

Société de Calcul Mathématique SA
Outils d'aide à la décision



**Etude des incertitudes associées au logiciel de
modélisation de la qualité de l'air ARIA IMPACT**

Rapport adressé à

l'Agence d'Ecologie Urbaine

Ville de Paris

par la

Société de Calcul Mathématique SA

en application du marché n° 20121230007867, notifié le 7 septembre 2012

rédaction : Sophie Davin et Damien Raffanel

version finale

décembre 2012

Résumé Opérationnel

A la demande de l'Agence d'Ecologie Urbaine, Ville de Paris, nous avons expertisé le logiciel de modélisation de la qualité de l'air "ARIA IMPACT". Ce logiciel prend en entrée des données de trafic routier et l'AEU envisage de l'utiliser pour évaluer les conséquences d'une restriction de trafic : limitation de la circulation dans certaines zones, pour certaines catégories de véhicules.

Notre analyse porte exclusivement sur la qualité scientifique du logiciel. Celui-ci est construit à partir des lois fondamentales de la physique, et non pas à partir de lois empiriques : il est important de le souligner.

Les lois de la physique sont extrêmement complexes et font intervenir un très grand nombre de paramètres. La propagation d'une pollution ne sera pas la même, selon la densité de l'atmosphère, la direction du vent, la pluviométrie, et bien d'autres paramètres.

Comme la plupart de ces paramètres ne sont pas convenablement connus (et certains d'entre eux ne sont même pas mesurés), les auteurs du logiciel procèdent nécessairement à des simplifications. De même, le calcul ne peut être fait de manière continue, mais nécessairement discrétisée : on découpe le terrain en "mailles" ; cette façon de procéder est habituelle.

Le logiciel dispose de trois modules de calcul, correspondant à des approches physiques différentes. Fort bien, mais quel module choisir ? Et si les trois modules sont licites, ils devraient donner des résultats similaires. Or ce n'est pas le cas.

Le logiciel est extrêmement sensible à toutes sortes de variations. Par exemple, des variations de température entraînent des changements importants et incohérents dans les concentrations de polluants. Dans plusieurs cas, une petite variation (0,5°C), entraîne un écart plus grand par rapport à l'essai témoin que les grandes variations (10°C). La même incohérence se retrouve vis-à-vis des changements dans la direction du vent.

Le logiciel souffre donc de ce qu'on pourrait appeler des "défauts de réalisation informatique", qui se traduisent par des instabilités dans les résultats, vis-à-vis de petits changements dans les paramètres.

Mais, et ce qui est beaucoup plus grave, il souffre aussi d'un défaut fondamental de conception. En effet, il travaille sur une zone donnée, en ignorant complètement ce qui se passe en dehors. Si par exemple on cherche à évaluer la pollution place de la Bastille, le résultat dépendra de la taille de la zone considérée autour de la place, et sera très différent selon que cette zone fait 1 km de côté ou bien 5 km de côté. Cela tient au fait que ce logiciel ne prend pas en compte ce que, en mathématiques, on appelle "valeurs au bord", ou "valeurs aux limites" du domaine considéré. Il travaille comme si ce domaine était isolé du reste du monde.

Il s'agit là d'un défaut de conception complètement rédhibitoire, qui fait que ce logiciel est tout à fait inapproprié pour appuyer la décision publique.

Une utilisation possible, qui pourrait être pertinente malgré les défauts de stabilité mentionnés, serait du type suivant : évaluer (de manière grossière) les concentrations de polluants locales, résultant d'une décision d'urbanisation.

Prenons un exemple pour faire comprendre ceci : les Aéroports de Paris (prenons le cas de Roissy) s'interrogent sur leur impact sur la qualité de l'air. Ce logiciel permettrait (de manière grossière) de répondre à la question suivante : supposons que l'aéroport soit remplacé par une ville, avec un trafic annuel moyen, une pluviométrie moyenne, etc.; voici la quantité de polluants qui serait générée par cette activité, quantité qui pourrait être comparée avec l'activité actuelle.

Mais revenons à l'usage demandé par l'Agence d'Ecologie Urbaine, à savoir un appui scientifique aux politiques publiques. Notre expérience, et nous nous référons aussi à notre travail 2010-2011 pour le Ministère de l'Ecologie à propos des incertitudes de l'Inventaire National Spatialisé, est que les connaissances scientifiques ne permettent pas cet appui à l'échelle où l'AEU la souhaiterait. Il s'en faut de plusieurs ordres de grandeur.

La réduction du trafic dans une petite zone peut se traduire, au mieux, par une diminution des concentrations en polluant de quelques pourcents. Le résultat n'est pas clair, car la pollution vient d'ailleurs et séjourne longtemps. Les incertitudes sur l'Inventaire National Spatialisé étaient de l'ordre de 150 % ; elles ne sont pas mesurables dans le cas présent, à cause des erreurs méthodologiques que nous avons mises en évidence, mais les seules incertitudes liées au choix du module de calcul sont déjà de l'ordre de 20 %.

Remerciements

Le logiciel n'étant disponible que dans les locaux de l'AEU, nous avons dû nous y rendre fréquemment et nous remercions l'équipe de l'AEU pour sa patience, sa disponibilité et sa participation dans l'exécution des nombreuses simulations.

Nos remerciements particuliers à Amandine Gitton pour avoir repris et complété les tests que nous avons réalisés et à Ahmed Chakar pour ses propres accompagnements dans l'analyse du logiciel.

Sommaire

I.	Introduction	6
II.	Présentation du besoin.....	6
III.	Différents modèles physiques	6
IV.	Paramètres d'entrée de MSS.....	7
1.	Méthode.....	7
2.	Paramètres caractérisant la simulation	7
a.	Taille du domaine.....	7
b.	Taille des mailles.....	8
c.	Nombre de "particules"	8
3.	Paramètres caractérisant la zone :	8
a.	Géographie des lieux.....	8
b.	Emissions de pollution	9
c.	Météo	9
4.	Analyse de la stabilité du logiciel	9
	Variations du trafic.....	11
V.	Résultats.....	14
1.	Comparaison entre les modèles	14
2.	Influence de la taille de la zone.....	14
3.	Influence de la taille des mailles.....	18
4.	Influence du nombre de particules.....	19
5.	Influence de la météo	20
a.	Température	20
b.	Vitesse du vent.....	21
c.	Direction du vent	22
d.	Pluie	23
e.	Turbulence de l'atmosphère	24
6.	Influence du trafic	25
VI.	Comparaison des différents modèles de calcul	28
VII.	Test réalisé par l'Agence d'Ecologie Urbaine.....	28
VIII.	Simulation avec le modèle Saturne	32
IX.	Difficultés rencontrées	32
X.	Conclusion.....	33
XI.	Remarques pour une utilisation future.	33

I. Introduction

Le présent rapport constitue la réponse apportée par la Société de Calcul Mathématique SA à la demande formulée par l'Agence d'Ecologie Urbaine, Ville de Paris "Etude des incertitudes associées au logiciel de modélisation de la qualité de l'air ARIA IMPACT" en application du marché n° 20121230007867, notifié le 7 septembre 2012. Cette version finale tient compte des observations qui nous ont été faites lors de la remise de la première version (17/11/2012) et incorpore les résultats obtenus par l'AEU (voir paragraphe VII plus loin).

II. Présentation du besoin

Aria Technologies a fourni à la Mairie de Paris un logiciel d'estimation de la qualité de l'air, reposant sur des principes physiques complexes. L'objet de l'étude demandée à la SCM est de déterminer dans quelle mesure les modèles de calculs basés sur ces principes physiques sont pertinents pour une situation réelle.

Le logiciel propose plusieurs modèles de calcul et, pour chaque modèle, des paramètres caractérisant la zone (météorologie, trafic, etc.) et d'autres paramètres caractérisant la simulation (taille des mailles, nombres des particules, etc.). L'enjeu de l'étude est de savoir si le logiciel est robuste, c'est-à-dire si la variation d'un paramètre n'engendre pas d'incohérence dans les résultats.

III. Différents modèles physiques

Le logiciel propose trois modèles :

- Un modèle gaussien : Calpact est un modèle simple de dispersion des polluants prenant en compte l'effet du vent à grande échelle, mais ni la topographie des lieux ni les obstacles.
- Un modèle lagrangien : Micro Swift Spray (MSS), composé de deux parties. L'une calcule les véritables mouvements de l'atmosphère en fonction de la météo, de la topographie et des obstacles. L'autre calcule à partir des résultats de la première partie la dispersion de particules fictives auxquelles sont appliquées des concentrations de polluants. Pour limiter les temps de calcul, le modèle utilise des écoulements simplifiés.
- Un modèle eulérien : Code_Saturne, prenant en compte les mouvements de l'atmosphère en fonction de la topographie et du bâti avec des modèles complets de mécanique des fluides. Le temps de calcul important limite son utilisation à des études ponctuelles. En pratique, dans le cadre du présent projet, ni la SCM ni l'AEU n'a pu l'utiliser.

Nous avons effectué la plupart des calculs avec le modèle MSS, qui sera a priori celui que l'AEU utilisera le plus ; néanmoins, nous avons comparé entre eux les différents modèles (voir plus loin).

IV. Paramètres d'entrée de MSS

1. Méthode.

Pour comparer les différents résultats des simulations, nous avons considéré un carré de 200 m de côté. Les concentrations ont été prises à hauteur d'homme (environ 1,70 m). Nous avons moyenné les concentrations sur ce carré.

Cette méthode permet de s'affranchir d'un possible décalage d'une maille vers sa voisine immédiate. En effet une étude maille par maille aurait provoqué des erreurs qui ne sont en fait que des effets du découpage.

2. Paramètres caractérisant la simulation

a. Taille du domaine

Le domaine définit la zone sur laquelle on veut calculer la concentration des différents polluants. A partir de ce périmètre, le logiciel extrait les données contextuelles telles que la géographie, le trafic sur la période donnée, les conditions météorologiques. Nous avons choisi deux tailles différentes pour déterminer l'impact du choix de la zone sur les concentrations.

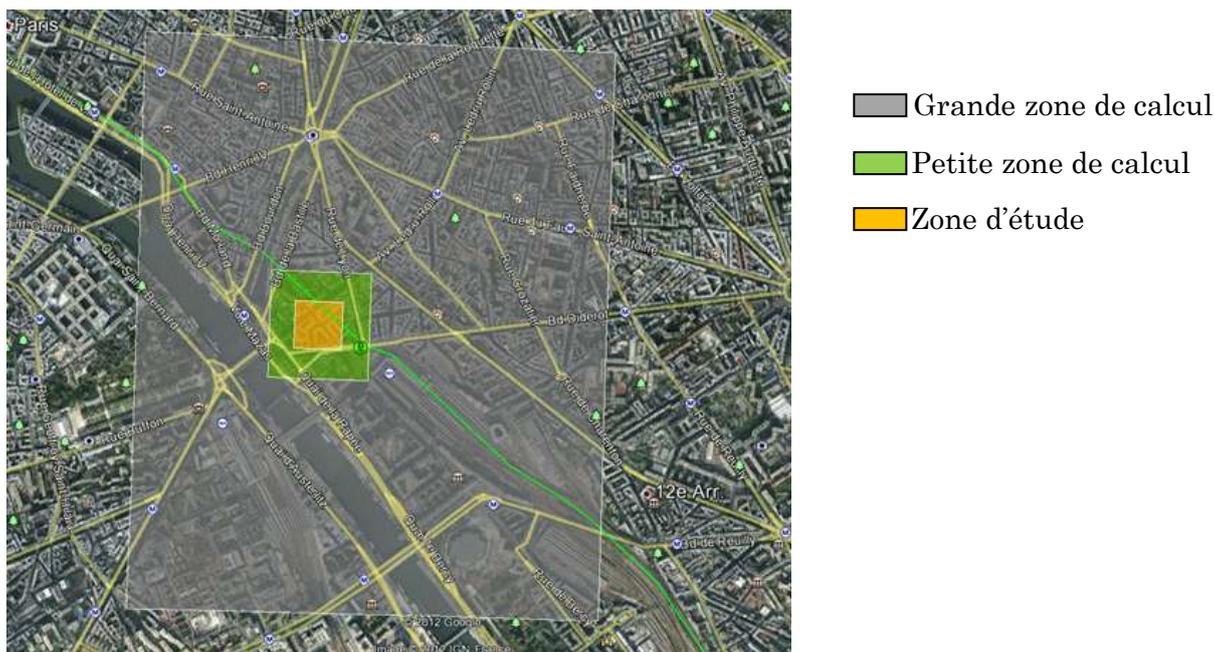


Figure 1 : Zones de calcul et zone d'étude

b. Taille des mailles

Une fois la zone d'étude définie, le logiciel la découpe en mailles, dont on peut choisir la dimension. Le choix de la taille des mailles permet de réduire le temps de calcul en fonction du réel besoin de précision de l'étude à mener. Nous avons choisi des mailles de 10 m et de 20 m de côté pour déterminer l'impact du choix sur les concentrations

c. Nombre de "particules"

Lors de la simulation, le logiciel ne calcule pas la dispersion de la concentration de pollutions, mais la dispersion de particules fictives auxquelles on affecte une quantité de polluants. Ces particules fictives sont en quelque sorte le "support" de la pollution. Comme elles sont fictives, il est important de s'assurer que leur nombre n'affecte pas le résultat.

De même que pour la taille des mailles, ce réglage permet de réduire le temps de calcul. Nous avons choisi de mettre 1 000 particules par pas de temps d'émission, puis 500 particules par pas de temps d'émission.

3. Paramètres caractérisant la zone

a. Géographie des lieux

Le bâti constitue un paramètre important dans les calculs de concentrations des polluants. En effet, il influe sur la circulation atmosphérique locale et donc sur la dispersion des polluants.

Le bâti n'est pas soumis aux incertitudes de mesure : on peut avoir une connaissance très précise des bâtiments en ville et ce paramètre n'est pas susceptible d'évoluer au cours d'une simulation. Mais la connaissance qu'on a du bâti est approximative et grossière, ce qui doit être pris en compte.

b. Emissions de pollution

Les émissions de surface représentent une pollution diffuse. Une pollution de fond est en outre présente au temps initial.

Les émissions ponctuelles représentent les pollutions issues d'un point fixe, comme une cheminée d'usine.

Les émissions linéiques représentent les émissions liées au trafic ; ce sont elles qui nous intéressent particulièrement. Leur calcul nécessite trois groupes de données :

- Les conditions de trafic : nombre de véhicules, vitesse moyenne sur le tronçon, etc.
- La composition du parc : répartition du nombre de véhicules par catégorie et par âge ;
- Les émissions moyennes produites par chaque type de véhicule.

c. Météo

La météo est constituée de différentes composantes :

- La température ;
- La vitesse du vent ;
- La direction du vent ;
- La quantité de pluie ;
- La turbulence de l'air : celle-ci correspond à ce qui est appelé "Pasquil" par le logiciel. Il s'agit de classes permettant de quantifier la stabilité atmosphérique ; ces classes sont au nombre de 6.

4. Analyse de la stabilité du logiciel

Nous avons voulu savoir si le modèle MSS réagissait correctement aux variations des paramètres décrits plus haut : est-il convenablement sensible à une forte variation, et ne réagit-il pas de manière excessive à une faible variation de ces paramètres ?

Pour répondre à cette question, nous effectuons 24 essais pour chacune des conditions de simulation.

Note : La stabilité atmosphérique (Pasquil) correspond normalement à un entier de 1 à 6. Cependant nous testons le comportement du logiciel lorsque l'on saisit une valeur qui n'est pas un entier (ici 2,8 et 3,2). Le logiciel ne tronque pas et n'arrondit pas. Nous ne savons pas comment il interprète 2,8 : voir recommandations plus loin.

Les valeurs des paramètres pour chaque essai sont données dans le tableau suivant :

	Température	Vitesse du vent	Direction du vent	Pluie	Pasquill	Trafic
Essai 1	10	10	180	0	3	tout
Essai 2	20	10	180	0	3	tout
Essai 3	30	10	180	0	3	tout
Essai 4	9,5	10	180	0	3	tout
Essai 5	10,5	10	180	0	3	tout
Essai 6	10	5	180	0	3	tout
Essai 7	10	15	180	0	3	tout
Essai 8	10	9,5	180	0	3	tout
Essai 9	10	10,5	180	0	3	tout
Essai 10	10	10	360	0	3	tout
Essai 11	10	10	270	0	3	tout
Essai 12	10	10	200	0	3	tout
Essai 13	10	10	160	0	3	tout
Essai 14	10	10	180	5	3	tout
Essai 15	10	10	180	10	3	tout
Essai 16	10	10	180	0,75	3	tout
Essai 17	10	10	180	1,5	3	tout
Essai 18	10	10	180	0	1	tout
Essai 19	10	10	180	0	5	tout
Essai 20	10	10	180	0	2,8	tout
Essai 21	10	10	180	0	3,2	tout
Essai 22	10	10	180	0	3	Rue Audubon
Essai 23	10	10	180	0	3	Rue de Bercy
Essai 24	10	10	180	0	3	Quai Austerlitz

Tableau 1 : Paramètres des essais

Variations du trafic

Afin d'évaluer l'impact du trafic sur les résultats de concentration des polluants, nous réalisons trois essais. Pour chacun d'eux, nous supprimons complètement le trafic d'une rue. Les rues sont les suivantes :

- La rue Audubon, comprise dans la petite et la grande zone de calcul et dans la zone d'étude ;
- La rue de Bercy, comprise dans la petite et la grande zone de calcul et dans la zone d'étude ;
- Le quai d'Austerlitz (compris dans la grande zone de calcul).



Figure 2 : Suppression du trafic de la rue Audubon



Figure 3 : Suppression du trafic de la rue de Bercy



Figure 4 : Suppression du trafic du quai d'Austerlitz

V. Résultats

1. Comparaison entre les modèles

Projet n°	Domaine	Trafic	Nb particules	Taille des mailles
1	petit	1	1000	10
2	grand	1	1000	10
3	petit	1	1000	20
4	petit	1	500	10
5	petit	2	1000	10
6	grand	2	1000	10

Tableau 2 : Modèles mis en place

Les comparaisons vont être réalisées entre deux modèles. Afin de connaître l'impact de la modification d'un paramètre, les couples comparés sont tels qu'un seul paramètre varie entre les deux. Nous comparerons donc le projet 1 avec les projets 2 à 5, en prenant les résultats du 1 comme référence, puis le projet 6 avec les projets 2 et 5, ces derniers servant de références.

La différence relative entre deux projets est calculée ainsi :

$$\frac{\text{concentration moyenne(essai test)} - \text{concentration moyenne(essai témoin)}}{\text{concentration moyenne(essai témoin)}}$$

2. Influence de la taille de la zone

Nous comparons les résultats de concentration des polluants obtenus pour les zones de calcul définies précédemment :



Figure 5 : Zones de calcul et zone d'étude

Les résultats comparés entre la grande et la petite zone de calcul sont ceux obtenus dans la zone d'étude (zone orange).

Nous comparons ces deux projets :

Projet n°	Domaine	Trafic	Nb particules	Taille des mailles
1	petit	1	1000	10
2	grand	1	1000	10

Tableau 3 : Comparaison modèles 1 et 2

Pour chaque polluant, nous calculons la moyenne obtenue sur l'ensemble des mailles dans la zone, afin de s'affranchir d'éventuelles différences de résultats dues au découpage des mailles.

La différence relative entre les résultats est calculée pour chacun des 24 essais réalisés. Ainsi :

	Nox	PM 10	PM 2.5
Essai 1	18%	25%	39%
Essai 2 (T = 20°C)	25%	43%	43%
Essai 3 (T= 30°C)	23%	30%	37%
Essai 4 (vent = 5m/s)	38%	51%	38%
Essai 5 (vent = 15/s)	32%	39%	39%
Essai 6 (Vent= 90°)	30%	29%	28%
Essai 7 (vent =360°)	13%	19%	6%
Essai 8 (Pluies=5 mm/h)	20%	27%	28%
Essai 9 (Pluies=10 mm/h)	38%	26%	38%
Essai 10 (T = 10,5°C)	90%	76%	69%
Essai 11 (T = 9,5°C)	21%	28%	27%
Essai 12 (vent = 10,5m/s)	24%	10%	7%
Essai 13 (vent = 9,5m/s)	35%	23%	22%
Essai 14 (vent = 200°)	18%	24%	38%
Essai 15 (vent = 160°)	18%	23%	37%
Essai 16 (Pluies= 0,75 mm/h)	18%	25%	39%
Essai 17 (Pluies = 1,5 mm/h)	18%	25%	39%
Essai 18 (Pasquil= 1)	33%	39%	28%
Essai 19 (Pasquil= 5)	25%	25%	16%
Essai 20 (Pasquil= 2,8)	16%	24%	34%
Essai 21 (Pasquil= 3,2)	16%	24%	34%
Essai 22 (Rue Audubon)	38%	43%	31%
Essai 23 (rue de Bercy)	50%	46%	48%
Essai 24 (Quai d'Austerlitz)	33%	44%	38%

Tableau 4 : Résultats comparaison modèles 1 et 2

Ces résultats montrent que la concentration en polluants sur la plus grande zone est toujours supérieure à celle de la petite zone.

Cette variation résulte de la méthodologie de calcul utilisée par le logiciel. Si on augmente la taille de la zone, pour des conditions de trafic égales, le nombre d'émetteurs de pollution est plus important, et donc la quantité de polluants, mais ce n'est pas conforme à la réalité. Nous ne sommes pas en présence d'une zone isolée, avec de la verdure autour, mais d'un milieu urbain (en l'occurrence la Région Parisienne), qui s'étend sur des dizaines de km dans toutes les directions.

Le logiciel ne tient absolument pas compte de ce qui existe autour de la zone de calcul. Mais, en réalité, ce qui se passe autour d'une zone ou d'une rue a un impact sur la quantité de polluants présents dans celles-ci, comme le dit AIRPARIF :

« Deux semaines de campagne sur le site du boulevard Haussman ont montré que 50% de la concentration de PM2.5 mesurée sur ce site est d'origine francilienne, avec une responsabilité directe de l'axe de près de 30% et une responsabilité du fond urbain de l'ordre de 20%. [...]Les sources et leur importance relative sont les même quel que soit le site trafic étudié » (AIRPARIF, septembre 2011).

Ceci signifie que 50 à 70% des concentrations sont dues à des sources éloignées et qu'il faut donc être absolument sûr de la zone à étudier. Le logiciel ne prend pas en compte cette diversité quant à la provenance des polluants.

Cette même variation est observée si l'on compare les projets 5 et 6 :

Projet n°	Domaine	Trafic	Nb particules	Taille des mailles
5	petit	2	1000	10
6	grand	2	1000	10

Tableau 5 : Comparaison modèles 5 et 6

Ainsi :

	Nox	PM 10	PM 2.5
Essai 1	20%	15%	3%
Essai 2	18%	16%	16%
Essai 3	18%	15%	21%
Essai 4	19%	18%	7%
Essai 5	15%	7%	9%
Essai 6	27%	21%	8%
Essai 7	13%	11%	12%
Essai 8	35%	45%	52%
Essai 9	2%	-6%	-8%
Essai 10	0%	5%	-3%
Essai 11	13%	10%	-3%
Essai 12	11%	22%	20%
Essai 13	10%	18%	5%
Essai 14	20%	11%	3%
Essai 15	20%	9%	3%
Essai 16	20%	14%	3%
Essai 17	20%	14%	3%
Essai 18	9%	29%	21%
Essai 19	21%	14%	30%
Essai 20	20%	15%	3%
Essai 21	20%	15%	3%
Essai 22	7%	14%	18%
Essai 23	14%	48%	9%
Essai 24	23%	18%	7%

Tableau 6 : Résultat comparaison modèles 5 et 6

3. Influence de la taille des mailles

Nous comparons ces deux projets :

Projet n°	Domaine	Trafic	Nb particules	Taille des mailles
1	petit	1	1000	10
3	petit	1	1000	20

Tableau 7 : Comparaison modèles 1 et 3

Les résultats obtenus pour la différence relative entre les deux projets sont :

	Nox	PM 10	PM 2.5
Essai 1	27%	28%	27%
Essai 2 (T = 20°C)	24%	25%	24%
Essai 3 (T= 30°C)	24%	28%	26%
Essai 4 (vent = 5m/s)	20%	28%	25%
Essai 5 (vent = 15/s)	20%	20%	28%
Essai 6 (Vent= 90°)	20%	27%	19%
Essai 7 (vent =360°)	30%	33%	31%
Essai 8 (Pluies=5 mm/h)	26%	25%	24%
Essai 9 (Pluies=10 mm/h)	20%	22%	21%
Essai 10 (T = 10,5°C)	49%	42%	46%
Essai 11 (T = 9,5°C)	28%	23%	27%
Essai 12 (vent = 10,5m/s)	12%	7%	8%
Essai 13 (vent = 9,5m/s)	43%	47%	43%
Essai 14 (vent = 200°)	27%	22%	25%
Essai 15 (vent = 160°)	26%	18%	24%
Essai 16 (Pluies= 0,75 mm/h)	17%	20%	21%
Essai 17 (Pluies = 1,5 mm/h)	17%	20%	21%
Essai 18 (Pasquil= 1)	31%	28%	28%
Essai 19 (Pasquil= 5)	31%	24%	26%
Essai 20 (Pasquil= 2,8)	15%	20%	17%
Essai 21 (Pasquil= 3,2)	15%	20%	17%
Essai 22 (Rue Audubon)	27%	26%	18%
Essai 23 (rue de Bercy)	9%	9%	11%
Essai 24 (Quai d'Austerlitz)	27%	28%	27%

Tableau 8 : Résultats comparaison modèles 1 et 3

Lorsqu'on passe la taille des mailles de 10 m à 20 m, les concentrations en polluants augmentent. Les valeurs comparées sont les moyennes des concentrations sur la totalité de la zone étudiée. Cette différence dans les résultats n'est pas acceptable et montre une instabilité du logiciel en ce qui concerne la taille des mailles à utiliser dans un modèle.

4. Influence du nombre de particules

Nous comparons ces deux projets :

Projet n°	Domaine	Trafic	Nb particules	Taille des mailles
1	petit	1	1000	10
4	petit	1	500	10

Tableau 9 : Comparaison modèles 1 et 4

Les résultats obtenus pour la différence relative entre les deux projets sont :

	Nox	PM 10	PM 2.5
Essai 1	7%	3%	-3%
Essai 2 (T = 20°C)	0%	4%	3%
Essai 3 (T= 30°C)	-3%	3%	-3%
Essai 4 (vent = 5m/s)	-2%	2%	2%
Essai 5 (vent = 15/s)	0%	0%	1%
Essai 6 (Vent= 90°)	2%	4%	1%
Essai 7 (vent =360°)	-3%	4%	3%
Essai 8 (Pluies=5 mm/h)	4%	-1%	3%
Essai 9 (Pluies=10 mm/h)	0%	0%	-3%
Essai 10 (T = 10,5°C)	4%	0%	1%
Essai 11 (T = 9,5°C)	-1%	1%	-2%
Essai 12 (vent = 10,5m/s)	-3%	0%	-5%
Essai 13 (vent = 9,5m/s)	3%	3%	1%
Essai 14 (vent = 200°)	7%	3%	-2%
Essai 15 (vent = 160°)	7%	3%	-2%
Essai 16 (Pluies= 0,75 mm/h)	2%	-1%	-2%
Essai 17 (Pluies = 1,5 mm/h)	2%	-1%	-2%
Essai 18 (Pasquil= 1)	5%	-1%	-2%
Essai 19 (Pasquil= 5)	10%	2%	0%
Essai 20 (Pasquil= 2,8)	0%	-2%	-5%
Essai 21 (Pasquil= 3,2)	0%	-2%	-5%
Essai 22 (Rue Audubon)	1%	4%	-5%
Essai 23 (rue de Bercy)	-1%	-2%	-4%
Essai 24 (Quai d'Austerlitz)	7%	3%	-3%

Tableau 10 : Résultats comparaison modèles 1 et 4

Le changement du nombre de particules émises, lorsqu'on passe de 1 000 à 500, entraîne une variation faible des valeurs de concentration des polluants. En effet, la différence relative entre le projet 1 et le projet 4 sur l'ensemble des essais est comprise entre -9,58% et +5,30%. Le logiciel est donc assez stable devant la quantité de particules utilisées. Cependant, une différence de 9% ou de 5% est déjà significative ; elle sera de toute façon supérieure à ce qu'on peut attendre d'une limitation de trafic.

5. Influence de la météo

a. Température

Nous appliquons ces variations de température :

	Température	Vitesse du vent	Direction du vent	Pluie	Pasquil	Trafic
Essai 1	10	10	180	0	3	tout
Essai 2	20	10	180	0	3	tout
Essai 3	30	10	180	0	3	tout
Essai 4	9,5	10	180	0	3	tout
Essai 5	10,5	10	180	0	3	tout

Tableau 11 : Essais avec variation de température

Les résultats obtenus sont :

Nox

	Projet 1	Projet 2	Projet 3	Projet 4	Projet 5	Projet 6
Essai 2	0%	5%	-2%	-7%	-7%	-9%
Essai 3	1%	5%	-1%	-8%	-4%	-6%
Essai 4	-3%	13%	-8%	-11%	-9%	-10%
Essai 5	-2%	9%	-7%	-8%	5%	0%

PM10

	Projet 1	Projet 2	Projet 3	Projet 4	Projet 5	Projet 6
Essai 2	0%	14%	-2%	2%	-1%	0%
Essai 3	1%	5%	1%	1%	-4%	-4%
Essai 4	-2%	18%	-2%	-2%	-6%	-3%
Essai 5	1%	12%	-5%	-2%	3%	-4%

PM2.5

	Projet 1	Projet 2	Projet 3	Projet 4	Projet 5	Projet 6
Essai 2	0%	3%	-1%	6%	-2%	10%
Essai 3	2%	0%	2%	1%	-5%	13%
Essai 4	0%	-1%	-1%	4%	-4%	-1%
Essai 5	-4%	-4%	-3%	-1%	6%	12%

Tableau 12 : Comparaison des essais avec variation de température avec l'essai témoin

Les variations de température entraînent des variations très diverses dans les valeurs moyennes de concentration. Dans plusieurs cas, une petite variation (0,5°C), entraîne un écart plus grand par rapport à l'essai témoin que les grandes variations (10°C). Un tel phénomène n'a aucune explication valable. De plus, pour un même essai, les amplitudes dans les différents projets de la variation de concentration découlant d'une modification de la température sont très variables. Ce second phénomène ne s'explique pas non plus.

Le logiciel ARIA est très instable devant les variations de température.

b. Vitesse du vent

Nous réalisons plusieurs essais en changeant la vitesse du vent :

	Température	Vitesse du vent	Direction du vent	Pluie	Pasquill	Trafic
Essai 1	10	10	180	0	3	tout
Essai 6	10	5	180	0	3	tout
Essai 7	10	15	180	0	3	tout
Essai 8	10	9,5	180	0	3	tout
Essai 9	10	10,5	180	0	3	tout

Tableau 13 : Essais avec variation de la vitesse du vent

Nous obtenons les résultats suivants :

Nox

	Projet 1	Projet 2	Projet 3	Projet 4	Projet 5	Projet 6
Essai 6	144%	167%	131%	133%	140%	154%
Essai 7	14%	9%	17%	4%	10%	4%
Essai 8	5%	7%	4%	2%	-17%	-6%
Essai 9	-6%	9%	-12%	-12%	5%	-11%

PM10

	Projet 1	Projet 2	Projet 3	Projet 4	Projet 5	Projet 6
Essai 6	144%	151%	141%	147%	146%	159%
Essai 7	9%	4%	13%	10%	17%	13%
Essai 8	8%	10%	5%	4%	-14%	10%
Essai 9	-6%	-5%	-10%	-9%	7%	-12%

PM2.5

	Projet 1	Projet 2	Projet 3	Projet 4	Projet 5	Projet 6
Essai 6	154%	134%	138%	163%	144%	157%
Essai 7	14%	-13%	18%	20%	8%	17%
Essai 8	6%	-3%	4%	11%	-15%	26%
Essai 9	-4%	-5%	-8%	-5%	5%	-6%

Tableau 14 : Comparaison des essais avec variation de la vitesse du vent avec l'essai témoin

On constate les mêmes instabilités, lorsque le vent varie, que lorsque la température variait. Seul le cas où l'on diminue la vitesse du vent à 5 m/s est cohérent, le pourcentage de variation étant toujours positif. En revanche nous ne pouvons tirer de conclusion sur l'amplitude de celle-ci.

c. Direction du vent

Nous réalisons plusieurs essais en changeant la direction du vent :

	Température	Vitesse du vent	Direction du vent	Pluie	Pasquill	Trafic
Essai 1	10	10	180	0	3	tout
Essai 10	10	10	360	0	3	tout
Essai 11	10	10	270	0	3	tout
Essai 12	10	10	200	0	3	tout
Essai 13	10	10	160	0	3	tout

Tableau 15 : Essais avec variation de la direction du vent

Nous obtenons les résultats suivants :

Nox

	Projet 1	Projet 2	Projet 3	Projet 4	Projet 5	Projet 6
Essai 10	-25%	20%	-12%	-27%	-27%	-39%
Essai 11	12%	14%	13%	3%	2%	-4%
Essai 12	11%	16%	-2%	1%	-1%	-9%
Essai 13	-19%	-8%	-9%	-22%	-5%	-14%

PM10

	Projet 1	Projet 2	Projet 3	Projet 4	Projet 5	Projet 6
Essai 10	-22%	9%	-14%	-24%	-27%	-33%
Essai 11	15%	17%	10%	12%	4%	0%
Essai 12	14%	0%	-5%	11%	0%	7%
Essai 13	-17%	-19%	-5%	-17%	-4%	-1%

PM2.5

	Projet 1	Projet 2	Projet 3	Projet 4	Projet 5	Projet 6
Essai 10	-22%	-5%	-10%	-19%	-29%	-32%
Essai 11	12%	2%	12%	13%	6%	1%
Essai 12	13%	-13%	-3%	10%	1%	18%
Essai 13	-15%	-26%	-4%	-12%	-1%	1%

Tableau 16 : Comparaison des essais avec variation de la direction du vent avec l'essai témoin

Pour les projets 1, 3, 4 et 5 (correspondant au petit domaine), les différents polluants se comportent de la même manière lorsqu'on modifie la direction du vent. En revanche, pour les projets 2 et 6 (correspondant au grand domaine), les polluants se comportent de façon indépendante.

Ce logiciel se comporte de manière incohérente en ce qui concerne les variations de direction du vent.

d. Pluie

Nous réalisons plusieurs essais en changeant la pluviométrie :

	Température	Vitesse du vent	Direction du vent	Pluie	Pasquill	Trafic
Essai 1	10	10	180	0	3	tout
Essai 14	10	10	180	5	3	tout
Essai 15	10	10	180	10	3	tout
Essai 16	10	10	180	0,75	3	tout
Essai 17	10	10	180	1,5	3	tout

Tableau 17 : Essais avec variation de la pluviométrie

Nous obtenons les résultats suivants :

Nox

	Projet 1	Projet 2	Projet 3	Projet 4	Projet 5	Projet 6
Essai 14	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Essai 15	-1%	-1%	-1%	-1%	-1%	-1%
Essai 16	0%	0%	-8%	-4%	0%	0%
Essai 17	0%	0%	-8%	-4%	0%	0%

PM10

	Projet 1	Projet 2	Projet 3	Projet 4	Projet 5	Projet 6
Essai 14	-11%	-12%	-15%	-11%	-11%	-13%
Essai 15	-20%	-22%	-26%	-19%	-20%	-24%
Essai 16	-2%	-2%	-8%	-6%	-2%	-2%
Essai 17	-4%	-4%	-10%	-7%	-4%	-4%

PM2.5

	Projet 1	Projet 2	Projet 3	Projet 4	Projet 5	Projet 6
Essai 14	-2%	-3%	-3%	-2%	-2%	-3%
Essai 15	-5%	-6%	-6%	-4%	-5%	-5%
Essai 16	0%	0%	-5%	0%	0%	0%
Essai 17	-1%	-1%	-5%	0%	-1%	-1%

Tableau 18 : Comparaison des essais avec variation de la pluviométrie avec l'essai témoin

En dehors du projet 3, pour lequel les résultats sont incohérents, les variations liées à une modification de la pluviométrie sont stables.

e. Turbulence de l'atmosphère

La turbulence de l'atmosphère est déterminée par Météo France, suite à un calcul prenant en compte de nombreux paramètres mesurés. Cette turbulence s'exprime par un indice nommé Pasquil qui varie de 0 à 6.

Nous réalisons plusieurs essais en changeant la valeur de Pasquil :

	Température	Vitesse du vent	Direction du vent	Pluie	Pasquil	Trafic
Essai 1	10	10	180	0	3	tout
Essai 18	10	10	180	0	1	tout
Essai 19	10	10	180	0	5	tout
Essai 20	10	10	180	0	2,8	tout
Essai 21	10	10	180	0	3,2	tout

Tableau 19 : Essais avec variation de la turbulence de l'air

Nous obtenons les résultats suivants :

Nox

	Projet 1	Projet 2	Projet 3	Projet 4	Projet 5	Projet 6
Essai 18	-5%	7%	-2%	-6%	-6%	-15%
Essai 19	8%	13%	11%	11%	6%	6%
Essai 20	2%	0%	-8%	-4%	0%	0%
Essai 21	2%	0%	-8%	-4%	0%	0%

PM10

	Projet 1	Projet 2	Projet 3	Projet 4	Projet 5	Projet 6
Essai 18	-4%	7%	-4%	-7%	-5%	7%
Essai 19	14%	13%	10%	13%	12%	12%
Essai 20	1%	0%	-5%	-4%	0%	0%
Essai 21	1%	0%	-5%	-4%	0%	0%

PM2.5

	Projet 1	Projet 2	Projet 3	Projet 4	Projet 5	Projet 6
Essai 18	-4%	-11%	-2%	-4%	-7%	10%
Essai 19	12%	-6%	12%	16%	9%	37%
Essai 20	3%	0%	-4%	1%	0%	0%
Essai 21	3%	0%	-4%	1%	0%	0%

Tableau 20 : Comparaison des essais avec variation de la turbulence de l'air avec l'essai témoin

Suivant la taille de la zone étudiée, une variation de la valeur de Pasquil n'a pas le même impact. Pour les petites variations (0,2), le résultat obtenu est surprenant. En effet, que l'on augmente ou diminue le Pasquil de 0,2, l'impact sur les concentrations est le même. Cependant, comme nous l'avons expliqué précédemment, il s'agit de classes de stabilité, qui sont caractérisées par un entier allant de 1 à 6. Ceci n'explique pourtant pas le fait que lorsqu'on rentre un nombre décimal, la variation n'est pas la même d'un projet à l'autre. On aurait pu penser que le logiciel arrondirait cette valeur à l'entier le plus proche, mais cela ne semble pas être le cas, car alors la variation obtenue serait constamment de 0%.

6. Influence du trafic

Nous réalisons plusieurs essais en changeant le trafic :

	Température	Vitesse du vent	Direction du vent	Pluie	Pasquil	Trafic
Essai 1	10	10	180	0	3	tout
Essai 22	10	10	180	0	3	Rue Audubon
Essai 23	10	10	180	0	3	Rue de Bercy
Essai 24	10	10	180	0	3	Quai Austerlitz

Tableau 21 : Essais avec variation du trafic

Les résultats obtenus sont :

Nox						
	Projet 1	Projet 2	Projet 3	Projet 4	Projet 5	Projet 6
Essai 22	-4%	12%	-4%	-10%	1%	-10%
Essai 23	-12%	11%	-25%	-19%	-15%	-19%
Essai 24	0%	12%	0%	0%	-5%	-2%

PM10						
	Projet 1	Projet 2	Projet 3	Projet 4	Projet 5	Projet 6
Essai 22	-2%	12%	-4%	-1%	-3%	-3%
Essai 23	-10%	4%	-23%	-15%	-34%	-15%
Essai 24	0%	15%	0%	0%	1%	4%

PM2.5						
	Projet 1	Projet 2	Projet 3	Projet 4	Projet 5	Projet 6
Essai 22	0%	-6%	-6%	-2%	-2%	13%
Essai 23	-11%	-6%	-22%	-13%	-15%	-10%
Essai 24	0%	0%	0%	0%	-4%	-1%

Tableau 22 : Comparaison des essais avec variation du trafic avec l'essai témoin

Des résultats inattendus sont obtenus lorsque qu'on modifie le trafic. En effet, si dans la plupart des cas une diminution du trafic entraîne bien une diminution des concentrations, on peut remarquer des points divergents. On retrouve la faille liée à la non-prise en compte des conditions aux limites. De même les variations ne sont pas stables par rapport aux changements de taille des mailles.

De plus, dans le cas du projet 2, le comportement est inversé. Cette variation positive est inexplicée.

Nous réalisons d'autres essais en divisant par deux le trafic pour la petite zone (comparaison entre les projets 5 et 1) et pour la grande zone (comparaison entre les projets 6 et 2).

Pour la petite zone, les résultats sont les suivants :

	Nox	PM 10	PM 2.5
Essai 1	-49%	-50%	-48%
Essai 2	-52%	-50%	-50%
Essai 3	-51%	-52%	-52%
Essai 4	-52%	-52%	-51%
Essai 5	-45%	-49%	-43%
Essai 6	-50%	-49%	-50%
Essai 7	-50%	-46%	-51%
Essai 8	-59%	-60%	-58%
Essai 9	-43%	-43%	-43%
Essai 10	-50%	-53%	-53%
Essai 11	-53%	-54%	-51%
Essai 12	-54%	-56%	-54%
Essai 13	-40%	-41%	-40%
Essai 14	-49%	-50%	-49%
Essai 15	-49%	-50%	-49%
Essai 16	-49%	-50%	-48%
Essai 17	-49%	-50%	-48%
Essai 18	-50%	-50%	-50%
Essai 19	-50%	-50%	-50%
Essai 20	-50%	-50%	-50%
Essai 21	-50%	-50%	-50%
Essai 22	-46%	-50%	-50%
Essai 23	-50%	-63%	-51%
Essai 24	-51%	-49%	-51%

Tableau 23 : Résultats comparaison modèles 1 et 5

Pour la grande zone, les résultats sont les suivants :

	Nox	PM 10	PM 2.5
Essai 1	-48%	-54%	-62%
Essai 2	-55%	-60%	-59%
Essai 3	-53%	-58%	-57%
Essai 4	-58%	-62%	-62%
Essai 5	-52%	-61%	-55%
Essai 6	-50%	-53%	-58%
Essai 7	-50%	-50%	-48%
Essai 8	-54%	-54%	-51%
Essai 9	-58%	-57%	-62%
Essai 10	-74%	-72%	-73%
Essai 11	-56%	-61%	-62%
Essai 12	-59%	-51%	-48%
Essai 13	-51%	-44%	-48%
Essai 14	-48%	-55%	-62%
Essai 15	-48%	-55%	-62%
Essai 16	-48%	-54%	-62%
Essai 17	-48%	-54%	-62%
Essai 18	-59%	-54%	-53%
Essai 19	-51%	-55%	-44%
Essai 20	-48%	-54%	-62%
Essai 21	-48%	-54%	-62%
Essai 22	-58%	-60%	-54%
Essai 23	-62%	-63%	-64%
Essai 24	-55%	-58%	-62%

Tableau 24 : Résultats comparaison modèles 2 et 6

Dans le cas de la petite zone, une réduction de moitié du trafic diminue de 50% la concentration en polluants dans la zone d'étude.

Dans le cas de la grande zone, une réduction de moitié du trafic diminue de 56% la concentration en polluants dans la zone d'étude.

VI. Comparaison des différents modèles de calcul

Pour comparer les différents modèles de calcul, nous avons appliqué un scénario de météo et un scénario de trafic au modèle gaussien et au modèle MSS, sur la même zone géographique.

Pour ces mêmes conditions, voici les moyennes des concentrations dans la zone témoin :

	gaussien	MSS	Différence relative (gaussien-MSS) / MSS
Nox	161	186	-13%
pm10	16	23	-29%
pm2.5	13	15	-15%

Tableau 25 : Comparaison des modèles de calcul

Les variations sont très importantes et changent d'un polluant à l'autre (ex Nox : 13%)

VII. Tests réalisés par l'Agence d'Ecologie Urbaine

Suite à nos séries de tests, Mlle Amandine Gitton, de l'AEU a effectué des simulations complémentaires sur une zone proche du boulevard Haussmann et les a analysées en suivant le protocole mis en place par la SCM ; les résultats sont les suivants.

On considère deux zones de tailles différentes pour déterminer l'impact du choix de la zone sur les concentrations. La grande zone de calcul est en rouge, la petite zone de calcul est en noir (la zone d'étude où les concentration sont moyennées est située au centre de la petite zone de calcul).

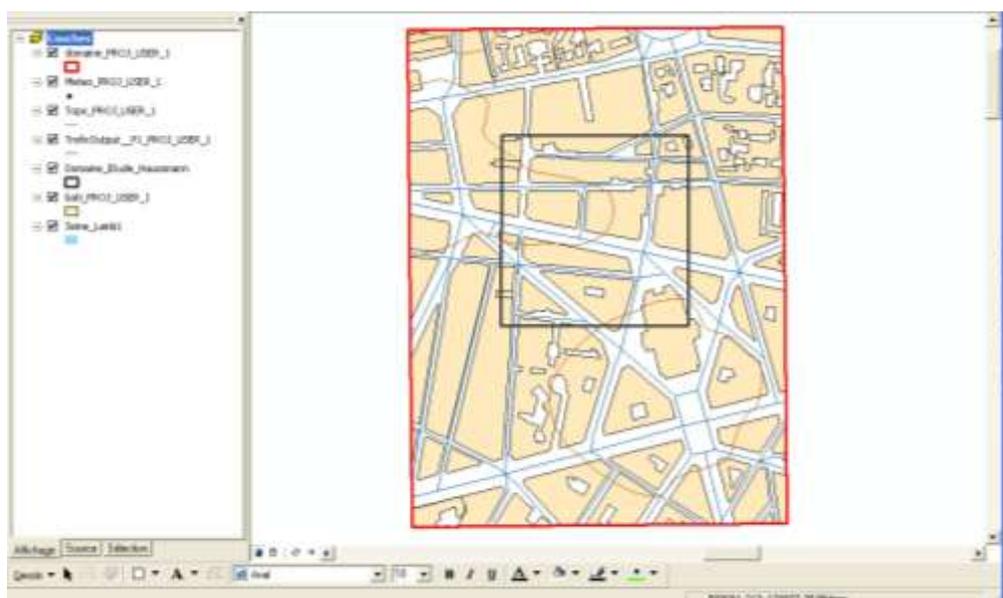


Figure 26 : les deux zones de calcul des tests d'Haussmann

	Température	Vitesse du vent	Direction du vent	Pluie	Pasquill	Trafic
Essai 1	10	10	180	0	3	tout
Essai 2	20	10	180	0	3	tout
Essai 3	30	10	180	0	3	tout
Essai 4	9,5	10	180	0	3	tout
Essai 5	10,5	10	180	0	3	tout
Essai 6	10	5	180	0	3	tout
Essai 7	10	15	180	0	3	tout
Essai 8	10	9,5	180	0	3	tout
Essai 9	10	10,5	180	0	3	tout
Essai 10	10	10	360	0	3	tout
Essai 11	10	10	270	0	3	tout
Essai 12	10	10	200	0	3	tout
Essai 13	10	10	160	0	3	tout

Tableau 27 : Paramètres d'essais

1) Influence de la taille de la zone

	ESSAI 1	ESSAI 2	ESSAI 3	ESSAI 4	ESSAI 5	ESSAI 6	ESSAI 7	ESSAI 8	ESSAI 9	ESSAI 10	ESSAI 11	ESSAI 12	ESSAI 13
Nox	32%	24%	24%	18%	17%	26%	35%	51%	20%	44%	41%	11%	40%
PM10	32%	28%	20%	22%	29%	47%	46%	29%	35%	42%	38%	11%	36%
PM2,5	32%	33%	36%	25%	44%	37%	62%	31%	45%	30%	36%	33%	36%

Tableau 28 : Comparaison des essais avec variation de tailles de la zone

La concentration sur la plus grande zone est toujours supérieure à celle de la petite zone : le logiciel ne tient pas compte des conditions aux limites.

2) Influence de la vitesse du vent

	Température	Vitesse du vent	Direction du vent	Pluie	Pasquill	Trafic
Essai 1	10	10	180	0	3	tout
Essai 6	10	5	180	0	3	tout
Essai 7	10	15	180	0	3	tout
Essai 8	10	9,5	180	0	3	tout
Essai 9	10	10,5	180	0	3	tout

Tableau 29 : Paramètres d'essais pour les variations de vitesse de vent

Les résultats des essais 6 à 9 se trouvent dans le tableau suivant :

Petite zone	ESSAI 6	ESSAI 7	ESSAI 8	ESSAI 9
Nox	151%	-1%	5%	-5%
PM10	148%	-2%	5%	-6%
PM2,5	146%	0%	7%	-4%
Grande zone	ESSAI 6	ESSAI 7	ESSAI 8	ESSAI 9
Nox	141%	1%	21%	-13%
PM10	178%	9%	4%	-4%
PM2,5	156%	23%	6%	5%

Tableau 29 : Comparaison des essais avec variation des températures

On observe que lorsqu'on diminue les vitesses de vent (essais 6 et 8), les concentrations augmentent.

Mais l'inverse n'est pas toujours vrai : si on observe plus particulièrement l'essai 7, on constate que, dans la grande zone, une augmentation des vitesses entraîne une augmentation des concentrations, ce qui n'est pas cohérent.

3) Influence de la direction du vent

	Température	Vitesse du vent	Direction du vent	Pluie	Pasquill	Trafic
Essai 1	10	10	180	0	3	tout
Essai 10	10	10	360	0	3	tout
Essai 11	10	10	270	0	3	tout
Essai 12	10	10	200	0	3	tout
Essai 13	10	10	160	0	3	tout

Tableau 30 : paramètres des essais avec variation de la direction du vent

Les résultats des essais 10 à 13 se trouvent dans le tableau suivant :

Petite zone	ESSAI 10	ESSAI 11	ESSAI 12	ESSAI 13
Nox	-22%	-4%	-4%	10%
PM10	-21%	-3%	-5%	9%
PM2,5	-20%	-4%	-4%	11%
Grande zone	ESSAI 10	ESSAI 11	ESSAI 12	ESSAI 13
Nox	-14%	3%	-19%	17%
PM10	-15%	2%	-20%	13%
PM2,5	-21%	-1%	-3%	15%

Tableau 31 : Comparaison des essais avec variation de la direction du vent

Les variations sont faibles concernant les essais 11 et 12 dans la petite zone, mais dans la grande zone, les polluants se comportent de manière très différente selon l'orientation du vent.

4) Influence des températures

	Température	Vitesse du vent	Direction du vent	Pluie	Pasquill	Trafic
Essai 1	10	10	180	0	3	tout
Essai 2	20	10	180	0	3	tout
Essai 3	30	10	180	0	3	tout
Essai 4	9,5	10	180	0	3	tout
Essai 5	10,5	10	180	0	3	tout

Tableau 32 : paramètres des essais avec variation de la température

Les résultats des essais 2 à 5 se trouvent dans le tableau suivant :

Petite zone	ESSAI 2	ESSAI 3	ESSAI 4	ESSAI 5
Nox	0%	0%	0%	0%
PM10	-1%	-1%	-1%	-1%
PM2,5	-1%	-2%	-1%	-2%
Grande zone	ESSAI 2	ESSAI 3	ESSAI 4	ESSAI 5
Nox	-6%	-6%	-11%	-11%
PM10	-4%	-10%	-8%	-3%
PM2,5	0%	2%	-6%	7%

Tableau 33 : Comparaison des essais avec variation de la température

Dans la petite zone, les concentrations restent stables (ou en légère baisse) quelle que soit la variation de la température.

Dans la grande zone d'étude, les concentrations diminuent un peu plus fortement, que les températures baissent ou augmentent.

Les essais réalisés par l'AEU donnent les mêmes résultats que ceux réalisés par la SCM.

VIII. Simulation avec le modèle Saturne

Aucune simulation avec le modèle Saturne n'a pu être menée à bien que ce soit celle lancée par la SCM ou par M. Chakar. (AEU).

Soit le logiciel buggait en cours de simulation, ou donnait des résultats aberrants, soit le temps de calcul la rendait inexploitable.

IX. Difficultés rencontrées

L'interface du logiciel nécessite un temps d'adaptation conséquent, notamment à cause du nombre de fenêtres, de fichiers d'entrée et de fichiers de sorties.

De plus, le nombre de fichiers d'entrée et leurs différents formats interdisent toute manipulation manuelle des données d'entrée ; il faut nécessairement passer par Arcgis pour modifier les couches. Pour une étude plus complète, il aurait été bon de pouvoir travailler en "batch" : alimenter le logiciel avec des tableaux de paramètres, qu'il traite automatiquement, mettant les résultats dans des fichiers différents à chaque fois.

De même la récupération des résultats est laborieuse, car tout se fait manuellement : autant la commande d'extraction que la dénomination des fichiers de sorties.

La forme aussi est perfectible :

- Certaines fenêtres ont des boutons « suivant » alors que le passage à l'étape suivante est automatique et l'emploi du bouton fait bugger le logiciel ;
- En fin de calcul, les fenêtres des différentes étapes restent affichées ; ce n'est grave sur une simulation, mais à la longue c'est une perte de temps considérable pour l'opérateur.
- Certaines recommandations devraient être faites à l'utilisateur (ex : Pasquil = nombre entier)

X. Conclusion

Le logiciel manque de stabilité sur la plupart des paramètres physiques ; seules les variations sur la pluviométrie donnent des résultats cohérents.

Les paramètres de simulation qui ne devraient pas impacter les résultats sont eux aussi instables :

- Le changement du domaine de calcul a un impact très important sur les concentrations ;
- Le changement de taille de maille aussi ;
- Seul le changement de nombre de particules fictives garde une cohérence dans les résultats et permet de réduire le temps de calcul.
- Dans l'ensemble le logiciel réagit bien au changement de trafic, mais les résultats restent entachés d'incohérences concernant les paramètres de simulations (taille de la zone, taille des mailles).

Pour un même scénario de météo et de trafic, le modèle gaussien donne des valeurs entre 15% et 30% inférieures au modèle MSS.

XI. Remarques pour une utilisation future.

Dans le but d'exploiter le logiciel et obtenir des résultats ayant du sens, nous faisons quelques recommandations.

Concernant l'instabilité au niveau de la taille de la zone, il faut déterminer une taille minimale à partir de laquelle une augmentation de la surface prise en compte dans la simulation n'engendre pas de variation des résultats.

En toute logique cette taille minimale varie en fonction du lieu il faut donc la caractériser en plusieurs point représentatifs de la ville.

L'utilisation de cette taille minimale entraînera inévitablement des temps de calculs plus importants mais assurera des résultats plus fiables. Dans le cas qui nous occupe, il est très possible que cette "zone minimale" soit en réalité toute la Région Parisienne. Autrement dit, comme il ne tient pas compte des valeurs aux limites, le logiciel ne peut, sous la forme présente, être employé que sur une zone dont l'extérieur est "vide".

Concernant l'instabilité face aux variations météorologiques, le plus simple est pour l'instant de garder ces paramètres constants et de rester sur des études comparatives de trafic en ayant bien en tête que les résultats affichés n'ont pas valeur de prédiction.