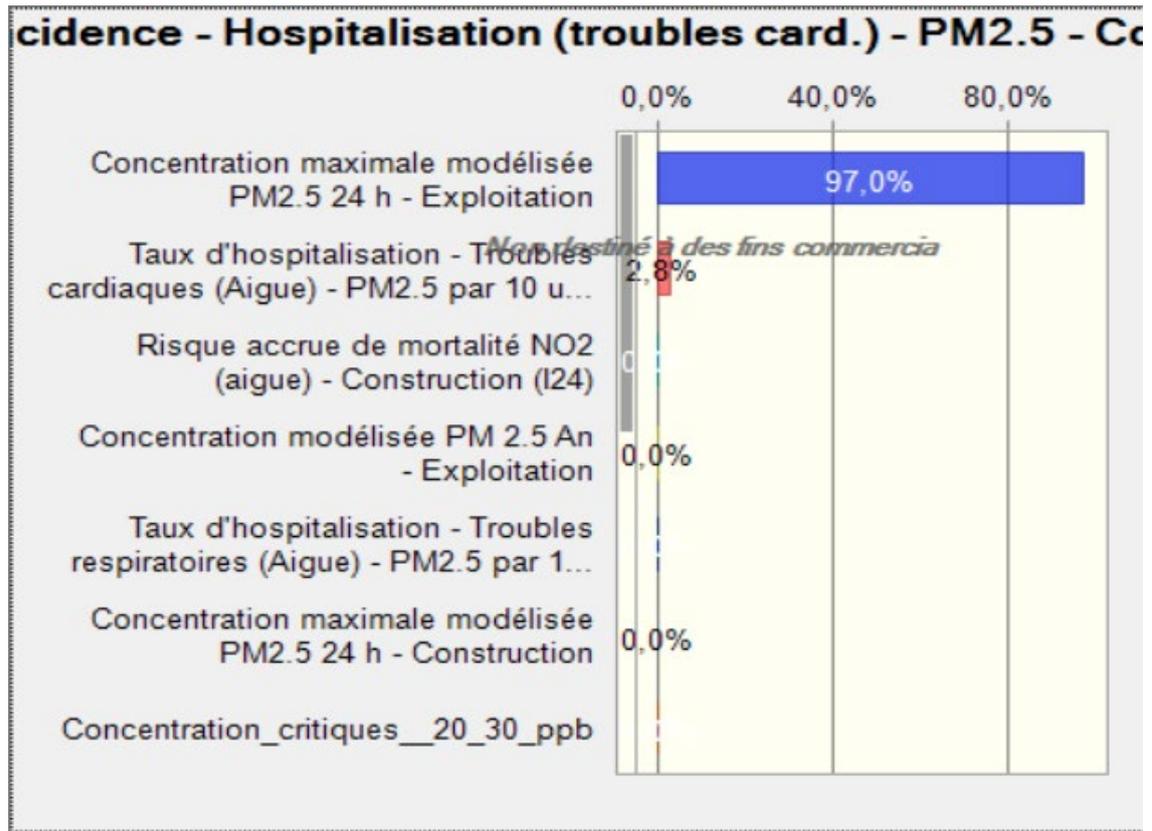
Triangulaire loi comportant des paramètres :

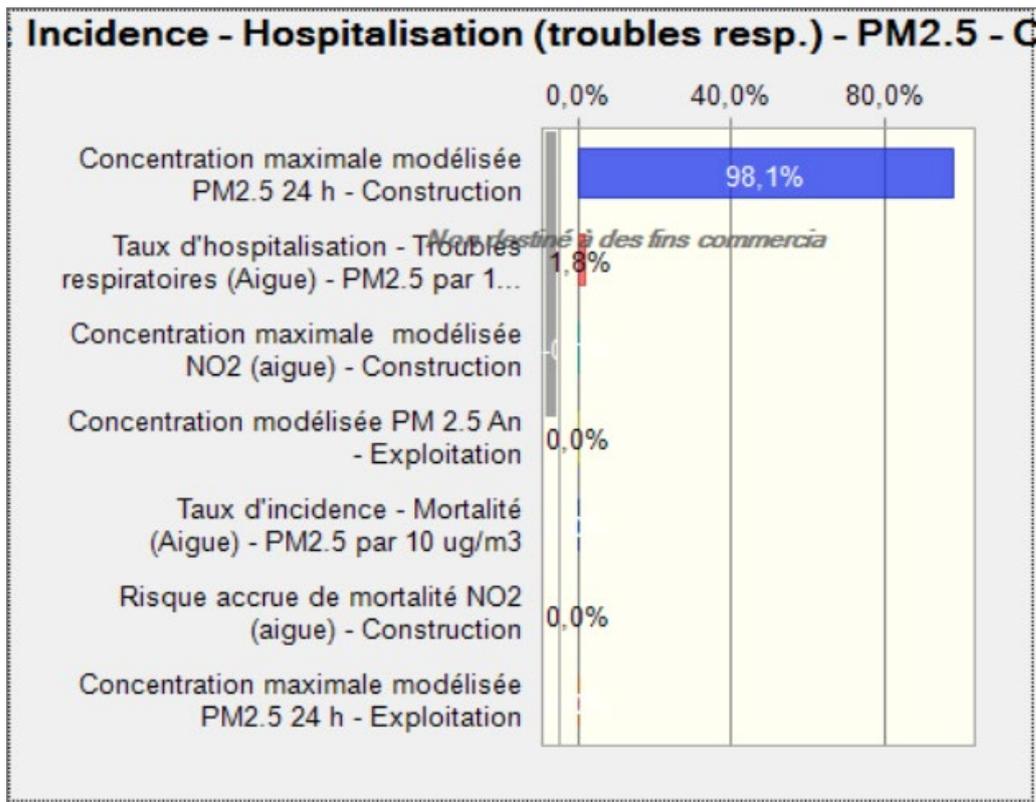
Minimum	0,011
Plus probable	0,015
Maximum	0,019

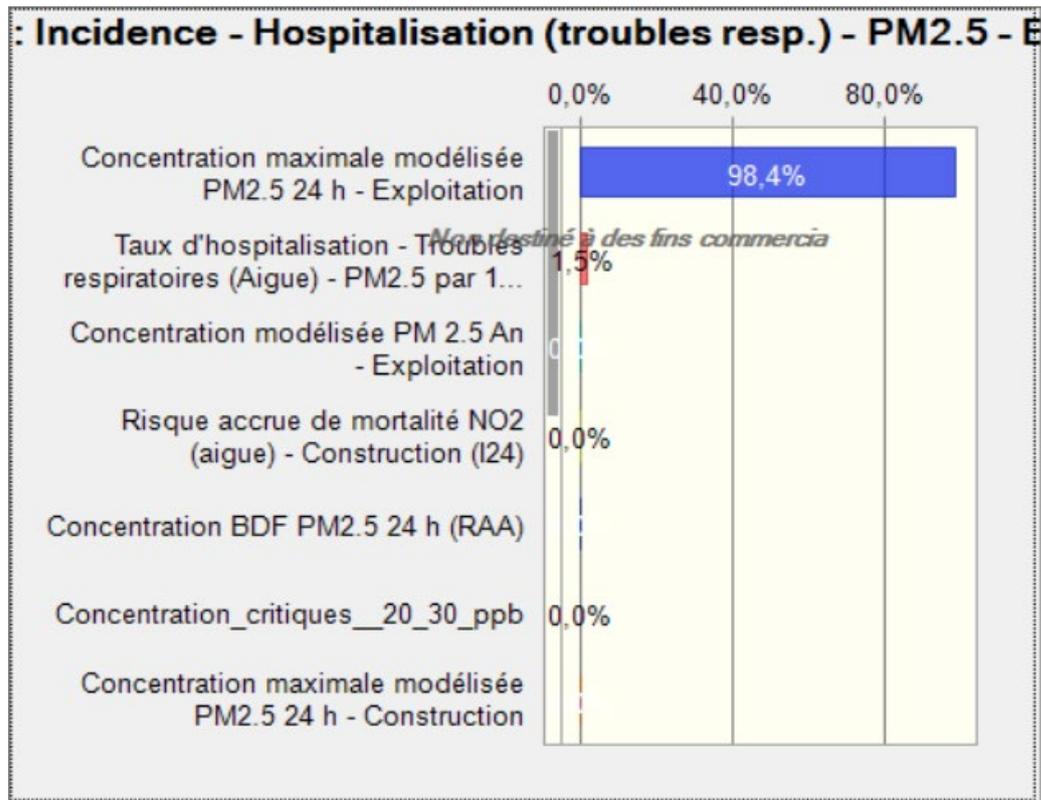


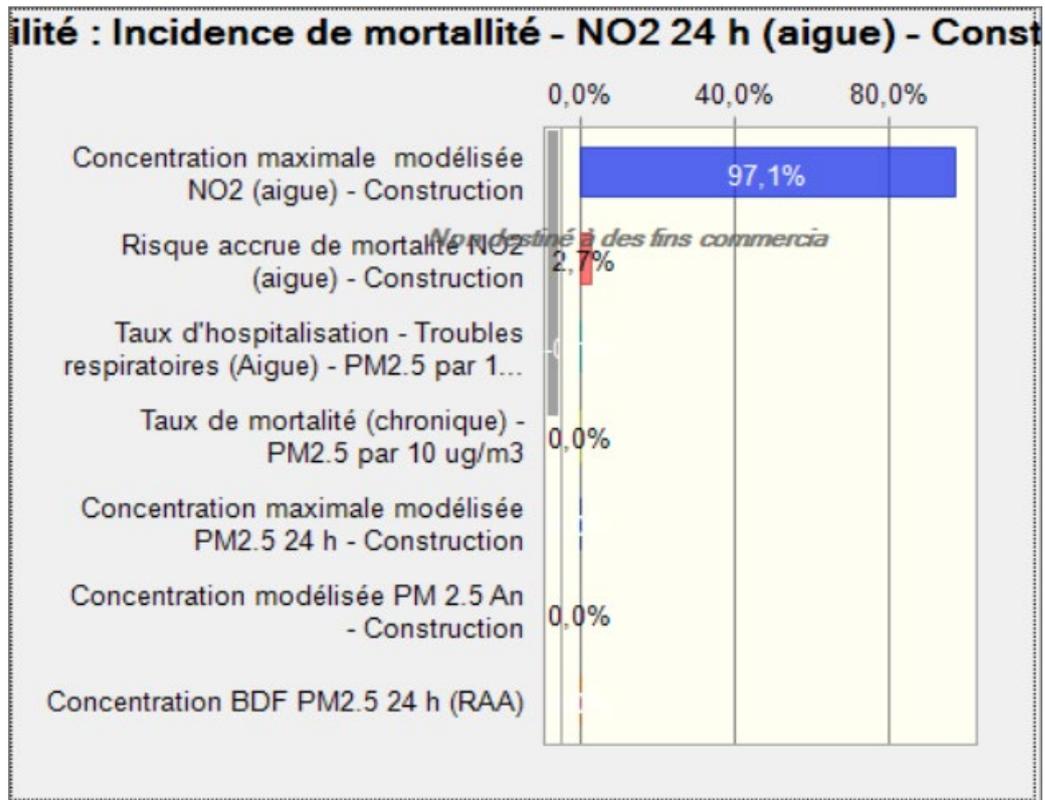
Fin des hypothèses

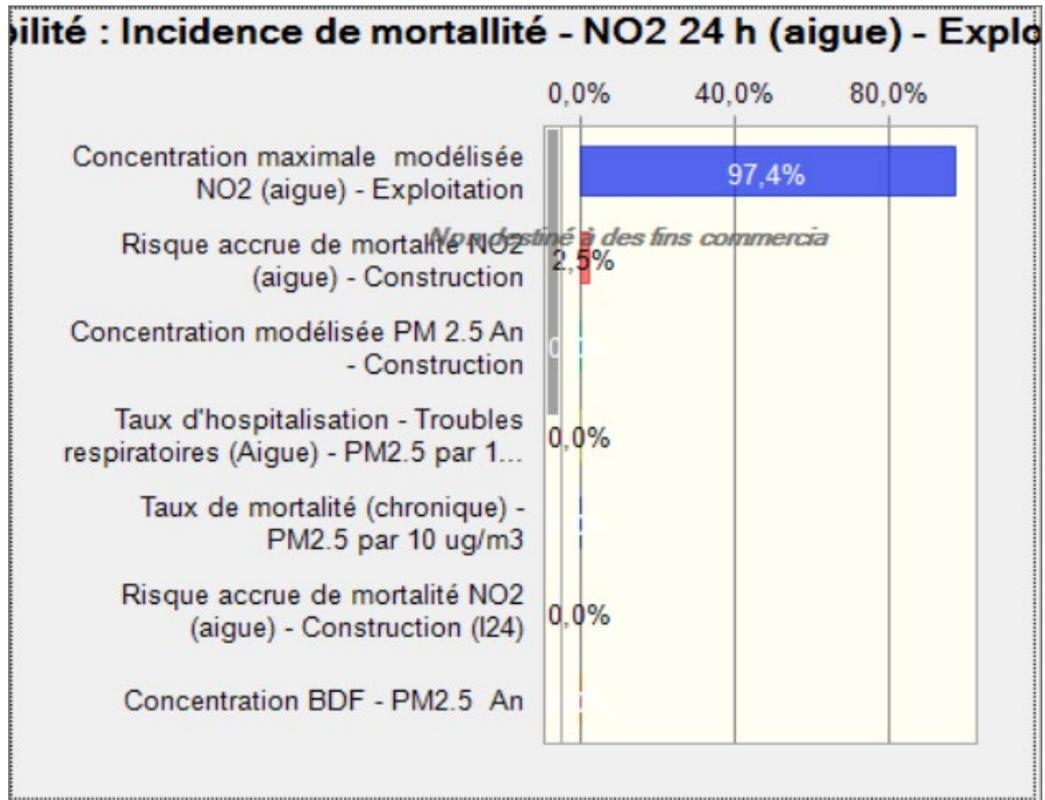


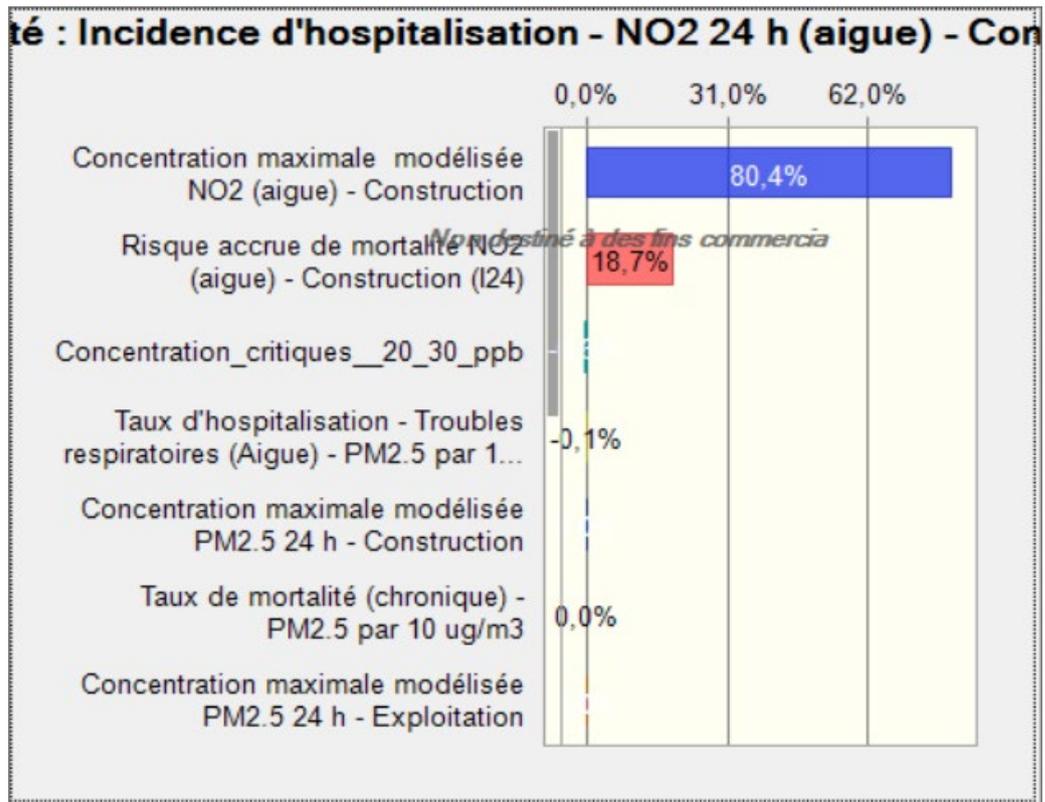


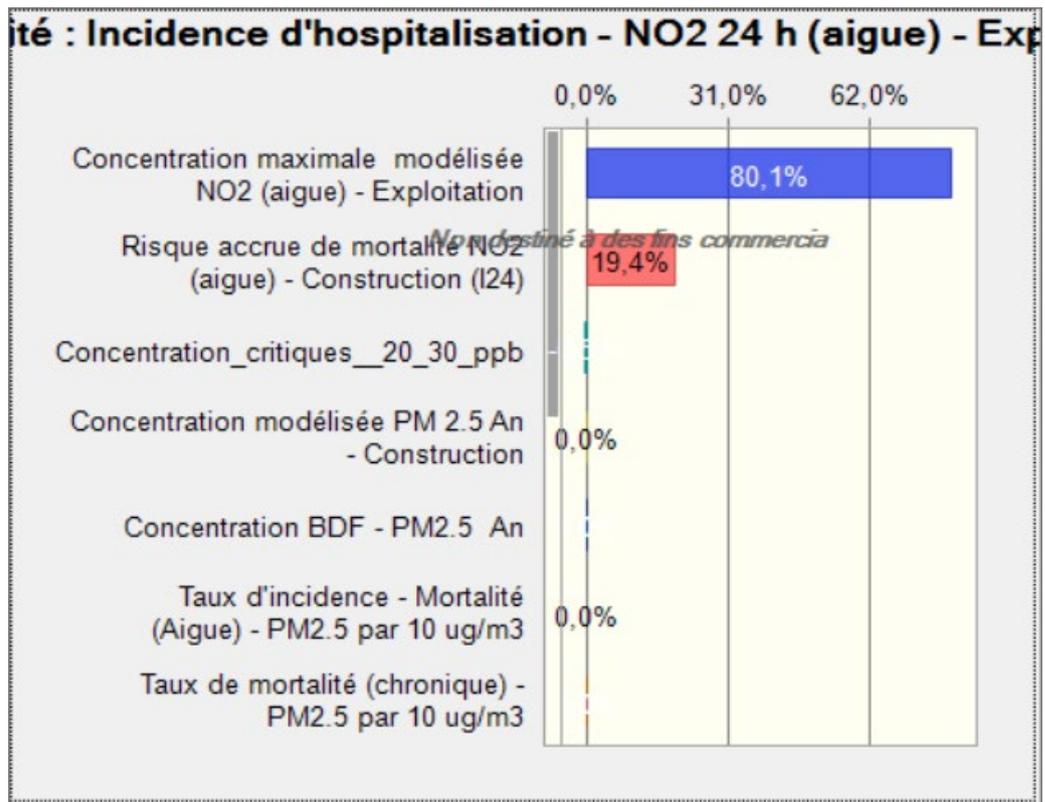


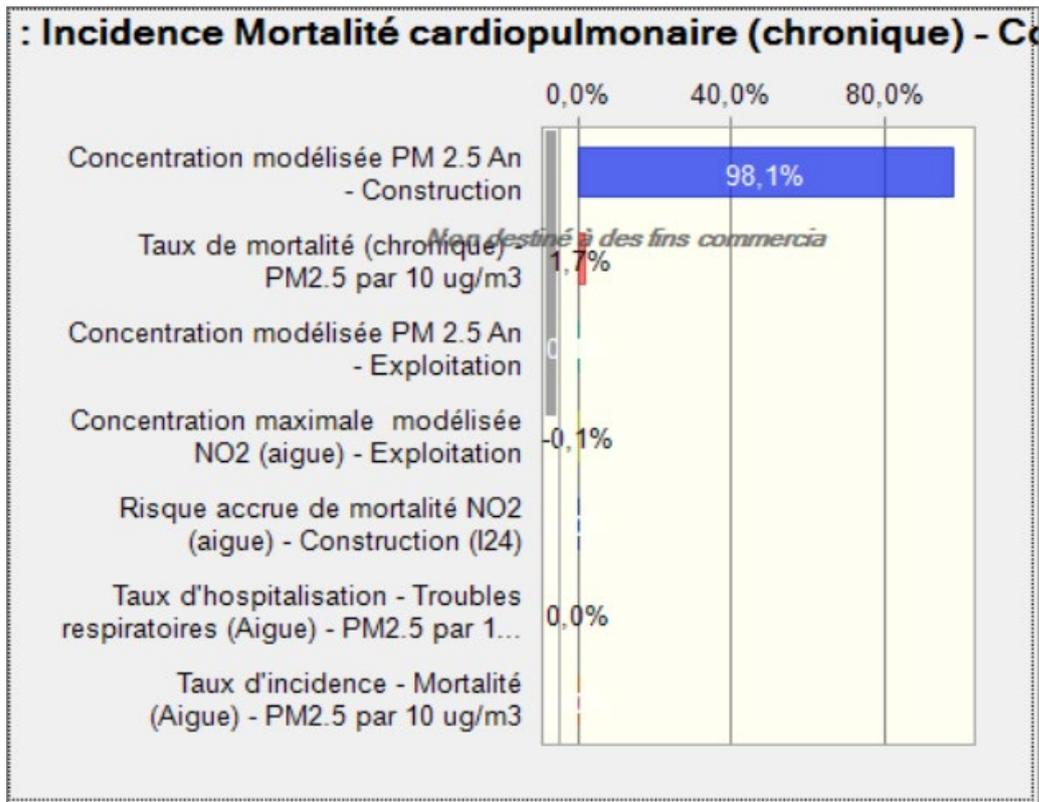


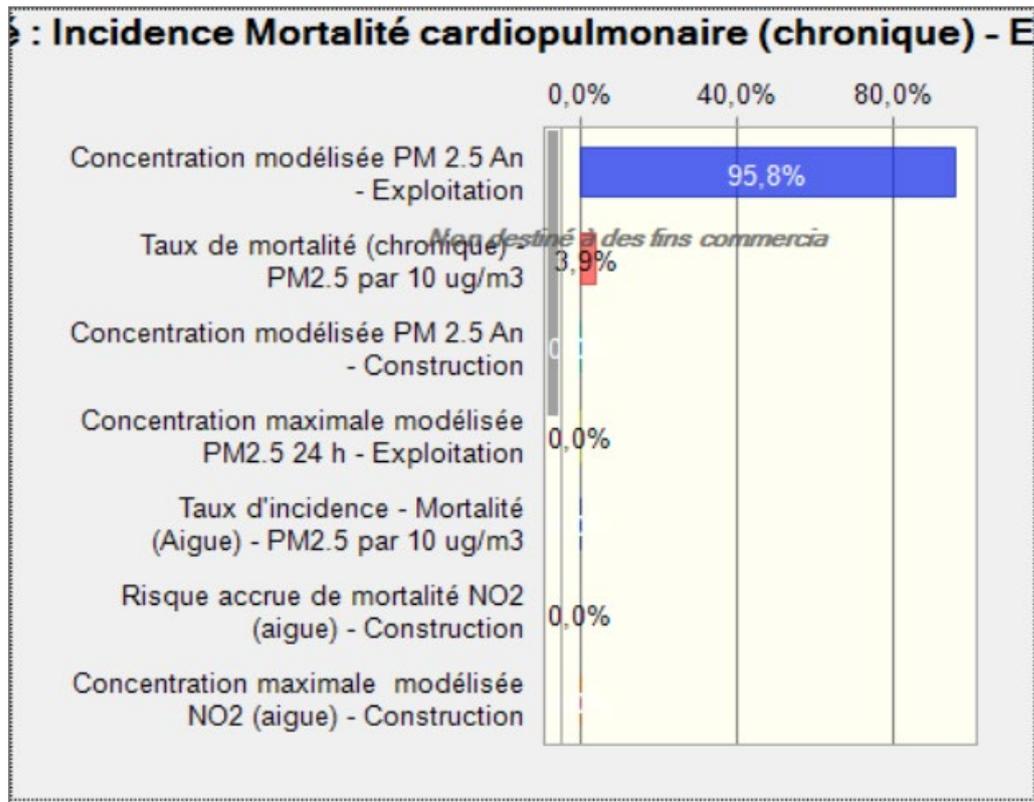


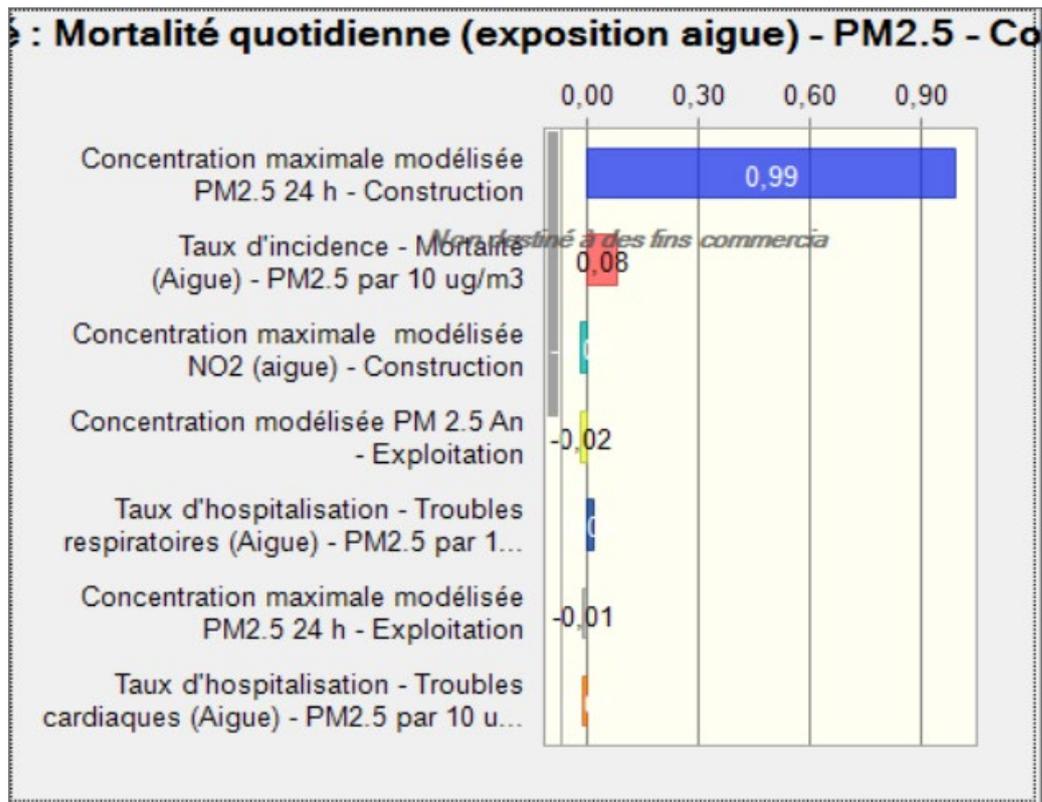


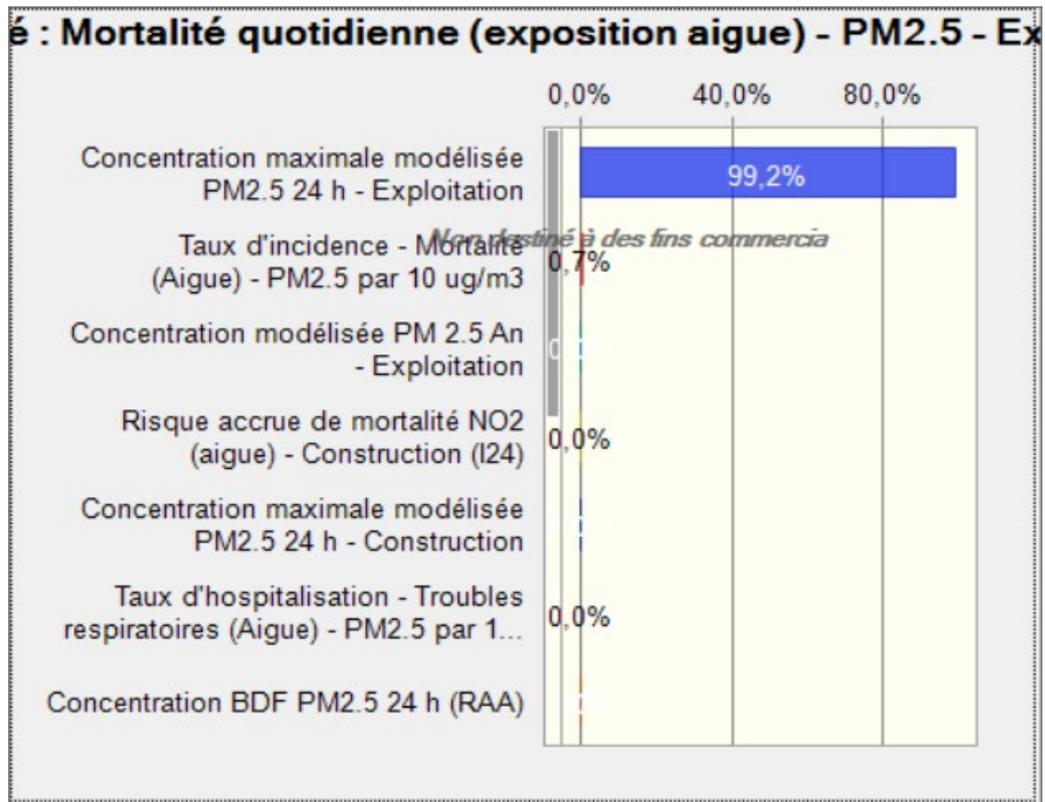












Fin des graphiques de sensibilité

Annexe 4: Qualifications de l'expert

Monsieur **Sylvain Loranger** est président de la firme Service d'analyse de données **MESIQ**, corporation canadienne fondée en 1988. Il est détenteur d'un doctorat en santé communautaire (option toxicologie de l'environnement) de la Faculté de médecine de l'Université de Montréal (1994) et d'une maîtrise en limnologie de l'Université du Québec à Montréal (1982). Il cumule une expérience de plus de 35 ans en évaluation des risques pour la santé et pour l'environnement, en analyse de données environnementales, en statistique et en modélisation environnementale. Il est reconnu comme expert en évaluation des risques par les organismes responsables fédéraux et provinciaux. Il a notamment participé à plusieurs projets novateurs en évaluation des risques radiologiques, chimiques et microbiologiques. Il a publié plus d'une vingtaine d'articles scientifiques dans des revues internationales, ainsi que plus de deux cents rapports d'étude et de recherche dans les domaines de la contamination environnementale, de la modélisation, de l'exposition humaine et de l'évaluation des risques environnementaux. Il enseigne également dans ce domaine depuis plus de 25 ans à l'Université de Montréal dans le cadre des diplômes spécialisés en toxicologie, en environnement et en développement durable (DESS). Il est membre de plusieurs organisations professionnelles nationales et internationales associées au domaine de la toxicologie, de l'environnement et des affaires (*Society of Environmental Toxicology and Chemistry, Society for Risk Analysis, Society of Toxicologie, Réseau Environnement*). À l'heure actuelle, monsieur Loranger agit comme expert indépendant en environnement pour plusieurs organismes privés et publics dans le cadre d'évaluation de risques pour la santé et pour l'environnement dans le cadre de projets de redéveloppement de sites contaminés, de projets de fermeture de mines et de transactions financières et immobilières sur des propriétés résidentielles, industrielles et commerciales.