

Difficultés rencontrées lors de l'étude de l'influence des écrans acoustiques sur la dispersion de la pollution

LE CAS DE GIVORS

Certu

centre d'Études sur les réseaux,
les transports, l'urbanisme
et les constructions publiques
9, rue Juliette Récamier
69456 Lyon Cedex 06
téléphone: 04 72 74 58 00
télécopie: 04 72 74 59 00
www.certu.fr

Sétra

service d'Études techniques
des routes et des autoroutes
46, avenue Aristide Briand
B.P. 100
92225 Bagneux
téléphone: 01 46 11 31 31
télécopie: 01 46 11 31 69
www.setra.fr

Avis aux lecteurs

La collection Rapports d'étude du Certu se compose de publications proposant des informations inédites, analysant et explorant de nouveaux champs d'investigation. Cependant l'évolution des idées est susceptible de remettre en cause le contenu de ces rapports.

Le Certu publie aussi les collections :

Dossiers : Ouvrages faisant le point sur un sujet précis assez limité, correspondant soit à une technique nouvelle, soit à un problème nouveau non traité dans la littérature courante. Le sujet de l'ouvrage s'adresse plutôt aux professionnels confirmés. Le Certu s'engage sur le contenu mais la nouveauté ou la difficulté des sujets concernés implique un certain droit à l'erreur.

Références : Cette collection comporte les guides techniques, les ouvrages méthodologiques et les autres ouvrages qui, sur un champ donné assez vaste, présentent de manière pédagogique ce que le professionnel courant doit savoir. Le Certu s'engage sur le contenu.

Débats : Publications recueillant des contributions d'experts d'origines diverses, autour d'un thème spécifique. Les contributions présentées n'engagent que leurs auteurs.

Catalogue des publications disponible sur <http://www.certu.fr>

NOTICE ANALYTIQUE

Organismes commanditaires :

CERTU, SETRA

Titre : Difficultés rencontrées lors de l'étude de l'influence des écrans acoustiques sur la dispersion de la pollution

Sous-titre : Le cas de Givors

Date d'achèvement :

septembre 2005

Langue : français

Organisme auteur :

CETE de Lyon

Rédacteurs ou coordonnateurs :

NOURREDIN Sakhraoui

PREMAT Eric

Relecteurs assurance qualité :

CALOVI Laurence

VINOT Jean-Pierre

Résumé :

Surtout en milieu urbain et périurbains, les infrastructures routières sont bordées de part et d'autre par des écrans acoustiques afin de lutter contre les effets dus au bruit des transports routiers. Pour l'étude air les modèles numériques généralement retenus afin d'étudier la dispersion de la pollution ne permettent pas de prendre en compte ces écrans et d'étudier leur influence. Le but du présent rapport a été d'étudier quelles sont les difficultés à mettre en œuvre des modèles numériques spécifiques permettant d'étudier l'influence de tels écrans. Pour le cas particulier de la traversée de Givors (69) traversée par l'autoroute A47, on a comparé les résultats sur l'état initial (sans écrans) entre une simulation par des essais en soufflerie réalisée par l'école centrale de Lyon avec un modèle numérique avec une relative conclusion sur une certaine similitude entre les résultats obtenus par les deux méthodes.

Remarques complémentaires :

Mots clés : écrans acoustiques, pollution atmosphérique de proximité

Diffusion : libre

Nombre de pages :
50

Confidentialité : non

Bibliographie : oui

Sommaire

1. Introduction	7
2. Les essais en soufflerie	9
2.1 Objectifs de l'étude	9
2.2 Les moyens d'essai	9
2.2.1 Définition de la maquette :	9
2.2.2 Description de l'installation expérimentale :	10
2.3 Définition des conditions expérimentales	13
2.3.1 Les conditions météorologiques et le profil du vent:	13
2.3.2 Simulation des émissions automobiles :	14
2.3.3 Les conditions d'essais	14
2.4 Résultats	15
3. Simulations et résultats	17
3.1 Présentation des différents modèles de dispersion	17
3.1.1 Modèles gaussiens	17
3.1.2 Modèles lagrangiens	18
3.1.3 Modèles numériques eulériens	19
3.1.4 avantage et inconvénients	22
3.2 Réalisation du maillage	22
3.2.1 Géométrie :	22
3.2.2 maillage :	23
3.2.3 Organigramme de fonctionnement	24
3.3 Simulation	25
3.3.1 Conditions de simulation	25
3.3.2 Séquence de modélisation sous Fluent	27
3.4 Résultats :	28
3.4.1 Problèmes rencontrés lors du maillage :	28
3.4.2 Résultats de la simulation :	29
4. Conclusion :	37
5. Bibliographie :	39
6. Annexes	41
6.1.1 ANNEXE 1 : LES RESULTATS DE LA SOUFFLERIE	41
6.1.2 ANNEXE 2 : INTERFANCE DE GAMBIT	42
6.1.3 ANNEXE 3 : GEOMETRIE DES SITES	43
6.1.4 ANNEXE 4 : MAILLAGE DES SITES	46
6.1.5 ANNEXE 5 : INTERFANCE DE FLUENT	47
6.1.6 ANNEXE 6 : PROFIL DU VENT DU NORD	48
6.1.7 ANNEXE 7 : PROFILS DES RESULTATS	49

1. Introduction

La pollution atmosphérique a longtemps été imputée, en grande partie, aux installations industrielles et domestiques. Sauf dans quelques cas bien particuliers, ce constat a perdu de sa pertinence en raison du développement des transports automobiles. La pollution atmosphérique, dans bon nombre d'agglomérations, a désormais pour origine majeure les transports routiers.

Depuis quelques années, la médiatisation des épisodes de pics de pollution a conduit l'opinion publique à prendre conscience du problème et la préoccupation s'en est trouvée renforcée auprès des différents acteurs de la vie publique en France. Cet état a conduit le gouvernement français à proposer une loi sur l'air visant essentiellement les émetteurs mobiles que sont les véhicules à moteur thermique et a débouché sur la mise en place de la Loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie. Cette contrainte doit donc être prise en considération dans les projets routiers, aux différents stades d'études.

Le grand nombre d'études épidémiologiques et toxicologiques menées depuis 15 à 20 ans met en évidence de façon acquise aujourd'hui, une relation entre santé et pollution de l'air. Cette relation bien que ténue est soulignée par des études épidémiologiques réalisées sur une importante population.

Par exemple l'étude ERPURS (Evaluation des Risques de la Pollution Urbaine pour la Santé) réalisée sur la population de l'Ile de France montre que pour le dioxyde d'azote une augmentation des concentrations de $21 \mu\text{g}/\text{m}^3$ entraîne :

- une augmentation de 3 % du nombre journalier d'hospitalisations pour asthme,
- une augmentation de 6 % du nombre journalier de visites à domicile de SOS Médecins pour affection des voies respiratoires inférieures,
- une augmentation de 7 % du nombre journalier d'arrêts de travail à EDF - GDF pour affections respiratoires.

Si la concentration s'élève de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$, alors les différentes augmentations sont respectivement de + 17 %, + 15 % et + 20 %.

Le dioxyde d'azote ainsi que d'autres polluants, qui affectent la santé des citoyens, sont générés en partie considérable par le trafic automobile. Cette pollution est plus importante au voisinage des axes routiers et des autoroutes (pollution de proximité). Elle dépend des conditions de circulation, de la composition du parc automobile et aussi des paramètres qui influent sur la dispersion des polluants (météorologie locale et configuration de la voirie).

Un autre élément vient s'ajouter à ceux cités précédemment, ce sont les écrans acoustiques; nous avons tenté d'évaluer, dans cette étude, l'incidence de ces derniers sur la pollution atmosphérique en situation de proximité et leur efficacité en termes d'amélioration de l'exposition potentielle des riverains au bord des infrastructures de type autoroutières.

L'autoroute A47, une des premières de France, doit faire l'objet d'une requalification et d'une remise aux normes dans le cadre de l'instruction du 26 février 1993. Ce projet de réhabilitation a pour objectif de regrouper et simplifier les points d'échanges et surtout d'améliorer l'environnement acoustique. Une étude d'environnement acoustique a été réalisée sur le site afin de déterminer l'impact du réaménagement.

Cette étude acoustique a permis de dimensionner les écrans acoustiques de part et d'autre de l'autoroute aménagée. A partir de ces résultats et afin de mesurer l'impact des murs une modélisation sur maquette a été confiée à l'école centrale de Lyon afin d'évaluer les incidences des nouveaux écrans acoustiques sur la dispersion des polluants.

Trois résultats principaux ont été mis en évidence :

- les concentrations augmentent légèrement sur l'emprise de l'autoroute, (confinement entre écrans).
- dans une première bande d'environ 70 à 100 m de largeur, les concentrations sont abaissées de 10 à 30 % (modification de la hauteur d'émission de la source). Ce résultat est d'autant plus intéressant qu'il s'agit des lieux dans lesquels, les mesures de l'état initial ont mises en évidence une qualité de l'air médiocre.
- au delà de 100 m on constate une légère augmentation des concentrations dans des secteurs assez éloignés pour que les teneurs restent modérées.

Les progrès effectués dans le domaine des codes de calculs permettent aujourd'hui de modéliser des situations complexes. Dans cette étude, nous avons tenté de tester la réponse fournie par ces codes aux problèmes générés par les murs anti-bruits et plus généralement aux sites complexes situés en proximité de voies.

Cette étude s'est déroulée en deux parties. Nous nous sommes attachés dans la première partie à faire un inventaire des modèles de simulation capables de modéliser une dispersion atmosphérique et à choisir le mieux adapté dans le but de reproduire les essais de dispersion réalisés en soufflerie. Une fois ce travail effectué nous avons tenté de réaliser une simulation et de détecter l'influence des différents paramètres (dimension et nature des écrans acoustiques, conditions météorologiques...) sur la dispersion de la pollution.

2. Les essais en soufflerie

2.1 Objectifs de l'étude

Une étude en soufflerie a été réalisée à l'Ecole Centrale de Lyon, en vue de déterminer les concentrations de polluants émis par la circulation automobile à proximité de l'autoroute A47 dans la traversée de Givors.

Cette étude avait pour principale objectif d'évaluer l'impact des écrans acoustiques sur la dispersion des polluants dans le proche voisinage de l'A47. La question essentielle est de savoir quel est l'effet des écrans sur la qualité de l'air au sol, en altitude et au droit des façades. Nous faisons ici un bref résumé des résultats obtenus à cette époque.

2.2 Les moyens d'essai

2.2.1 Définition de la maquette :

D'une manière générale le choix du domaine d'étude et de l'échelle géométrique de la maquette du site à étudier est un compromis qui tient compte :

- des conditions de similitude à respecter (nombres de Reynolds, de Froude,...),
- de la finesse des observations,
- des dimensions comparées de la zone à étudier et de la veine d'essai,
- du rapport à respecter de la vitesse du rejet à la vitesse d'écoulement.

La zone d'étude retenue concerne la partie de l'A47 comprise entre le pont de Montrond et la voie ferrée la plus à l'ouest soit une distance maximale de 720 mètres. La profondeur du site concerne une bande de 100 à 120 mètres de part et d'autre de l'autoroute. La maquette reproduit exactement le relief et le bâti compris dans ce domaine pour les situations actuelle et future. Une échelle géométrique du 1/100^{ème} a été retenue afin d'étudier plus précisément l'influence des écrans acoustiques sur la dispersion. Le domaine reproduit sur maquette réalisée à partir des plans fournis par la DDE du Rhône et le CETE de Lyon, est représenté sur la figure 1 pour le site actuel qui constitue l'état présent de l'autoroute de Givors et sur la figure 2 pour le site futur qui représente l'autoroute aménagée. Quant au domaine que nous avons simulé numériquement, ce dernier est entouré de pointillés rouges.

2.2.1.1 *Le site actuel*

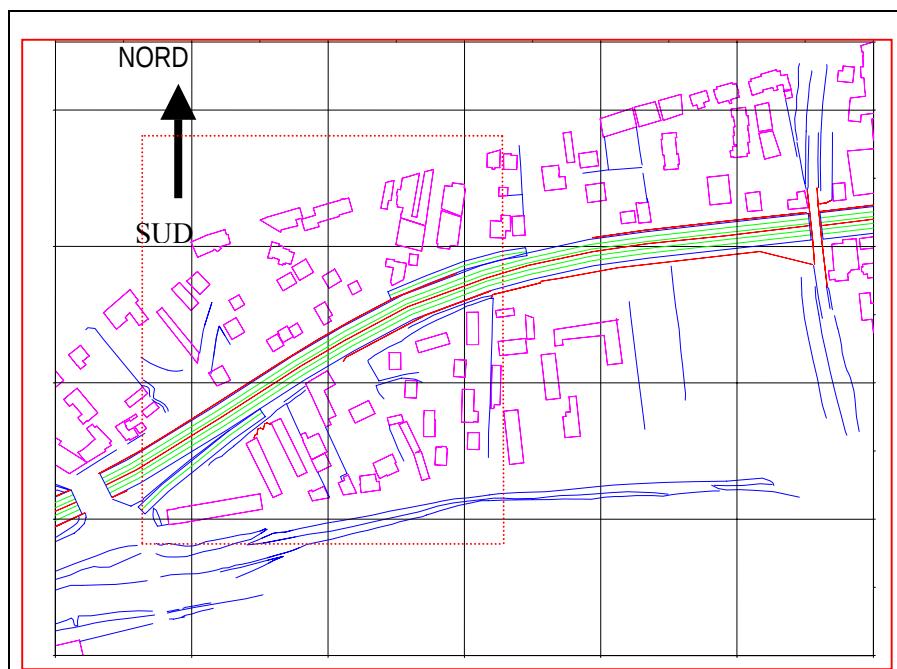


Figure 1 - **Domaine d'étude en soufflerie - Situation actuelle.**

2.2.1.2 *Le site futur*

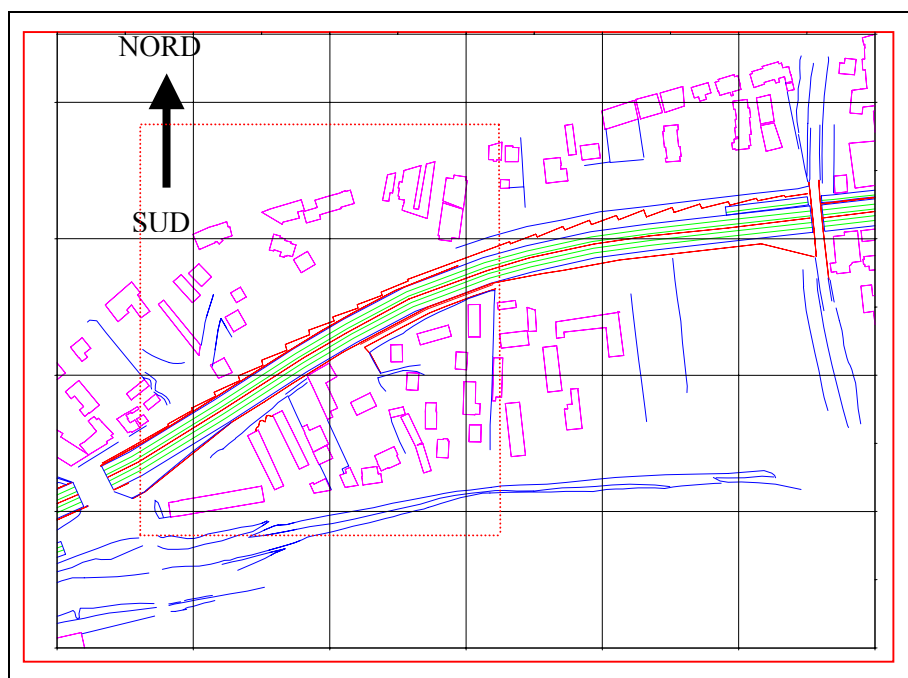


Figure 2 - **Domaine d'étude en soufflerie - Situation future.**

2.2.2 Description de l'installation expérimentale :

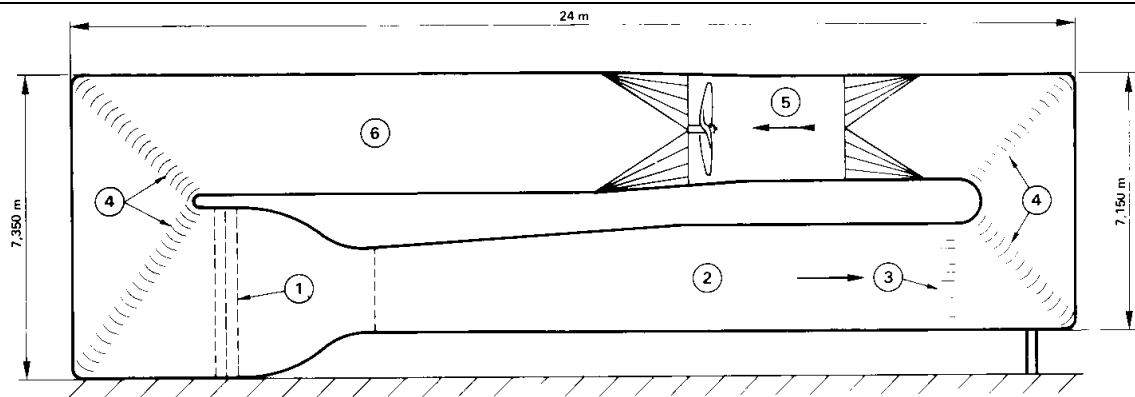
La modélisation physique proposée est de type aéraulique. Les expériences sont conduites dans la soufflerie de diffusion atmosphérique de l'Ecole Centrale de Lyon, située dans les locaux du laboratoire de Mécanique des Fluides et d'Acoustique.

Cette installation est de type à retour avec mise à l'atmosphère en aval de la veine d'essai (figure 3). Le circuit comprend :

- Un ventilateur axial entraîné par un moteur à courant continu équipé d'un variateur à thyristors. ⑤
- Un système d'échangeurs destiné à réguler la température de l'air ambiant dans la veine d'essai. ③
- Une chambre de tranquillisation avec filtre fins et nids d'abeilles. ①
- Une veine d'essai. ②
- La partie amont de la veine d'essai, d'une longueur de 7.2 m, est utilisée pour modifier les caractéristiques dynamiques et thermiques de l'écoulement initial. Elle comporte les éléments suivants :
 - Une grille de turbulence, placée à l'entrée de la veine d'essai. ③
 - Un dispositif de déclenchement de la couche limite. ⑥

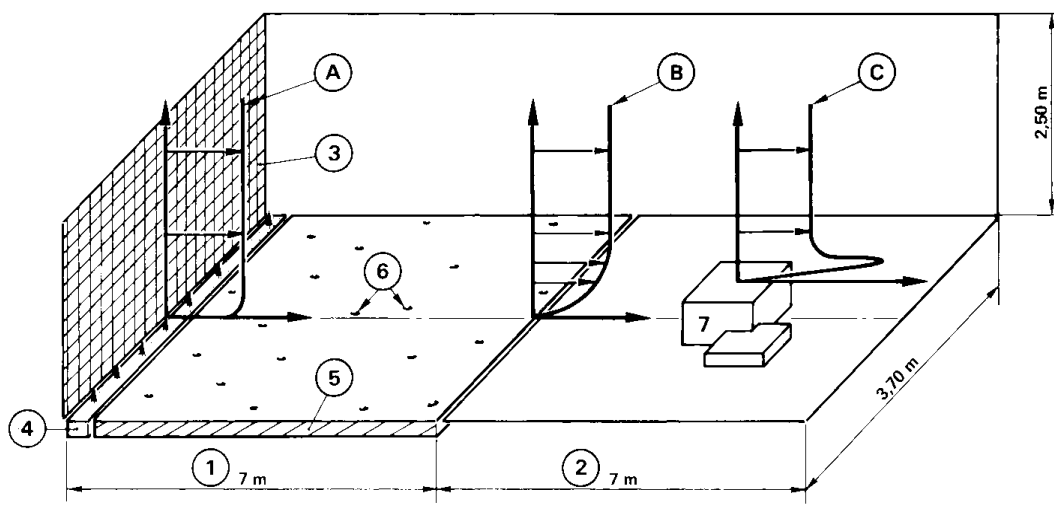
La partie aval du plancher est conçue pour recevoir la maquette à étudier. Elle comporte un plateau tournant de 3.6 m de diamètre et elle est réglable en hauteur, comme la partie amont du plancher. La construction de la maquette est adaptée au type de simulation.

La soufflerie permet de reproduire en similitudes des écoulements atmosphériques neutres. Il est possible de reproduire des conditions de stratifications thermiques stables et instables en installant des échangeurs froids (refroidissement du plancher à l'azote liquide) et des échangeurs chauds (chauffage du plancher par des résistances électriques). Ces dispositifs sont lourds dans leur mise en œuvre et entraînent un investissement en produits consommables non négligeable.



Coupe longitudinale de la soufflerie de diffusion

- ① Chambre de tranquillisation, ② Veine d'essais, ③ Echangeurs chauds
④ Coude à aubages, ⑤ Ventilateur, ⑥ Veine de retour.



Veine d'essais : ① Plancher amont, ② Plancher aval, ③ Grille de turbulence, ④ Dispositif de soufflage, ⑤ Echangeurs à résistances chauffantes ou à azote liquide, ⑥ Rugosités de paroi, ⑦ Maquette en cours d'expérimentation.

Ecoulement : A Profil initial, B Profil similaire au profil "naturel", C Profil résultant au passage de l'obstacle.

Figure –3 Schéma de l'installation expérimentale

2.3 Définition des conditions expérimentales

2.3.1 Les conditions météorologiques et le profil du vent:

Le domaine d'étude retenu se trouve légèrement à l'Ouest de la vallée du Rhône. Il est donc réaliste de retenir comme direction générale du vent à étudier sur la maquette, les orientations de nord et de sud, correspondant aux vents dominants dans la vallée du Rhône.

Les essais en soufflerie ont été réalisés pour une atmosphère neutre (gradient thermique vertical égal à $-1/100$ m dans l'atmosphère). Cette condition est tout à fait justifiée par l'approche locale suivie dans cette étude, où les processus de dispersion sont en effet principalement régis par la turbulence mécanique produite par le frottement de l'écoulement de l'air sur le sol. Deux vitesses du vent, mesurées à 80 mètres par rapport au sol, ont été étudiées, l'une correspondant à un régime normal du vent ($U_{80m} = 4.50$ m/s), l'autre à un régime de vent faible ($U_{80m} = 1.0$ m/s).

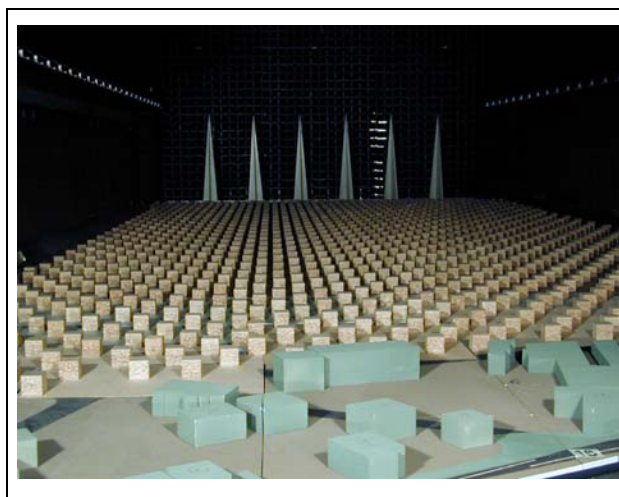
Il est en général très rare de disposer des caractéristiques réelles du vent au niveau du sol sur les sites à étudier en soufflerie. Cependant il est pratique d'utiliser les profils théoriques caractéristiques des basses couches de l'atmosphère, faisant intervenir la longueur de rugosité aérodynamique du sol z_0 et l'exposant n de la loi de puissance du vent moyen. Compte tenu des caractéristiques du site à étudier dans ce projet, une longueur de rugosité de 0.3 m et un exposant de l'ordre de 0.28 ont été retenus. Ces valeurs correspondent à un bâti moyen de périphérie de grande ville ou de villes de moyenne importance comme Givors. La référence de vitesse en soufflerie a été choisie à une hauteur équivalente à 80 m sur le site. La détermination de la vitesse du vent à des hauteurs différentes de 80 m peut être estimée à partir du profil théorique par l'intermédiaire de la relation suivante :

$$\left(\frac{U}{U_{80m}} \right) = \left(\frac{Z}{Z_{80m}} \right)^{0,28}$$

La vitesse du vent à 10 m du sol, pour une référence de vent à 80 m de 4,5 m/s est alors :

$$U_{10m} = 4,50 \cdot \left(\frac{10}{80} \right)^{0,28} = 2,50 \text{ m/s}$$

Ces caractéristiques de vent sont établies en soufflerie, à l'entrée de la maquette, au moyen d'un dispositif comprenant des « spires » d'Irwin de 1 m de hauteur et des éléments de rugosité cubiques de 0,05 m, espacés régulièrement de 0,16 m sur le plancher de la soufflerie (photographie 1). Ce dispositif permet d'obtenir une épaisseur de couche limite à l'entrée de la maquette de 1 m, les caractéristiques turbulentes de la couche limite ainsi obtenue en soufflerie sont représentative de la couche limite atmosphérique neutre simulée.



Photographie 1 - Dispositif d'Irwin d'ajustement des caractéristiques cinématiques du vent en amont de la maquette.

2.3.2 Simulation des émissions automobiles :

L'autoroute A47 dans le domaine d'étude comprend 4 voies, 2 voies par sens de circulation. La turbulence induite par le passage des véhicules conduit à un mélange initial important des polluants émis aux pots d'échappement. Ce mélange initial peut être assimilé à un rejet volumique des polluants dont les dimensions correspondent au mètre couple moyen des véhicules (surface au vent des véhicules). En soufflerie, ce mélange initial des polluants a été reproduit au moyen d'un tuyau poreux de 20 mm de diamètre, dans lequel circule un mélange d'air et d'éthane dont la concentration est ajustée en fonction de la dynamique de mesure envisagée.

Le dispositif utilisé pour cette étude comprend un tuyau poreux par sens de circulation, soit une source par deux voies. Chaque tuyau a une longueur de 3 mètres, ce qui correspond dans la réalité à simuler un tronçon d'autoroute de 300 mètres de longueur. L'alimentation en air et en éthane est réalisée au moyen de deux débitmètres massiques dont les débits volumiques de sortie sont respectivement de 1800 l/h et de 79,85 l/h.

2.3.3 Les conditions d'essais

Les paramètres retenus pour les essais en soufflerie sont les suivants :

- Les conditions météorologiques :
 - Direction du vent : NORD ou SUD.
 - Vitesse du vent : 4,50 m/s et 1 m/s à 80 mètres du sol.
- Les émissions réelles : elles correspondent à des émissions de NO_x , pour l'heure de pointe du soir, sur un tronçon de 300 mètres d'autoroute 2 sens de circulation confondus. La quantité de NO_x ainsi rejetée est donc de 2,9 kg par heure, soit un débit de 0,00081 kg/s.

2.4 Résultats

Les résultats de l'étude sont présentés pour des concentrations moyennes de NO_x, exprimées en µg/m³, elles sont déduites des concentrations volumiques moyennes mesurées en soufflerie. Ces mesures sont bien sûr transposables à d'autres polluants ; il faut simplement s'assurer qu'ils peuvent être considérés comme des scalaires passifs (sans action sur l'écoulement, suivant parfaitement le mouvement du fluide et sans réactions chimique). Elles sont également transposables à d'autres vitesses du vent par intermédiaire de la similitude des champs des vitesses entre le site et la maquette. Nous rappelons que la concentration moyenne d'un polluant sur le site C_{site} (µg/m³), pour une vitesse de vent de référence U_{site} (m/s) et un débit à la source de ce polluant Q_{site} (kg/s), calculé sur un tronçon de 300 m deux sens de circulation confondus, est obtenue par la relation suivante :

$$C_{site} = CTR \cdot \frac{Q_{site}}{U_{site}} \cdot 10^9$$

CTR est le coefficient de transfert atmosphérique réduit. Les résultats des essais concernant les deux sites (actuel et futur) sont présentés sous forme de tableau en Annexe 1.

Trois résultats principaux se dégagent, les concentrations augmenteront légèrement sur l'emprise de l'autoroute, (confinement entre écrans). Dans une première bande d'environ 70 à 100 m de largeur, les concentrations seront abaissées de 10 à 30 % (modification de la hauteur d'émission de la source). Ce résultat est d'autant plus intéressant qu'il s'agit des lieux dans lesquels, les mesures de l'état initial ont mis en évidence une qualité de l'air médiocre. Au delà de 100 m les concentrations augmentent légèrement dans des secteurs assez éloignés pour que les teneurs restent modérées.

3. Simulations et résultats

Cette partie présente les différents modèles pouvant éventuellement être utilisés à la place des maquettes ; nous avons ensuite testé les potentialités d'un de ces modèles – Fluent – dans des configurations de terrains complexes. Le cas que nous avons choisi ici est un cas d'infrastructure de type autoroutière bordée de murs anti-bruits.

3.1 Présentation des différents modèles de dispersion

Il existe de nombreuses approches permettant de modéliser la dispersion turbulente. Elles diffèrent par les hypothèses théoriques sur lesquelles elles sont basées, par leur champ d'application, par leur facilité de mise en œuvre (données nécessaires, temps de calcul, ...).

La modélisation de la dispersion atmosphérique consiste à modéliser les équations du mouvement et/ou l'équation générale d'advection-diffusion :

$$\underbrace{\frac{\partial c}{\partial t}}_{\text{terme instationnaire}} + \underbrace{\mathbf{u} \cdot \nabla c}_{\text{terme d'advection}} = \underbrace{D \Delta c}_{\text{terme de diffusion moléculaire}} + \underbrace{S}_{\text{terme d'apport}} - \underbrace{P}_{\text{terme de perte}} \quad (1)$$

où $\mathbf{u}$ est la vitesse instantanée et D le coefficient de diffusion moléculaire. On voit explicitement apparaître des termes représentant l'advection et la diffusion moléculaire. Par contre, la dispersion turbulente n'apparaît pas explicitement. Les termes d'apport S et de perte P sont dus à la présence de sources, qui rejettent l'espèce dans l'écoulement, et aux transformations physico-chimiques qui produisent ou détruisent cette espèce. C représente la concentration.

Pour présenter ces approches, nous les avons classées en trois catégories : les modèles gaussiens, les modèles lagrangien et les modèles eulériens. Les trois grandes approches de modélisation sont détaillées dans les paragraphes suivants.

3.1.1 Modèles gaussiens

Les modèles gaussiens sont des modèles semi-analytiques, basés sur la solution de l'équation d'advection-diffusion (2) et sur ses formes dérivées. On distingue en pratique deux types de modèles gaussiens : les modèles de panache et les modèles à bouffées.

La distribution de concentration induite par un rejet instantané (à l'instant t_0) et ponctuel (au point de coordonnées x_0, y_0, z_0) d'une masse Q de polluants est fournie par la relation gaussienne (Roberts, 1923) :

$$\bar{c}(x,y,z,t) = \frac{Q}{[2\pi]^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{(x-x_0)^2}{\sigma_x^2} + \frac{(y-y_0)^2}{\sigma_y^2} + \frac{(z-z_0)^2}{\sigma_z^2} \right) \right] \quad (2)$$

σ étant l'écart type selon les trois directions.

3.1.2 Modèles lagrangiens

Les modèles lagrangiens sont basés sur l'observation du caractère aléatoire du mouvement des particules de fluide (et donc de l'espèce polluante) dans un écoulement turbulent. Chaque particule passant par le point de rejet suit ainsi une trajectoire chaotique, illustrée sur la Figure-4-a. Pour prévoir le comportement moyen du nuage de polluants rejeté, il faut étudier les trajectoires d'un grand nombre de particules passant par la source (cf. Figure-4-b) et en effectuer une moyenne, de façon un peu analogue à la moyenne que l'on effectue sur un grand nombre de réalisations.

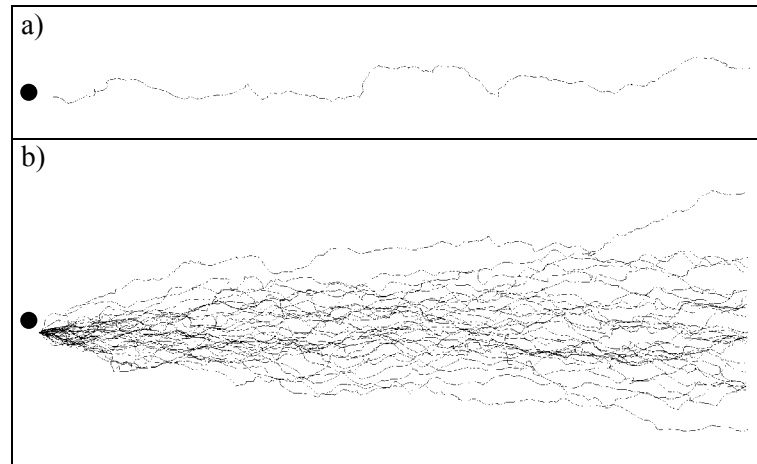


Figure-4 :Mouvement de particules de fluide dans un écoulement turbulent. a) particule isolée et b) ensemble de particules issues du point source.

Pour décrire le mouvement turbulent de chaque particule, on utilise généralement l'équation de Langevin (3) , qui modélise la variation de la vitesse fluctuante au cours du temps :

$$du' = \underbrace{-\frac{u'(t)}{T_L} dt}_{\text{terme de mémoire}} + \underbrace{\sigma_u \sqrt{2 \frac{dt}{T_L}} \xi}_{\text{terme aléatoire}} \quad (3)$$

où T_L est le temps lagrangien de la turbulence, σ_u l'écart-type des fluctuations de vitesse et ξ une variable aléatoire qui suit une loi de probabilité normale de moyenne nulle et de variance égale à 1. Le premier terme de cette équation est un terme de mémoire. Il traduit le fait qu'il existe une corrélation temporelle des vitesses, pendant un temps caractéristique T_L . L'évolution de la vitesse doit donc s'effectuer en tenant compte de cette dépendance par rapport au passé proche de la particule. Le second terme représente le caractère fluctuant de la vitesse dans un écoulement turbulent. Il faut garder à l'esprit que l'équation de Langevin n'est qu'une modélisation particulière du processus de déplacement d'une particule de fluide. Des termes correctifs sont donc parfois ajoutés pour améliorer la prise en compte de certains phénomènes.

3.1.3 Modèles numériques eulériens

3.1.3.1 principe

Le principe des modèles numériques eulériens repose sur une résolution de l'équation d'advection-diffusion (1) par une discrétisation de cette équation en temps et en espace.

La résolution d'une équation aux dérivées partielles, telle que l'équation d'advection-diffusion, suppose qu'on associe à cette équation des conditions initiales en temps et des conditions aux limites du domaine spatial. Si l'on introduit un maillage de l'espace et une discrétisation du temps, il est possible de remplacer le système précédent, composé de l'équation d'advection-diffusion et des conditions initiales et aux limites, par un système discret pour lequel on recherche une solution sur les nœuds du maillage spatio-temporel. Le problème revient alors à résoudre un système (généralement linéaire pour la concentration) de N équations à N inconnues, où ces N inconnues représentent les valeurs de concentration sur les N nœuds du maillage.

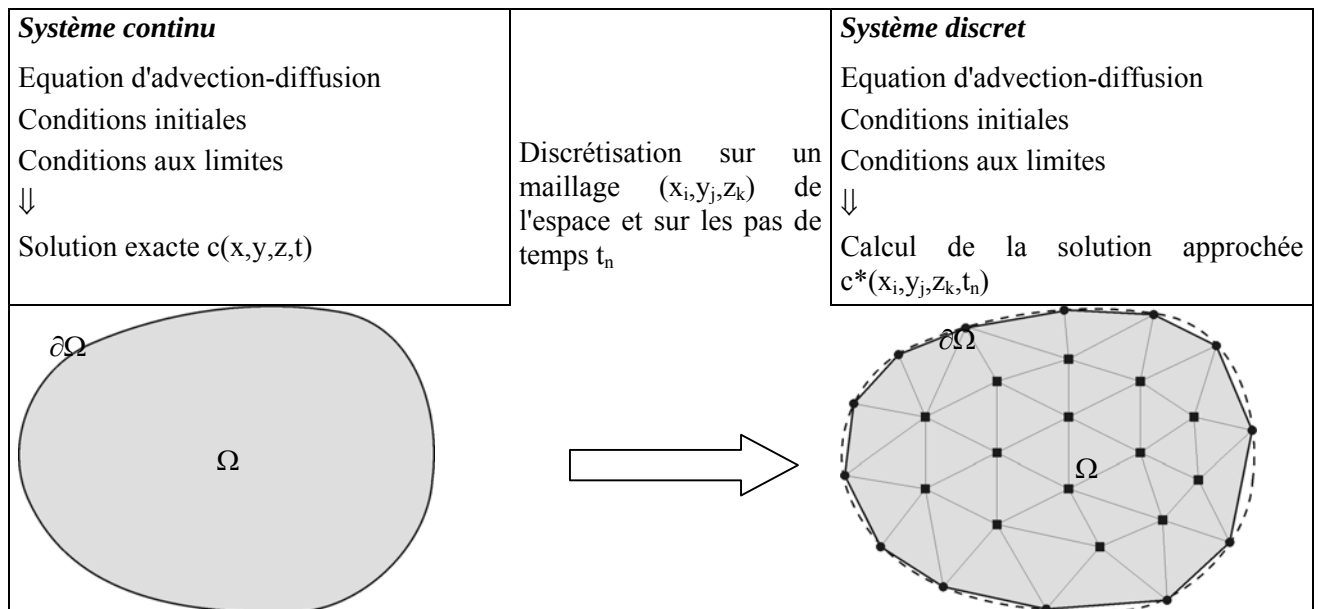


Figure-5: Schéma de principe de la résolution de l'équation d'advection-diffusion par discrétisation sur un maillage.

Ce type de modèle ne fournit une solution qu'en certains points de l'espace et à certains instants. De plus, en ces points particuliers, la solution obtenue n'est qu'une approximation de la solution exacte du système continu à résoudre, sachant que parfois, le système continu n'est qu'une représentation approchée de la réalité. A priori, la solution numérique du système discret converge vers la solution du système continu lorsque la résolution du maillage spatio-temporel tend vers zéro.

3.1.3.2 Méthodes numériques

Le passage d'un problème aux dérivées partielles continu à un problème discret s'appuie sur les méthodes classiques d'analyse numérique. On distingue trois grandes méthodes pour formuler un problème continu sous forme discrète :

La méthode des différences finies : cette méthode est basée sur une représentation des termes de dérivées partielles par des formules de taux d'accroissement. Par exemple, le gradient de concentration dans la direction x pourra être exprimé sous la forme (4) :

$$\frac{\partial c}{\partial x} \approx \frac{c(x_{i+1}) - c(x_{i-1}))}{x_{i+1} - x_{i-1}} \quad (4)$$

L'équation d'advection-diffusion se ramène alors à un système d'équations reliant les concentrations aux nœuds du maillage. Il existe des schémas plus ou moins complexes et plus ou moins précis pour discrétiser les dérivées partielles. Pour résumer, disons que plus le nombre de nœuds mis en jeu pour calculer une dérivée est important, plus le schéma est précis mais plus il est coûteux en temps de calcul.

Les maillages utilisés en différences finies doivent permettre de calculer des taux d'accroissement d'un nœud à l'autre. Ce sont donc des maillages dits "structurés", c'est à dire qu'ils constituent une matrice tridimensionnelle à l'intérieur de laquelle chaque nœud peut être repéré par 3 indices (i,j,k). De tels maillages peuvent dans certains cas être mal adaptés à des géométries complexes car il est difficile de traiter des parois inclinées ou de raffiner uniquement dans certaines zones.

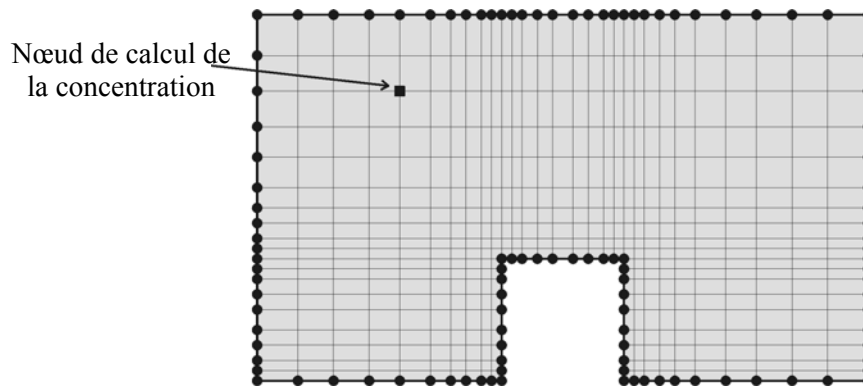


Figure-6 Maillage de type différences finies.

La méthode des différences finies est souvent utilisée car elle est facile à implémenter. Un de ses inconvénients – l'autre étant le manque de souplesse dans la réalisation des maillages – est qu'elle ne garantit pas la conservation des espèces transportées. Cette limitation peut s'avérer problématique dans la résolution de l'équation d'advection-diffusion.

La méthode des volumes finis : cette méthode est basée sur l'application du principe variationnel sur le volume d'une maille. Les dérivées spatiales sont alors transformées en termes de flux à travers les parois de la maille, ce qui revient à résoudre une équation bilan de l'espèce sur chaque maille du domaine. L'intérêt majeur est qu'il n'y a pas de dérivées partielles à estimer. D'un point de vue pratique, cette méthode garantit la conservation des espèces transportées. Elle sera donc souvent privilégiée par rapport à une méthode de différences finies. De plus, cette méthode peut être mise en œuvre sur tout type de maillage et n'est donc pas limitée à des maillages structurés.

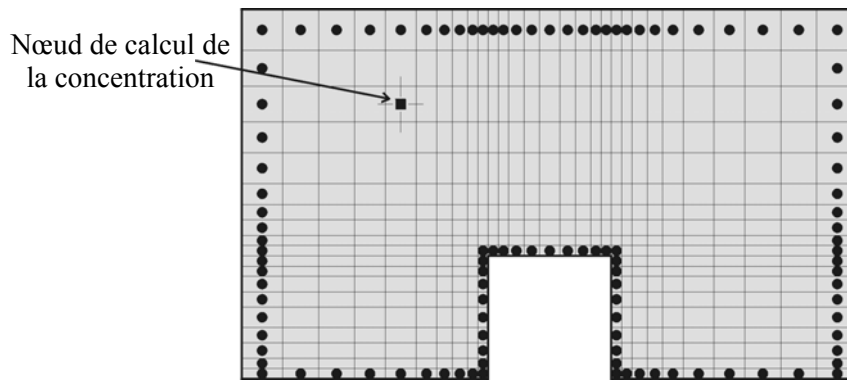


Figure-7 Maillage de type volumes finis. Les variables sont localisées aux centres des mailles.

La méthode des éléments finis : la méthode des éléments finis s'appuie sur l'application du principe variationnel sur des maillages non-structurés basés sur des triangles ou des tétraèdres. L'intérêt principal de cette méthode repose sur la souplesse des maillages utilisés qui permettent de traiter n'importe quel type de géométrie en raffinant uniquement les zones souhaitées. L'inconvénient, qui résulte de cette souplesse, réside dans la complexité à mettre en œuvre et à utiliser ce type de méthodes.

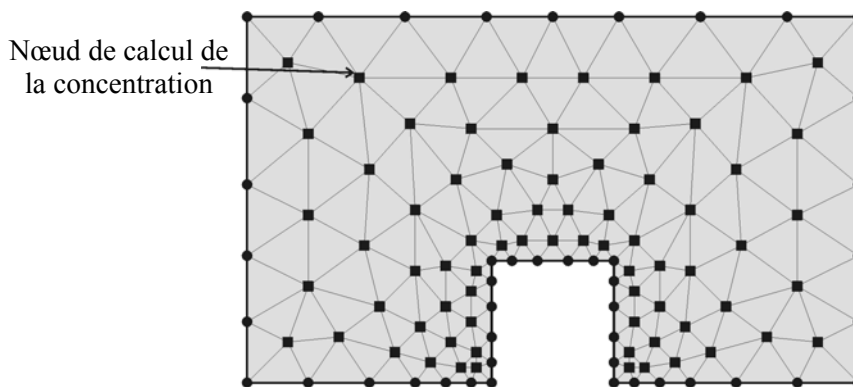


Figure-8 Maillage de type éléments finis.

Une fois que l'on a défini la méthode de discrétisation de l'équation d'advection-diffusion, il est nécessaire de spécifier les conditions aux limites du domaine de calcul. En effet, il n'est pas possible d'appliquer les méthodes précédentes aux points situés en frontière du domaine car ces points n'ont pas de voisins qui permettraient de calculer des dérivées partielles ou des flux. Les conditions aux limites ont pour objectif soit de représenter une frontière réelle (paroi solide, interface gaz-liquide), soit de représenter une frontière fictive, c'est-à-dire une frontière qui existe uniquement parce que le maillage s'arrête à un endroit donné du fluide.

3.1.4 avantage et inconvénients

Modèles	Principaux avantages	Principaux inconvénients
Gaussien	- Simplicité de mise en œuvre. - Rapidité de calcul (adapté à des modélisations opérationnelles).	Limité à un écoulement uniforme dans l'espace et constant dans le temps.
Lagrangien	Temps de calcul moyen, qui reste compatible avec des problèmes opérationnels où seuls quelques cas sont à étudier.	Calcul très lourd dans le cas d'un grand nombre de sources (le temps de calcul est proportionnel au nombre de sources, contrairement à une approche eulérienne). C'est en particulier le cas en milieu urbain.
Eulérien	Permet de tenir compte de toute la complexité du champ de vitesse (gradient de vitesse, présence de parois, ...) et de la cinétique du rejet.	Nécessite une résolution globale dans tout l'espace, même lorsque l'on ne s'intéresse qu'à la concentration en un point. Problème de diffusion numérique due au schéma de discrétisation et à la résolution du maillage.

L'intérêt majeur des modèles eulériens est de pouvoir prendre en compte toute la complexité des champs de vitesse dans le transport d'espèces par l'écoulement. Il n'est donc pas nécessaire d'introduire des artifices particuliers pour traiter l'effet d'un gradient de vitesse. Il permet Alors de simuler des sites particulièrement complexes, et dans notre cas de prendre en compte les écrans acoustiques à l'issue d'un maillage préalable.

Les logiciels sollicités sont GAMBIT pour le maillage et FLUENT pour la simulation.

3.2 Réalisation du maillage

GAMBIT est un logiciel dédié pour :

- réaliser les géométries des systèmes que l'on veut étudier ; dans notre cas, les sites sont composés de bâtiments, de routes et des écrans acoustiques,
- les mailler pour pouvoir ensuite effectuer des simulations à l'aide de codes de calculs (FLUENT).

3.2.1 Géométrie :

Pour réaliser ces géométries nous nous sommes servi des fichiers Autocad et Mithra de l'autoroute A47 pour obtenir les coordonnées 3D de l'ensemble des objets qui constituent les différents sites. Quatre sites ont été réalisées : « site actuel », « site futur avec écrans » et « site futur sans écrans ». (voir annexe 3)

La phase de création des objets s'est déroulée en plusieurs étapes :

- à partir de deux points, nous avons constitué les arêtes,
- à partir des arêtes nous avons constitué des surfaces

- à partir des surfaces nous avons constitué les volumes,

ainsi nous avons pu créer tous les objets qui composent le site aux diverse périodes d'étude.

3.2.2 maillage :

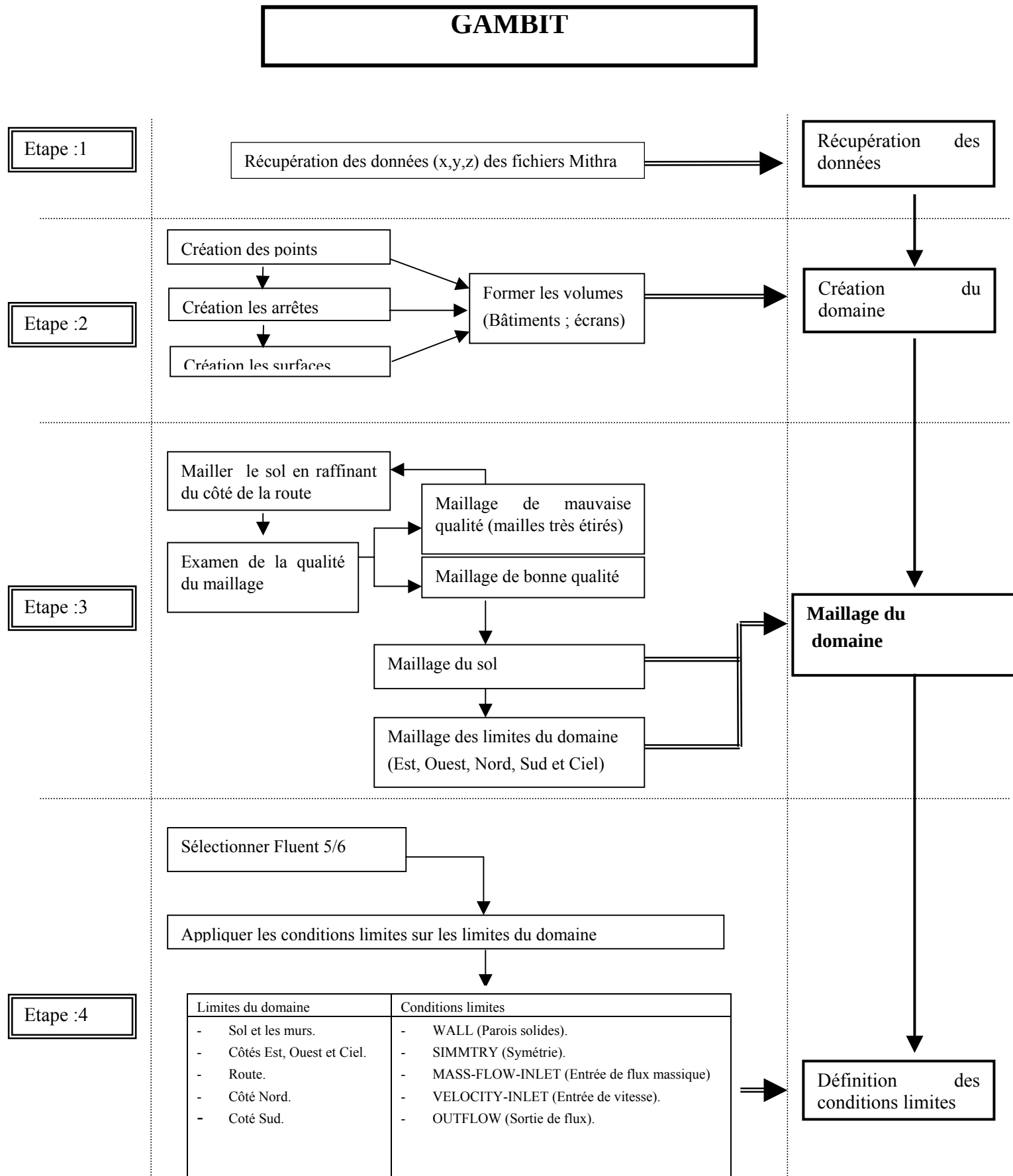
Le maillage constitue l'étape la plus délicate et la plus conséquente au niveau des résultats. Vu la complexité des sites le type le maillage par éléments finis (tétraèdres) semble le plus adéquat. Nous l'avons vu précédemment, celui-ci est le plus adapté pour mailler les espaces non structurés comme c'est le cas des sites d'étude. Les sites maillés sont représentés en Annexe 4.

GAMBIT nous offre la possibilité de mailler directement des arêtes, des surfaces et des volumes quand la géométrie le permet. Quand il s'agit d'une géométrie complexe, tel est le cas du sol par exemple (la surface du sol intègre des volumes « bâtiments »), le maillage se déroule comme suit :

- Création des points sur les côtes qui constituent la surface,
- Maillage de la surface en prenant en compte les points déjà créés . Nous avons créé le maillage avec un nombre de points plus important du côté de la route et un nombre moindre de points vers les limites du domaine.

Le diagramme page suivante résume les différentes phases mises en jeux lors d'une séquence de modélisation.

3.2.3 Organigramme de fonctionnement



3.3 Simulation

La simulation a été réalisée par le logiciel FLUENT. Ce dernier est un logiciel de simulation CFD (Computational Fluid Dynamics) et fait partie des modèles numériques eulériens. (interface de FLUENT annexe 5). Dans cette partie nous avons tenté de reproduire, à l'aide de la modélisation numérique, les résultats obtenus à partir de la maquette. Le volume de travail et les problèmes de maillage rencontrés ne nous ont pas permis de traiter le profil de vent Sud. De plus il a été difficile de trouver un compromis entre la taille des mailles et le volume à mailler. Nous n'avons pas pu concilier des mailles de taille réduites avec le volume important à discrétiser. Une résolution fine étant nécessaire pour reproduire fidèlement les gradients de concentration, nous avons dû diminuer la surface de notre domaine d'étude.

3.3.1 Conditions de simulation

3.3.1.1 profil du vent :

Pour pouvoir comparer les résultats de la simulation avec les résultats de la soufflerie nous nous sommes placés dans des conditions d'essai proches, c'est à dire, un profil sud et un profil nord du vent. Voici les relations qui nous permettent de calculer les différents profils :

D'un point de vue dynamique, la couche limite de surface en atmosphère neutre est caractérisée par un flux de quantité de mouvement constant avec la verticale, les vitesses selon les axes x et z sont donc nulles. L'expression de la vitesse selon l'axe y est donnée par la relation suivante :

$$u(z) = \frac{u_*}{\kappa} \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)$$

Où u_* est la vitesse de frottement, κ est une constante de proportionnalité, appelée *constante de Karman* ($\kappa = 0,4$) et z_0 est la constante d'intégration ($z_0 = 0,3$ m). Physiquement, z_0 est une longueur et correspond à la hauteur à laquelle le profil de vitesse s'annule. C'est pourquoi on appelle ce paramètre la *longueur de rugosité aérodynamique* ou plus simplement la *rugosité*. C'est un paramètre caractéristique du sol qui exprime sa capacité à freiner l'écoulement. Il dépend essentiellement de la présence d'obstacles.

D'après les données de la soufflerie, nous savons que la vitesse du vent à 80 m du sol est égale à 4.5 m/s, ce qui nous permet de calculer u_* ($u_* = 0.322$), ainsi nous avons pu calculer le profile de vitesse du vent (annexe 6).

3.3.1.2 Turbulence dans la couche limite de surface

Nous avons dit plus haut que la CLS est caractérisée par un flux vertical de quantité de mouvement constant. Une autre caractéristique de cette zone est que les termes de production et de dissipation d'énergie cinétique turbulente k se compensent. Dans une couche limite neutre, la production d'énergie turbulente est liée au gradient de vitesse. En effet, c'est le frottement des couches de fluide les unes sur les autres qui génère des tourbillons dans l'écoulement. Plus le frottement, et donc le cisaillement, est important (par exemple lorsque la rugosité est forte), plus l'écoulement est turbulent. Ainsi nous déterminons la valeur de l'énergie cinétique turbulente k par la relation suivante :

$$K = \frac{u_*^2}{\sqrt{C_\mu}}$$

C_μ est constante et vaut 0.09.

La contrainte de cisaillement noté ξ est donnée par la relation suivante :

$$P_k = \varepsilon = \frac{u_*^3}{\kappa Z}$$

3.3.1.3 Sources d'émissions :

Deux types de sources d'émissions de polluants ont été envisagées, une émission surfacique au niveau de la route (qui est représentée par une surface) et une émission volumique représentée par un volume. Ces divers essais avaient pour objectifs de vérifier laquelle de ces méthode de simulation des émissions reproduit le mieux les forts gradients de concentration à proximité de la route.

Pour obtenir les données d'émission propres à chaque site nous avons utilisé lors de la modélisation numérique les paramètres utilisés lors de la simulation aéraulique. Les émissions réelles correspondent à des émissions de NO_x , pour l'heure de pointe du soir, sur un tronçon de 300 mètres d'autoroute 2 sens de circulation confondus. La quantité de NO_x ainsi rejetée est donc de 2,9 kg par heure, ce qui correspond à un débit de 0,00081 kg/s. Ainsi nous avons obtenus :

Source surfacique :	0.0008856 kg/s
Source volumique :	$1.19 \cdot 10^{-7} \text{ kg/m}^3 \cdot \text{s}$
Source surfacique des sites réduits :	0.0004116 kg/s
Source volumique des sites réduits :	$7.90 \cdot 10^{-8} \text{ kg/m}^3 \cdot \text{s}$

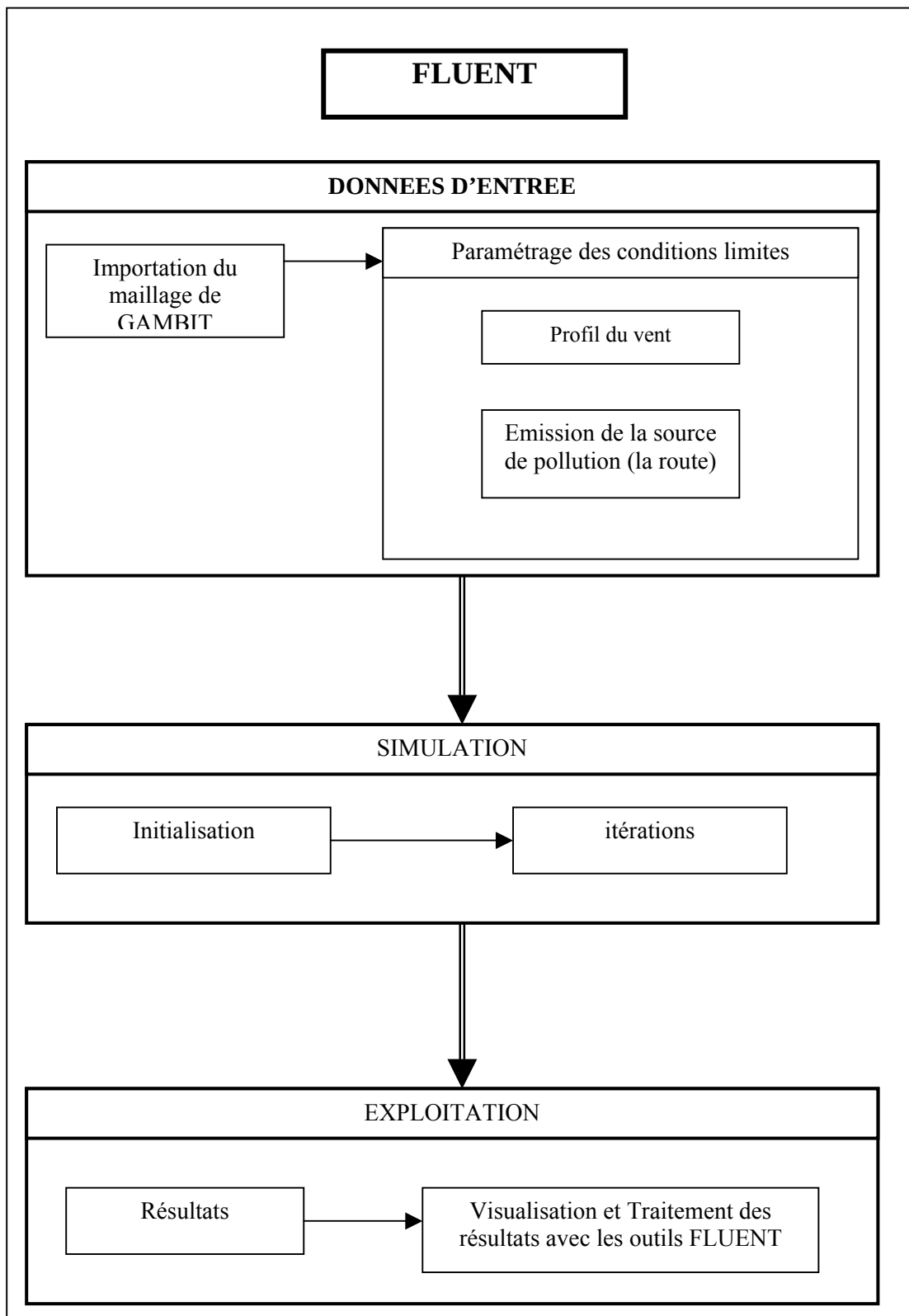
3.3.1.4 condition limites :

Les conditions limites que nous avons imposé aux limites des domaine pour une situation du vent de nord sont :

Limites du domaine	Conditions limites
- Sol et les murs. - Côtés Est, Ouest et Ciel. - Route. - Côté Nord. - Coté Sud.	- Parois solides (WALL). - Symétrie (SIMMTRY). - Entrée de flux massique (MASS-FLOW-INLET) - Entrée de vitesse (VELOCITY-INLET). - Sortie de flux (OUTFLOW).

3.3.2 Séquence de modélisation sous Fluent

Ci-après un schéma qui explique les différentes étapes effectuées sur FLUENT :



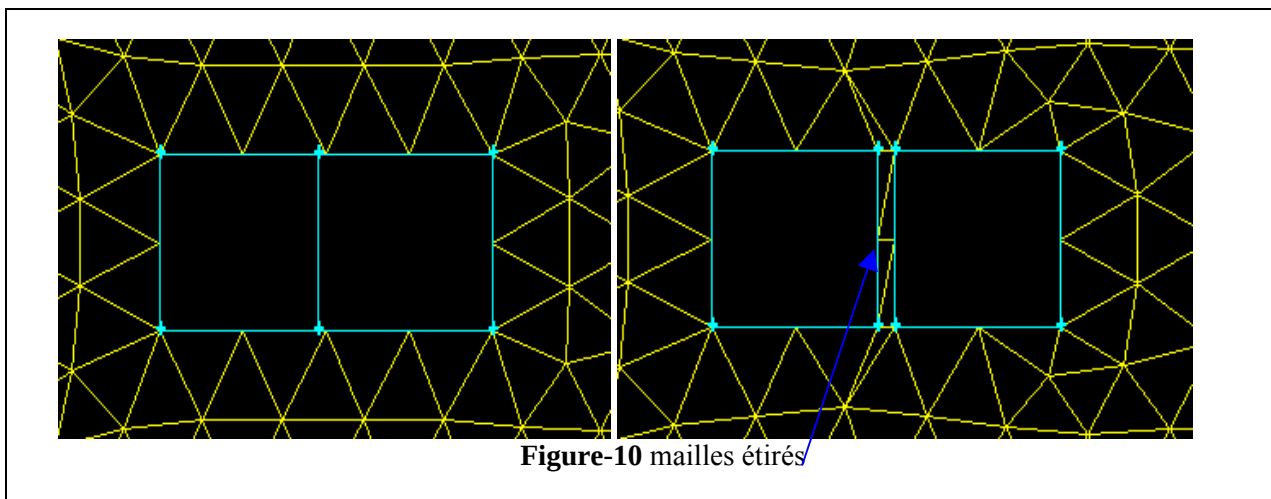
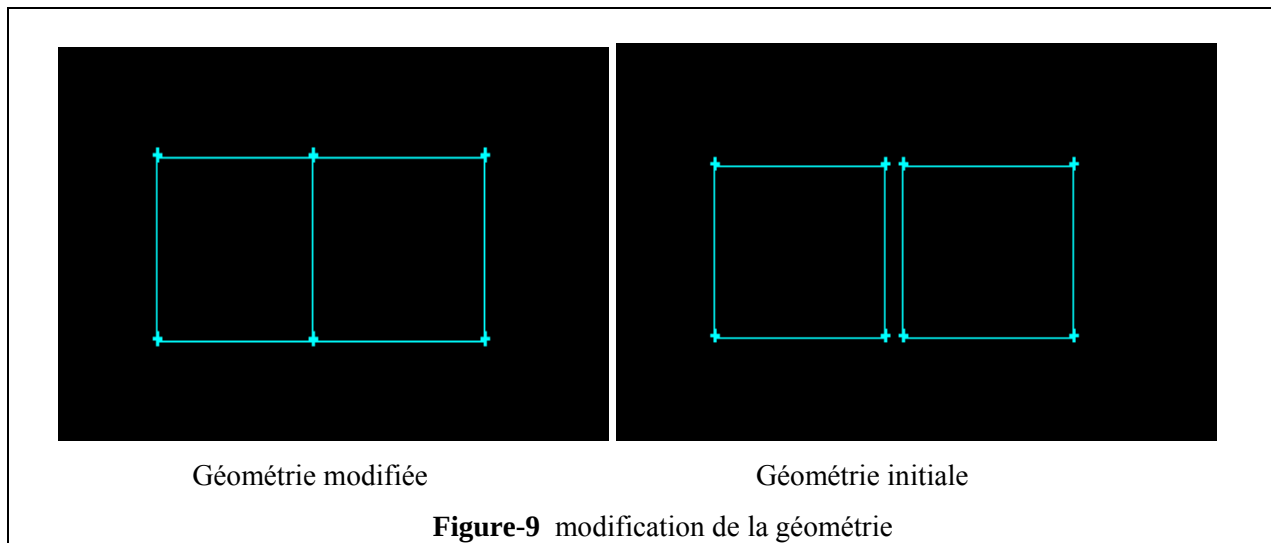
3.4 Résultats :

3.4.1 Problèmes rencontrés lors du maillage :

Après avoir récupéré les coordonnées (x,y,z) des fichiers Mithra et Autocad, nous avons réalisé la géométrie des différents sites, cependant pour mailler le domaine nous avons rencontré certaines difficultés.

3.4.1.1 Difficultés liées à la géométrie :

Le premier obstacle que nous avons rencontré lors du maillage est la complexité de la géométrie. Deux points séparés d'une très faible distance provoquent la formation de nœuds très étirés qui empêchent le maillage du volume (voir figure 9). Nous avons donc effectué des modifications (voir figure 3) au niveau des bâtiments trop rapprochés.



3.4.1.2 Difficultés liées à la taille du maillage :

Le résolution du maillage est un problème délicat. Elle doit être importante à proximité de la route et peut être plus faible à proximité des limites du domaine.

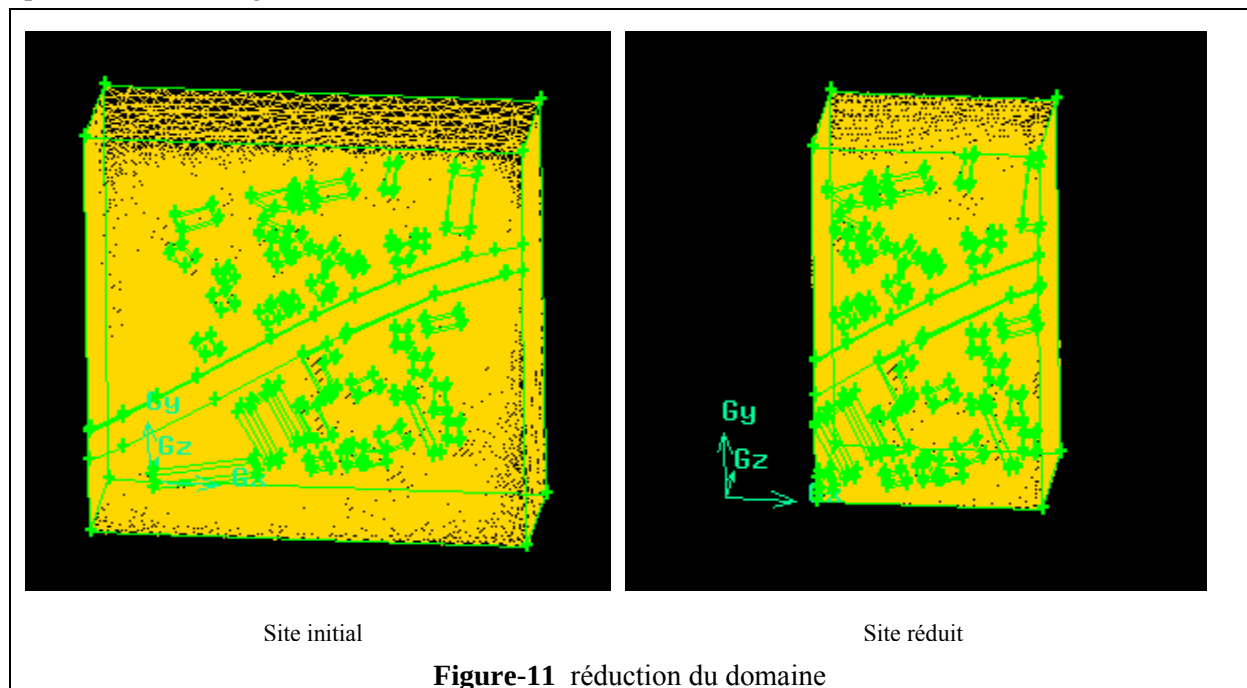
Le problème se présente lorsque l'on tente de mailler les écrans acoustiques. Ces derniers ont une taille de 1 m d'épaisseur, ce qui impose une dimension de maille de 0.5 m au niveau des ces murs. Le

domaine faisant 290 m de longueur pour 300 m de largeur et 100 m de hauteur, une résolution trop fine génèrera un maillage trop lourd. Une grande quantité de mailles rendra le temps de calcul très important. Pour exemple, avec une machine ayant des caractéristiques de puissance et de mémoire ordinaires (2 GHz en microprocesseur et 256 de RAM), une itération prend environ 8 minutes pour un maillage de l'ordre de 600 mille nœuds. Le système converge au bout de 170 itérations environ. Le système boucle ces itérations au bout de 22 heures.

Ceci nous a amené à réduire la taille des domaines d'étude, les nouveaux domaines que nous avons nommés les sites réduits (voir figure 11) ont les dimensions suivantes :

- 150 m de longueur
- 250 m de largeur
- 100 m de hauteur

Cette solution a permis de ramener le maillage de 1 million 500 mille nœuds à 650 mille nœuds environ, ce qui représente un bon compromis entre le temps de calcul, la taille du domaine et la précision du maillage.



3.4.2 Résultats de la simulation :

3.4.2.1 Choix de la source :

Le choix de la source d'émission de polluants influe de manière importante sur les résultats. Nous avons effectué deux simulations, avec une source surfacique et avec une source volumique. Seuls les résultats obtenus avec la source volumique ont été comparés à ceux de la soufflerie.

Le tableau ci-après regroupe les différents résultats :

points	Résultats de concentration C(Nox) en g/m3		
	soufflerie	Avec source volumique	Avec source surfacique
point 1	5,81E+02	4,65E-04	1,40E+03
point 2	1,81E+03	2,79E-14	1,50E+03
point 3	9,66E+02	3,83E-04	1,11E+03
point 4	3,07E+02	2,11E-04	5,72E+02
point 5	1,53E+02	2,62E-04	4,34E+02
point 6	2,11E+02	3,62E-05	9,85E+01
point 7	2,11E+02	2,33E-04	4,53E+02
point 8	2,58E+02	1,08E-12	5,18E-05
point 9	5,30E+02	4,57E-04	8,64E+02
point 10	1,57E+03	9,76E-04	1,48E+03
point 11	3,23E+02	1,28E-03	1,60E+03
point 12	1,45E+02	7,01E-04	1,55E+03
point 13	1,05E+02	3,57E-04	4,86E+02
point 14	3,27E+01	2,50E-04	4,26E+02
point 15	1,45E+02	9,26E-04	1,61E+03
point 16	0,00E+00	2,40E-04	5,32E+02
point 17	4,21E+02	1,00E-04	2,43E+02
point 18	1,08E+03	1,88E-04	4,18E+02
point 19	7,19E+02	3,01E-04	5,64E+02
point 20	8,72E+01	2,54E-04	4,02E+02
point 21	3,63E+01	1,97E-04	9,08E-06
Erreur relative		1.53E+06	6.76E-01

On constate que l'erreur relative pour les essais avec source d'émission volumique est très importante. A l'opposé la modélisation réalisée à partir de la source d'émission surfacique donne des résultats du même ordre de grandeur que ceux observés en soufflerie, et présente une erreur relative de 67 %.

C'est la source surfacique que nous donc avons utilisé, pour la suite de nos analyses.

3.4.2.2 simulation du site à l'état actuel:

Comme nous l'avons vu dans la paragraphe précédent nous avons retenue la source surfacique comme origine des émissions de polluant. Ci-dessous est représentée une simulation de la situation actuelle pour une situation de vent du nord.

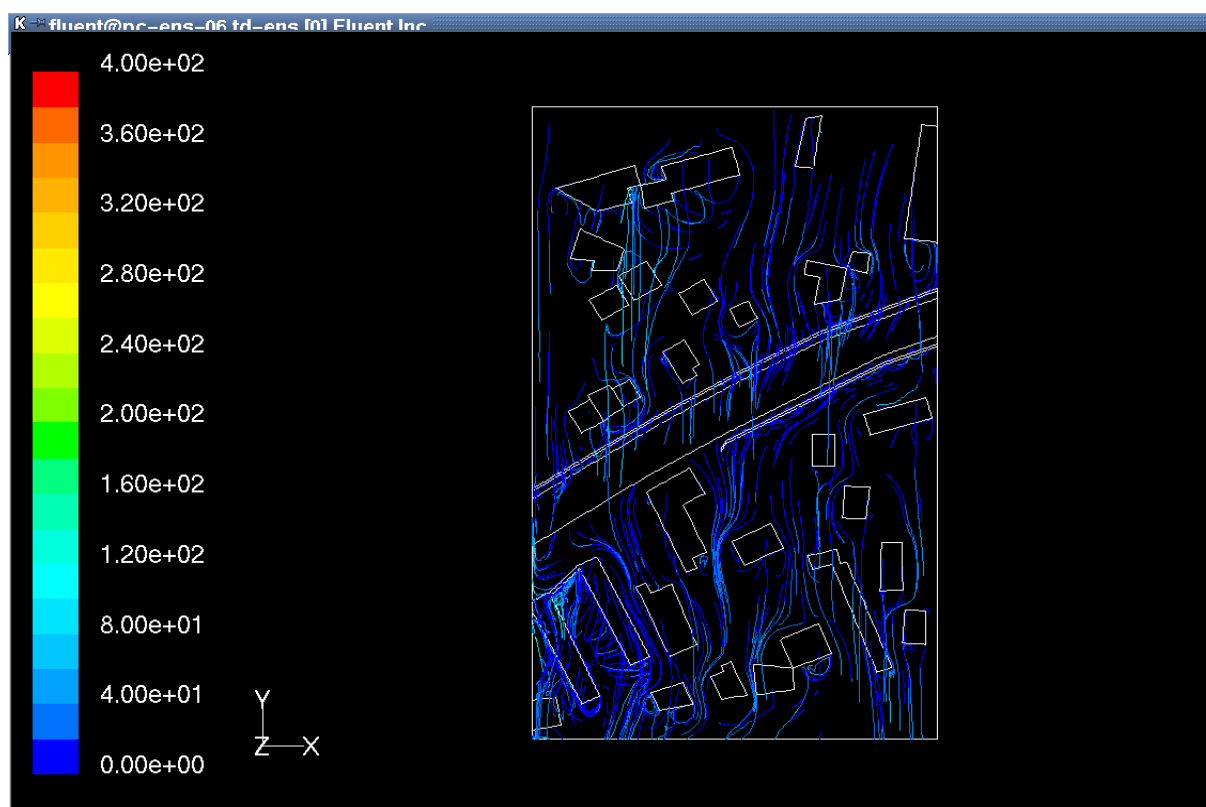


Figure-12a Lignes de courants

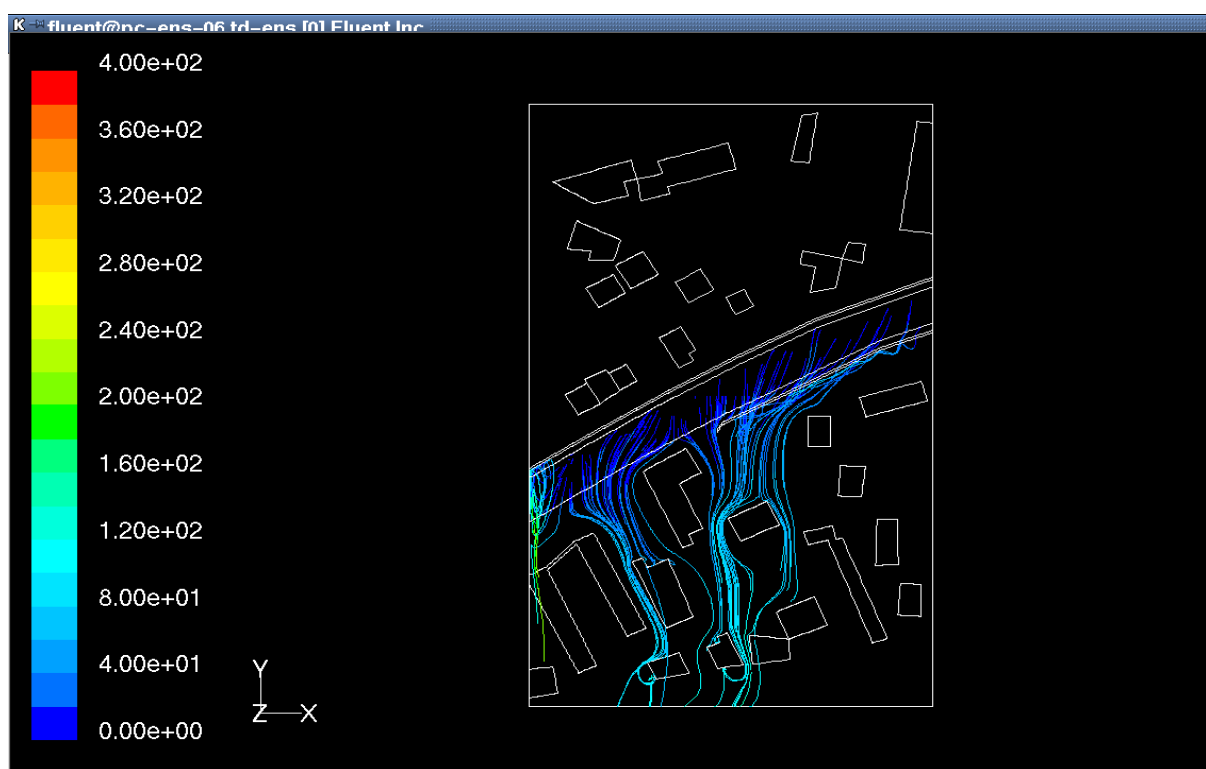


Figure-12b Lignes de courants

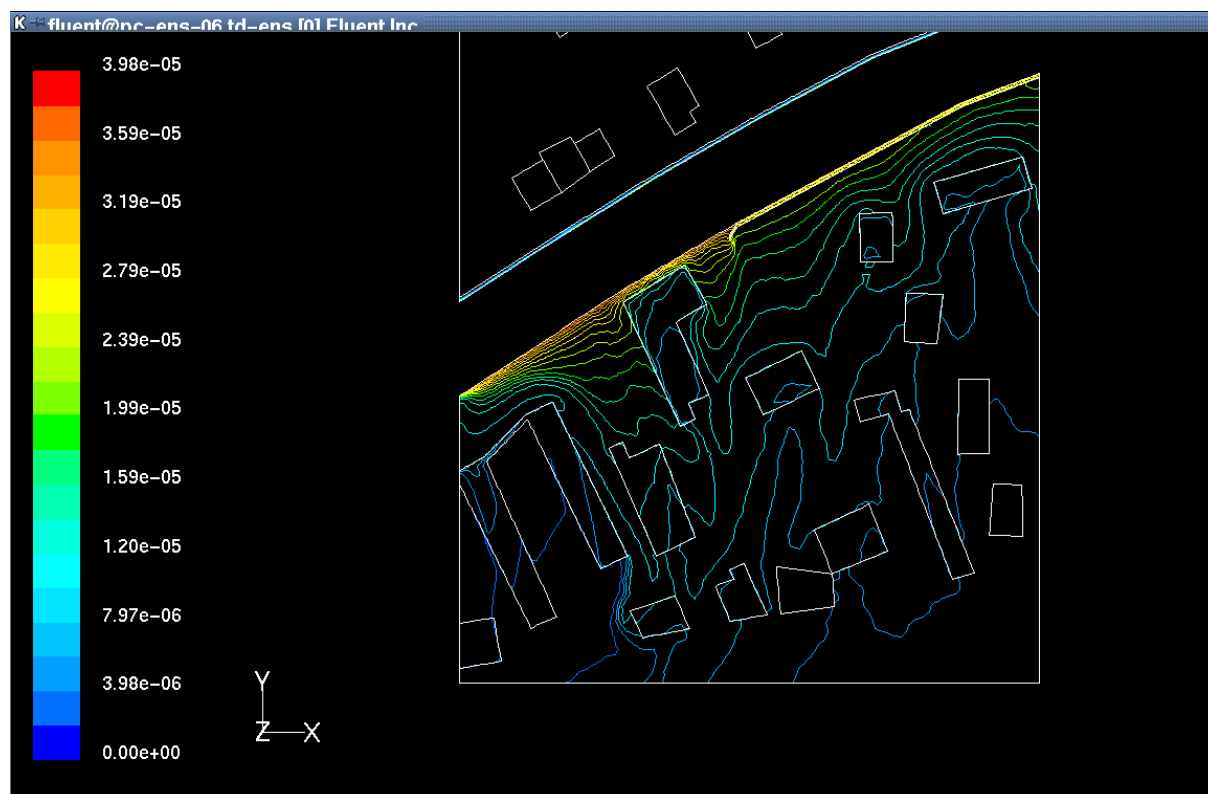


Figure-13 Champs de concentration

Les graphiques ci-dessus mettent en évidence les lignes de courants calculées par le logiciel Fluent. La figure 12a donne un aperçu de l'influence des bâtiments sur les conditions météorologiques. La figure 12b est une représentation des trajectoires empruntées par les polluants émis par la route. La figure 13 donne les concentrations en polluant en aval de la route.

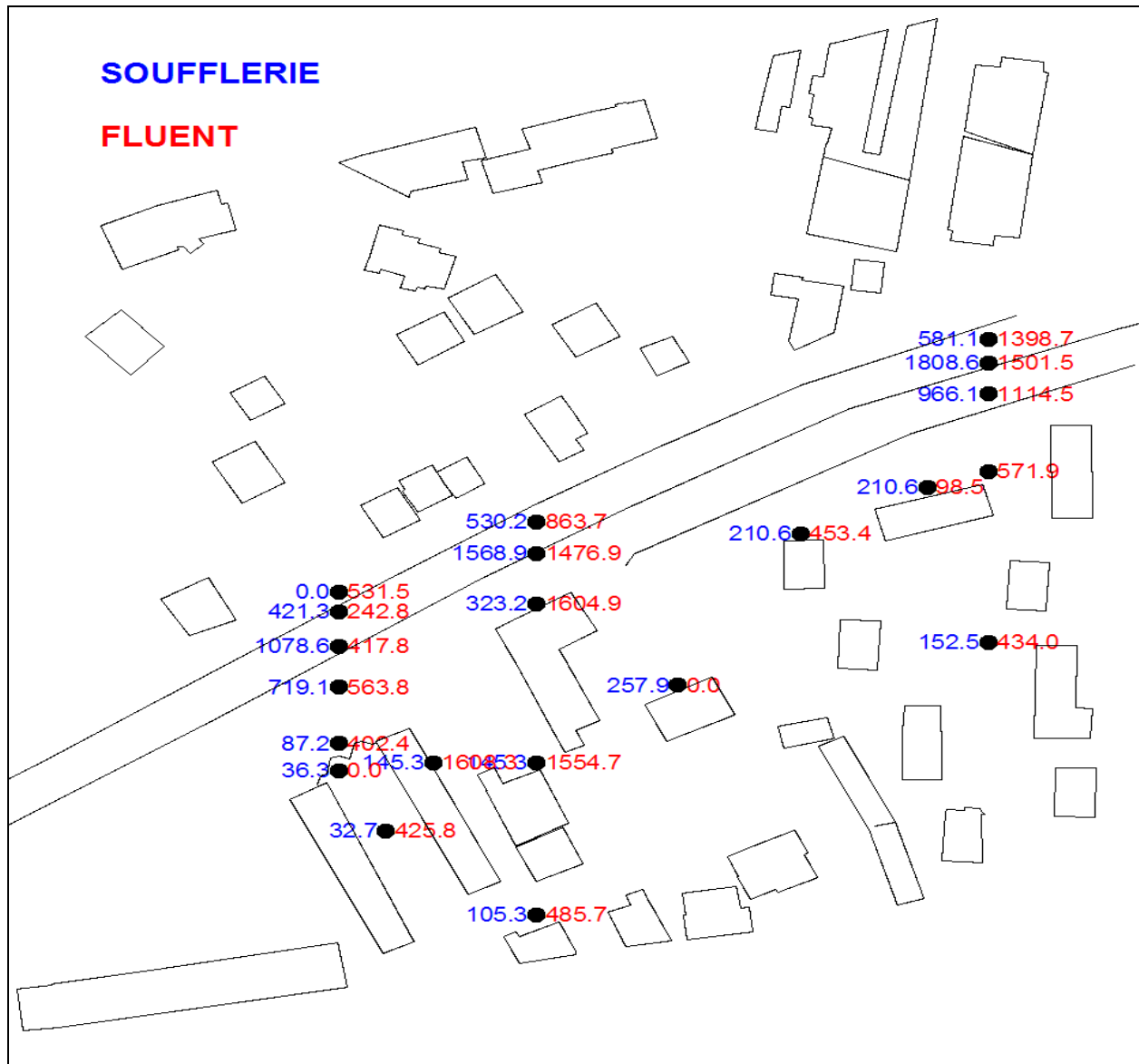
Les figures 12b et 13 mettent particulièrement bien en évidence les effets d'un mur le long de la voie. Celui-ci dévie le flux des polluants et diminue ainsi les concentrations au voisinage de l'infrastructure.

3.4.2.3 comparaison entre soufflerie et simulation:

Nous avons ensuite comparé les résultats de la simulation du site actuel (source surfacique) aux résultats de la soufflerie.

Aspect général :

Vous trouverez ci-après une figure qui présente le site avec les résultats des deux simulations (numériques et aéraulique) :



La tendance générale montre que les résultats obtenus par la modélisation numérique sont du même ordre de grandeur que ceux obtenus par la modélisation aéraulique ; on observe malgré tout quelques différences en analysant point par point.

Toutefois ces résultats ne nous permettent pas de conclure car les données issues des calculs ne concernent que la situation actuelle ; elles sont donc insuffisantes pour mettre en évidence les phénomènes mis en jeu. De plus les différences observées entre modélisation numérique et aéraulique ne sont pas homogènes. Ceci peut s'expliquer par la complexité du site étudié (nombre et forme des bâtiments) et les phénomènes complexes qu'il engendre (turbulences, courants...).

Nous devons maintenant comprendre d'où proviennent ces différences localisées. Pour cela il faudrait vérifier que le modèle numérique reproduit bien les phénomènes réels, ce qui n'est pas possible à ce niveau de l'étude. Il est donc nécessaire de tester les « réactions » du modèle numérique sur des cas plus simples. Pour cela il est nécessaire de :

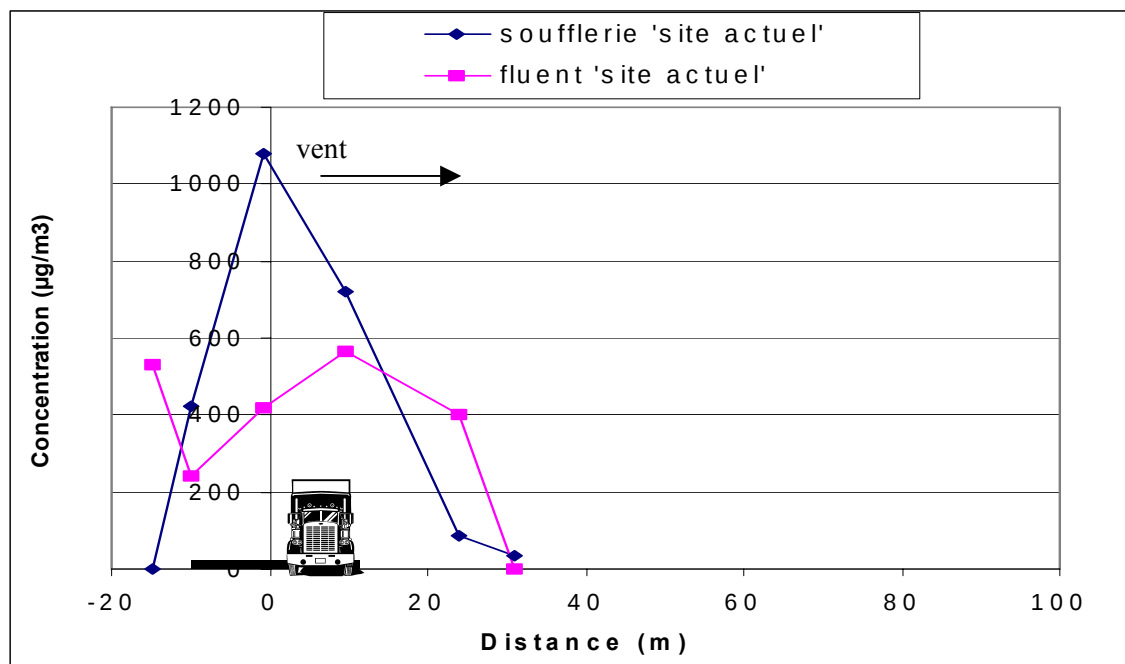
- vérifier le modèle numérique par un bilan de matière sur tout le domaine (loi de la conservation de la masse) pour constater l'influence la vitesse,
- analyser la diffusion verticale et la diffusion horizontale,

- vérifier l'aspect des turbulences modélisées en les comparant avec des essais en soufflerie pour savoir si lors de la simulation, les lignes de courants suivent la même trajectoire qu'en soufflerie.

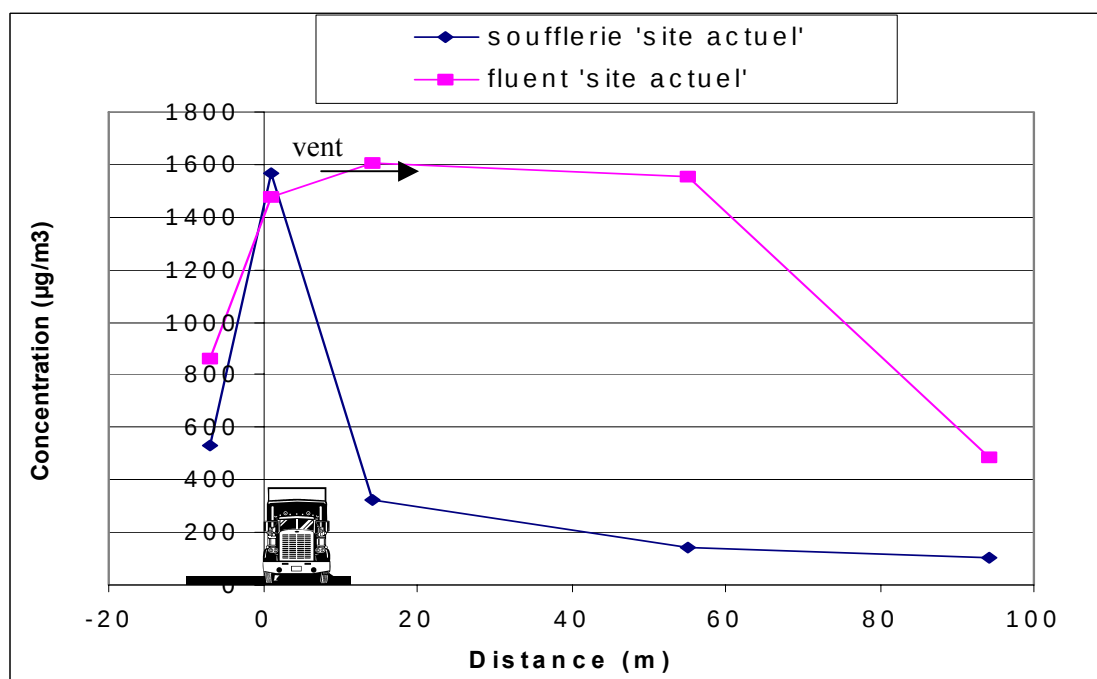
Profils de concentrations obtenus

D'après la disposition des points, on peut repérer trois profils de concentration (voir annexe7) :

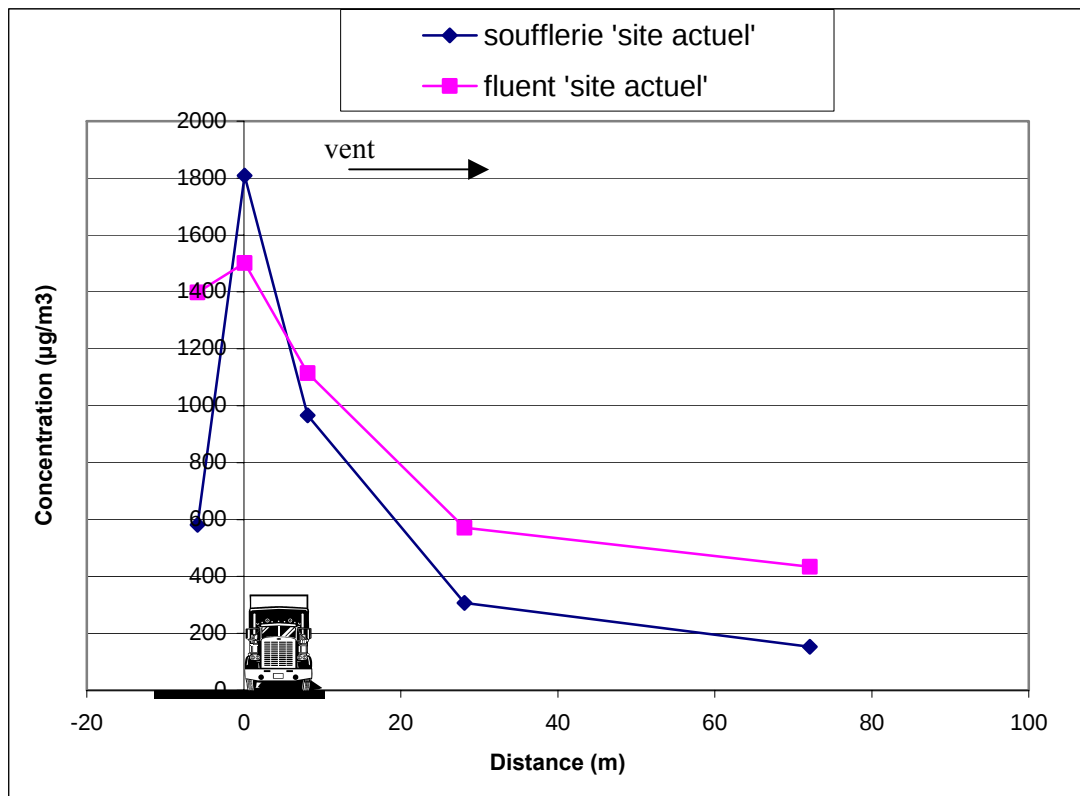
Profil 1 :



profile 2 :



profile 3 :



Nous avons montré dans le chapitre précédent, que les résultats de la modélisation sont de l'ordre de grandeur des résultats obtenus en soufflerie dans le cas d'une source d'émission surfacique.

Nous constatons d'après ces trois graphiques que généralement les courbes ont des profils proches avec des petites différences notamment sur le deuxième profil. Il faut là encore répéter que les données sont présentes en trop faibles quantité pour pouvoir conclure de manière crédible.

Mais après étude des premiers résultats on peut toutefois proposer plusieurs pistes pour les expérimentations ultérieures. Afin d'améliorer les résultats il serait intéressant d'obtenir un nouveau maillage et d'étudier, pour les changer éventuellement, les paramètres de simulation de la source. Les écarts observés peuvent résulter d'une mauvaise définition du maillage (mailles trop grandes). La différence de modélisation de la source d'émission entre les essais en soufflerie (linéaire) et la simulation (surfacique sur l'intégralité de la voie) peut aussi avoir des incidences, notamment sur les gradients de concentration proximité des sources d'émissions. Il faudrait donc multiplier les calculs, les configurations et conditions pour pouvoir généraliser ces résultats.

Nous n'avons pas pu modéliser la situation future avec écrans acoustiques ; mais en considérant les problèmes rencontrés lors de la simulation de la situation actuelle, il nous semble important de souligner les difficultés que vont créer les écrans anti-bruits :

- leur géométrie plus complexe, qui présente des petits espaces entre les écrans générera des mailles étirées, ce qui empêchera gambit de mailler le domaine
- l'augmentation du nombre d'objet dans le domaine va entraîner une augmentation du nombre de maille.

Pour remédier à ce problème, il faudra procéder comme nous l'avons déjà fait jusqu'à présent par simplification de la géométrie, ce qui nous éloignera un peu plus de la situation réelle.

4. Conclusion :

La simulation de la pollution de proximité est un thème nouveau. Dans certaines configuration et à proximité de certaines infrastructures il devient nécessaire de maîtriser les outils permettant de nous renseigner sur les niveaux de pollution rencontrés en bordure de voies. Les outils que nous avons étudiés ici, abordent le problème de la modélisation en deux étapes : le maillage et la dispersion. La phase de maillage prend une place déterminante car elle conditionne entièrement les résultats obtenus sur les concentrations. La présence des écrans acoustiques rend cette dernière encore plus difficile qu'elle ne l'est lors de cas simples ; ceci impose à l'utilisateur de trouver un compromis entre la résolution du maillage et la surface de son domaine d'étude s'il veut pouvoir réaliser une simulation.

Si les objectifs de départ n'ont pas été entièrement atteints, les résultats obtenus permettent de dégager plusieurs points positifs et ouvre la voie à diverses pistes exploratoires :

- Tout d'abord nous avons pu mettre en évidence la lourdeur de la phase de maillage, chose qui a été complètement sous-estimé au départ
- Nous avons réussi à réaliser plusieurs maillages sur un domaine d'étude important en surface ; à partir de ce maillage nous avons réalisé plusieurs calculs de concentration dont certains fournissent des résultats du même ordre de grandeur que celle obtenue avec la maquette.
- Les résultats de la modélisation par maquette semblent confirmés : les écrans acoustiques «déplacent la pollution», mais ne la réduisent pas, , en plus de diminuer les nuisances sonores ces derniers favorisent la dispersion de la pollution de proximité.
- La simulation par un logiciel tel que FLUENT, peut devenir un moyen efficace pour présenter, reproduire et prévoir les phénomènes naturels de dispersion sur des zones réduites.

Les résultats d'une simulation nécessitent une validation par des essais expérimentaux et doivent être accompagnés d'analyses physiques fines des phénomènes de dispersion. Cette étude est une étape préliminaire qui dégage certaines informations. Malgré tout il est nécessaire de continuer sur des études plus paramétriques afin d'optimiser le choix du domaine d'étude, ses frontières et les conditions limites surtout au niveau de la route. De plus une étude des réaction du modèle en deux dimension est nécessaire avant de travailler en trois dimensions ; ceci permettrait de mieux cerner les endroits où un raffinement de maillage est indispensable.

5. Bibliographie :

✚ <http://www.ademe.fr>

✚ <http://www.citepa.org>

✚ <http://www.seant.fr>

✚ <http://www.certu.fr>

✚ <http://www.ineris.fr>

✚ <http://ecolu-info.unige.ch>

✚ <http://www.ess.co.at>

✚ Etat de l'art pour l'étude des impacts des transports routiers à proximité des routes et autoroutes – **Gaëlle DELETRAZ ; Emmanuel PAUL**- Mars 1998.

✚ **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**- **Richard PERKINS Lionel SOULHAC Patrick MEJEAN**- Janvier 2002.

✚ Modélisation statistique de la pollution azotée à proximité d'un axe routier et évaluation des indices sur l'environnement - **Gaëlle DELETRAZ** – Octobre 2001

6. Annexes

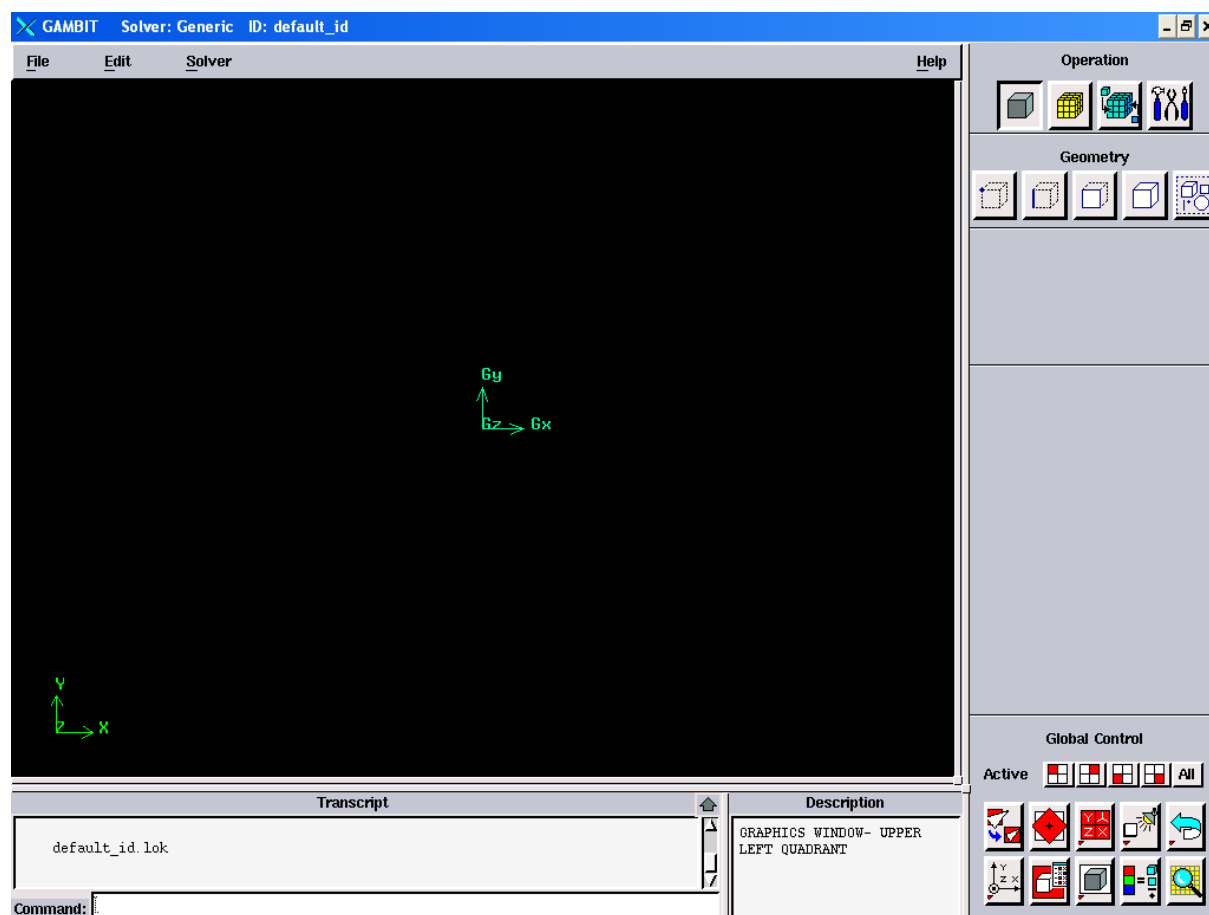
6.1.1 ANNEXE 1 : LES RESULTATS DE LA SOUFFLERIE

Situation actuelle (vend nord) :

Coordonnées réelles sur le site (Données du CETE de Lyon)			Données de concentration "soufflerie"			Concentration réelle
X m	Y m	Z m	C ppm	CTR m ⁻²	c' ppm	C _{NOX} µg/m ³
1468	504,594	158	375,0	7,69E-03	216	1,36E+03
1468	493,594	158	117,0	2,40E-03	70	4,25E+02
1468	487,594	158	55,0	1,13E-03	12	2,00E+02
1468	467,594	158	56,0	1,15E-03	19	2,03E+02
1468	430,594	158	32,0	6,56E-04	16	1,16E+02
1380	450,594	158	14,0	2,87E-04	13	5,08E+01
1333,15	439,882	158	19,0	3,90E-04	11	6,90E+01
1306,15	454,882	164	33,0	6,77E-04	17	1,20E+02
1288,15	473,882	158	160,0	3,28E-03	140	5,81E+02
1288,15	467,882	158	498,0	1,02E-02	291	1,81E+03
1288,15	459,882	158	266,0	5,46E-03	220	9,66E+02
1288,15	439,882	164	68,0	1,39E-03	70	2,47E+02
1288,15	395,882	162	42,0	8,62E-04	27	1,53E+02
1275,15	435,882	164	58,0	1,19E-03	47	2,11E+02
1248,15	423,882	164	58	1,19E-03	53	2,11E+02
1222,15	384,882	158	71	1,46E-03	41	2,58E+02
1192,15	426,882	158	146	2,99E-03	89	5,30E+02
1192,15	418,882	158	432	8,86E-03	250	1,57E+03
1192,15	405,882	158	89	1,83E-03	82	3,23E+02
1192,15	364,882	160	40	8,21E-04	34	1,45E+02
1192,15	325,882	162	29	5,95E-04	19	1,05E+02
1160,15	347,382	160	9	1,85E-04	9	3,27E+01
1170,15	364,882	160	40	8,21E-04	34	1,45E+02
1105,15	375,882	158	346	7,10E-03	221	1,26E+03
1105,15	366,882	158	196	4,02E-03	121	7,12E+02
1105,15	349,882	159	216	4,43E-03	130	7,84E+02
1105,15	329,882	160	97	1,99E-03	62	3,52E+02
1105,15	314,882	160	38	7,80E-04	23	1,38E+02
1105,15	296,882	160	19	3,90E-04	7	6,90E+01
1150,15	408,882	159	0	0,00E+00	2	0,00E+00
1150,15	403,882	158	116	2,38E-03	102	4,21E+02
1150,15	394,882	158	297	6,09E-03	213	1,08E+03
1150,15	384,382	158	198	4,06E-03	152	7,19E+02
1150,15	369,882	160	24	4,92E-04	28	8,72E+01
1150,15	362,882	160	10	2,05E-04	6	3,63E+01
1135,15	429,882	159	20	4,10E-04	21	7,26E+01

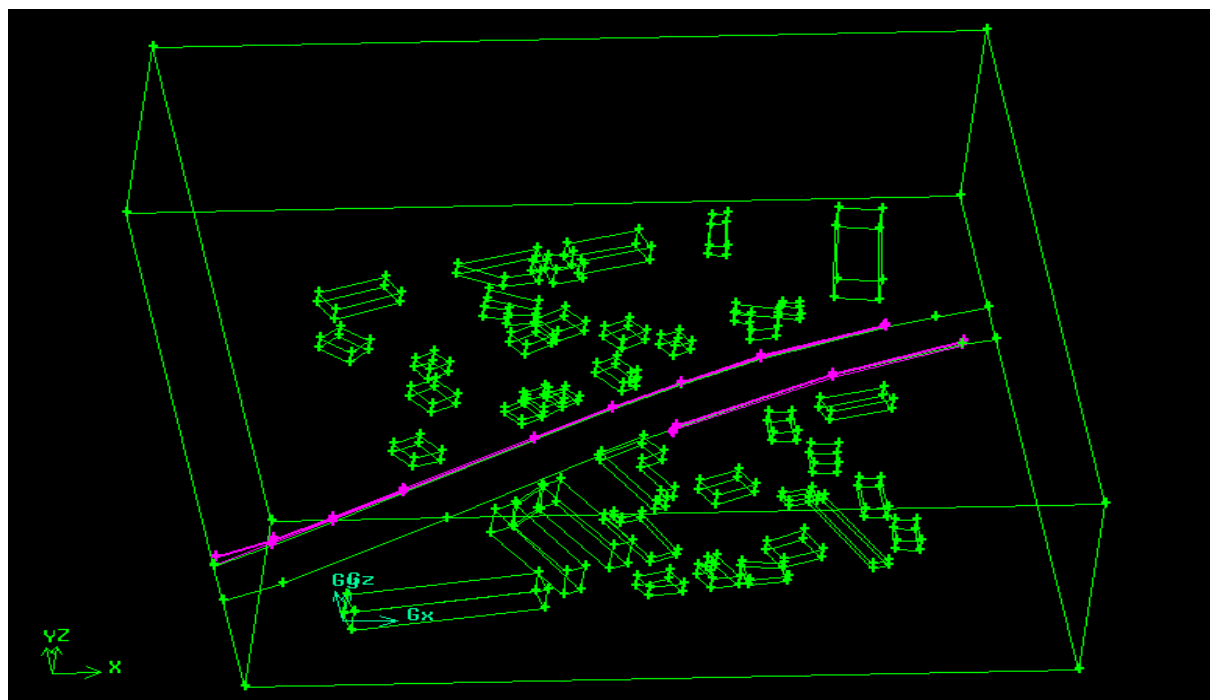
Coordonnées réelles sur le site (Données du CETE de Lyon)			Données de concentration "soufflerie"			Concentration réelle
X m	Y m	Z m	C ppm	CTR m ⁻²	c' ppm	C _{NOx} μg/m ³
1124,15	397,582	159	84	1,72E-03	59	3,05E+02
1105,15	351,882	160	0	0,00E+00	3	0,00E+00
1105,15	356,882	158	10	2,05E-04	27	3,63E+01
1105,15	366,882	158	336	6,89E-03	243	1,22E+03
1105,15	387,882	159	160	3,28E-03	111	5,81E+02
1105,15	415,882	159	70	1,44E-03	50	2,54E+02
1072,35	378,882	159	76	1,56E-03	28	2,76E+02
1047,15	357,382	159	18	3,69E-04	19	6,54E+01
1105,15	387,882	159	160	3,28E-03	111	5,81E+02

6.1.2 ANNEXE 2 : INTERFANCE DE GAMBIT

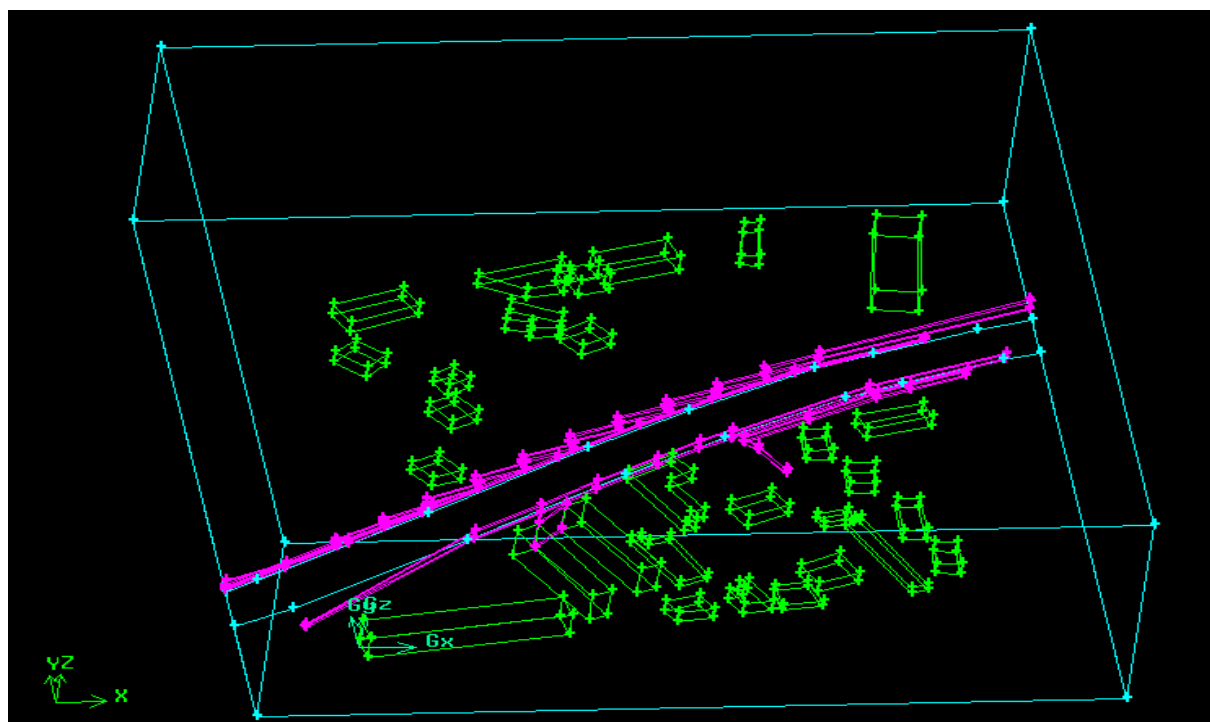


6.1.3 ANNEXE 3 : GEOMETRIE DES SITES

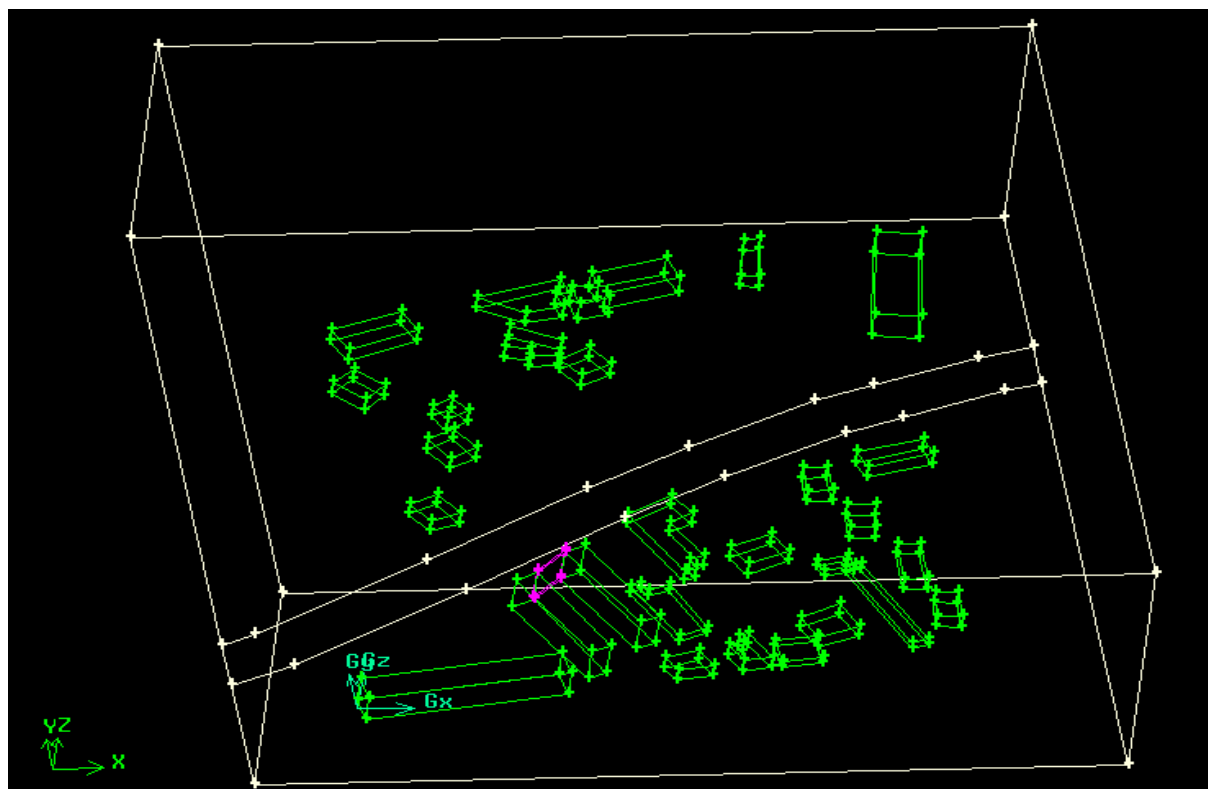
Sites actuel avec écrans :



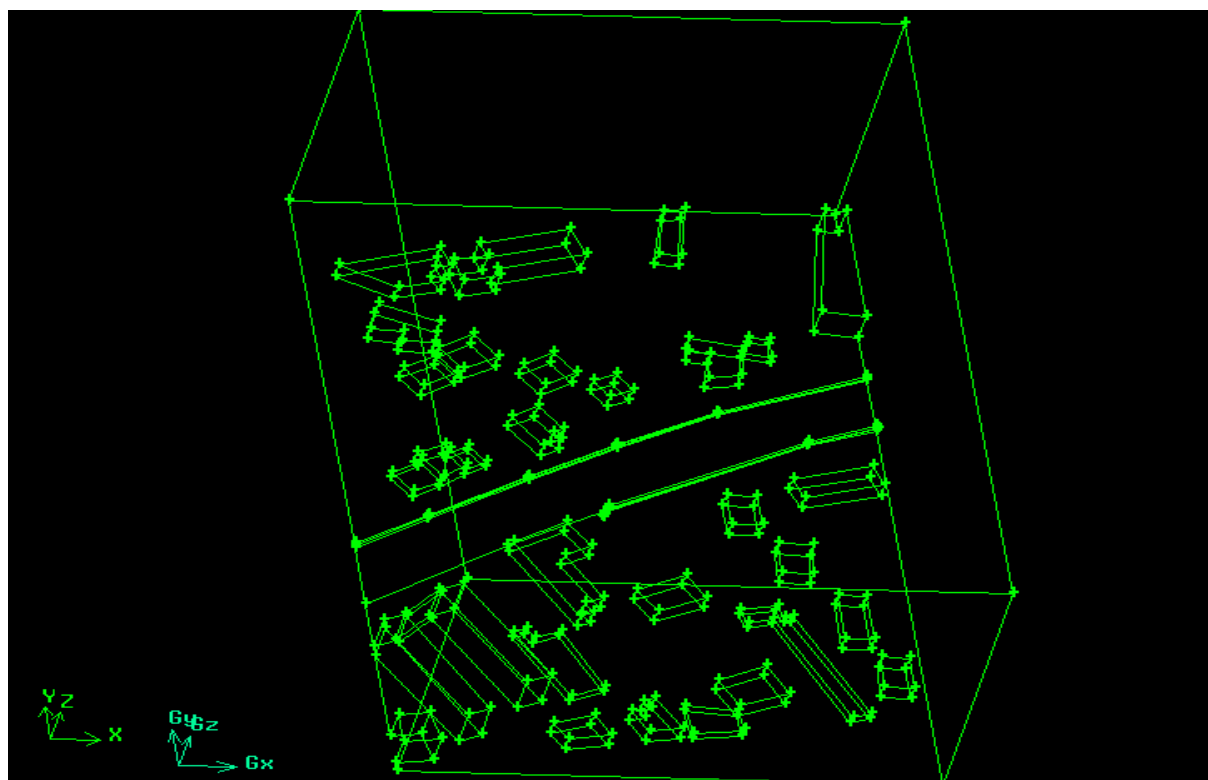
Site futur avec écrans :



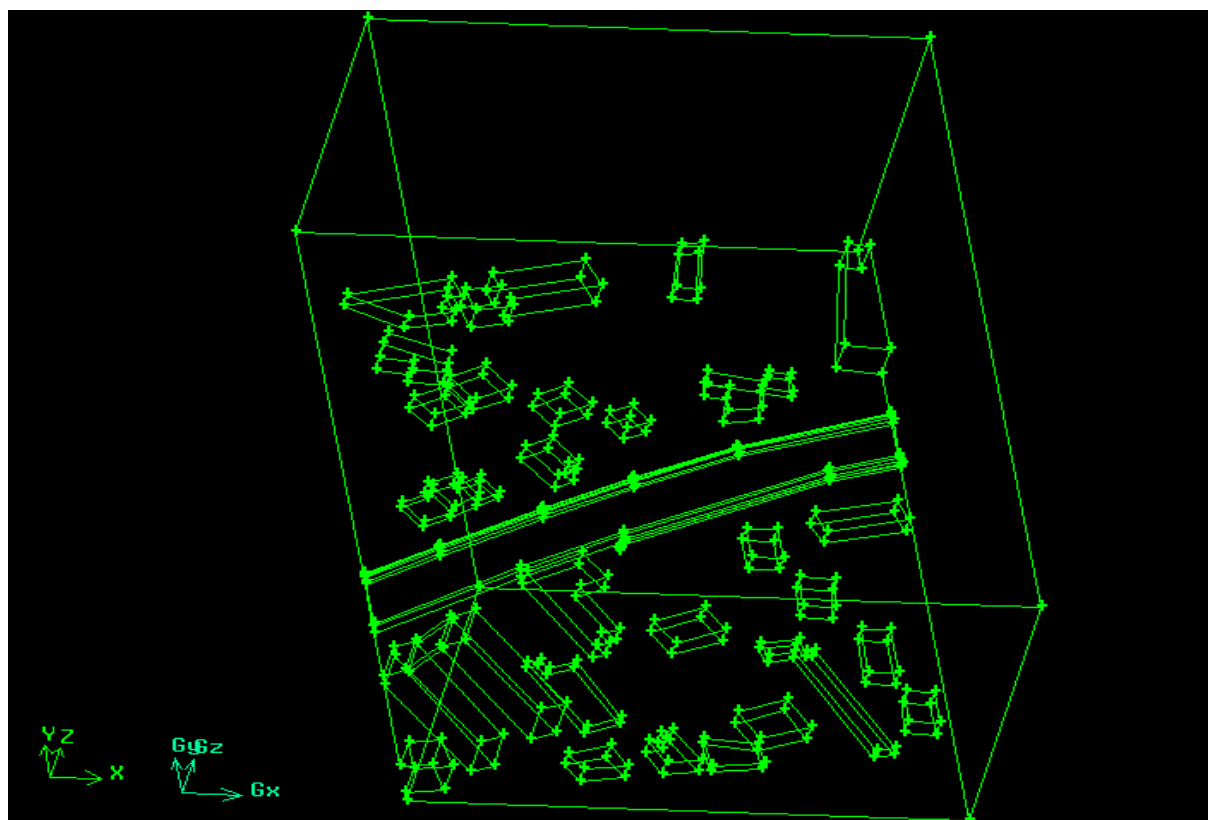
Site futur sans écrans :



Site actuel réduit source surfacique :

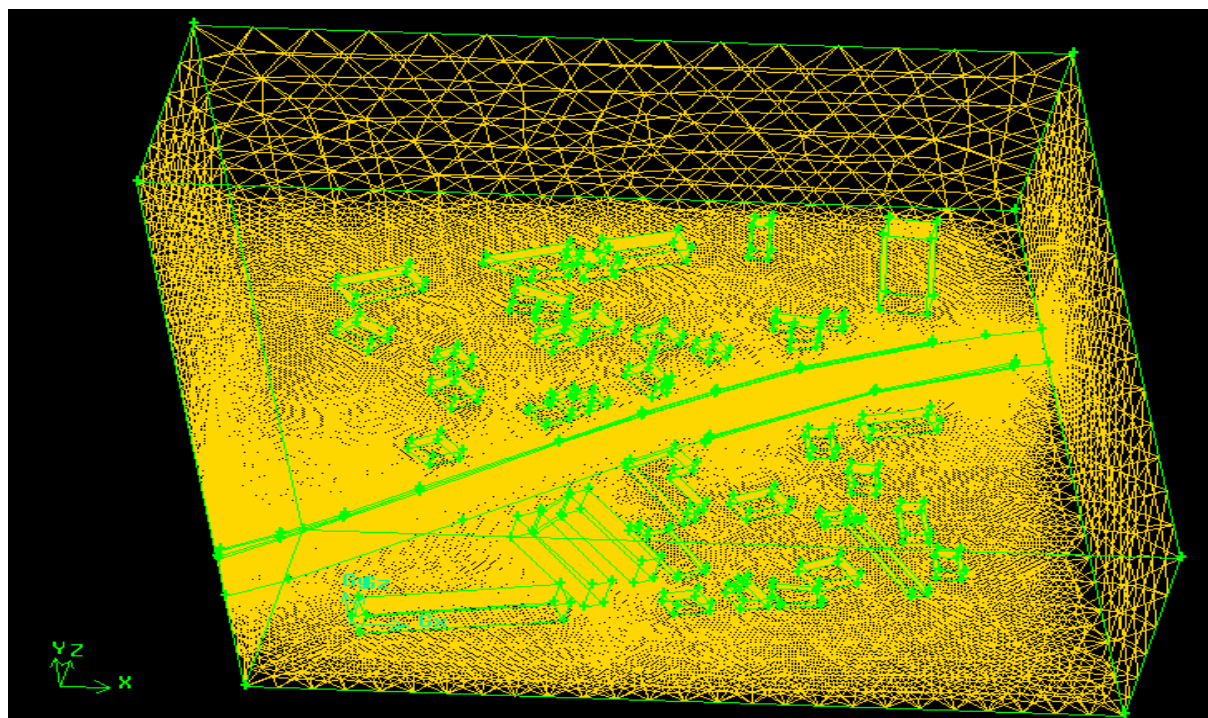


Site actuel réduit source volumique :

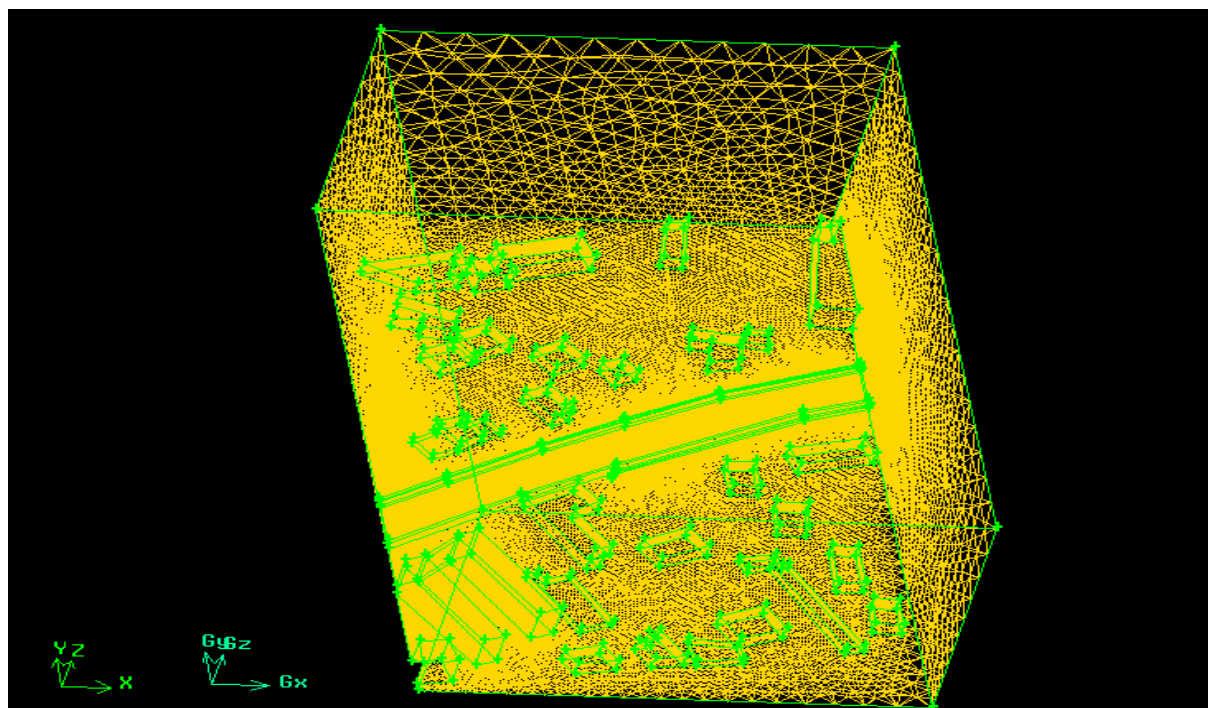


6.1.4 ANNEXE 4 : MAILLAGE DES SITES

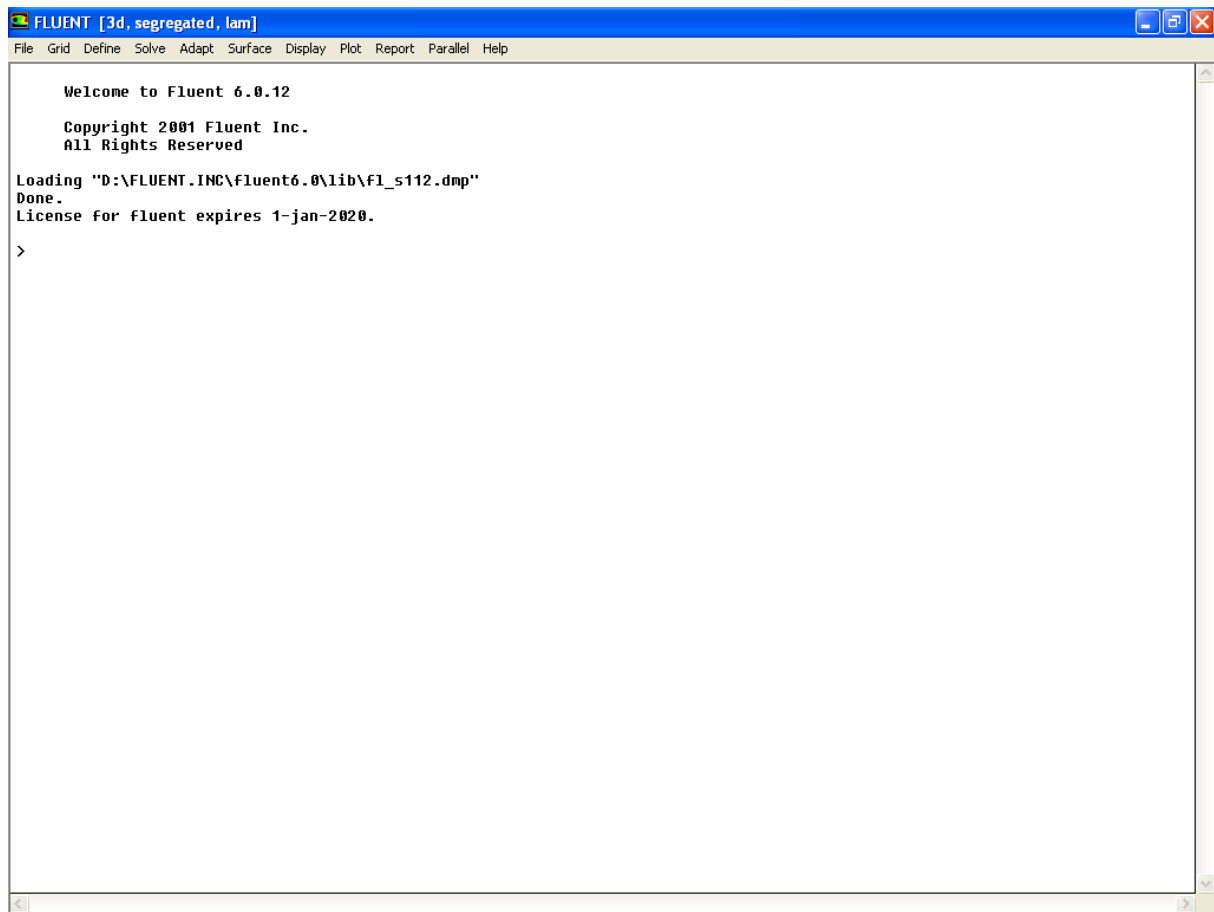
Sites actuel avec écrans :



Sites actuel réduit source volumique :



6.1.5 ANNEXE 5 : INTERFACE DE FLUENT

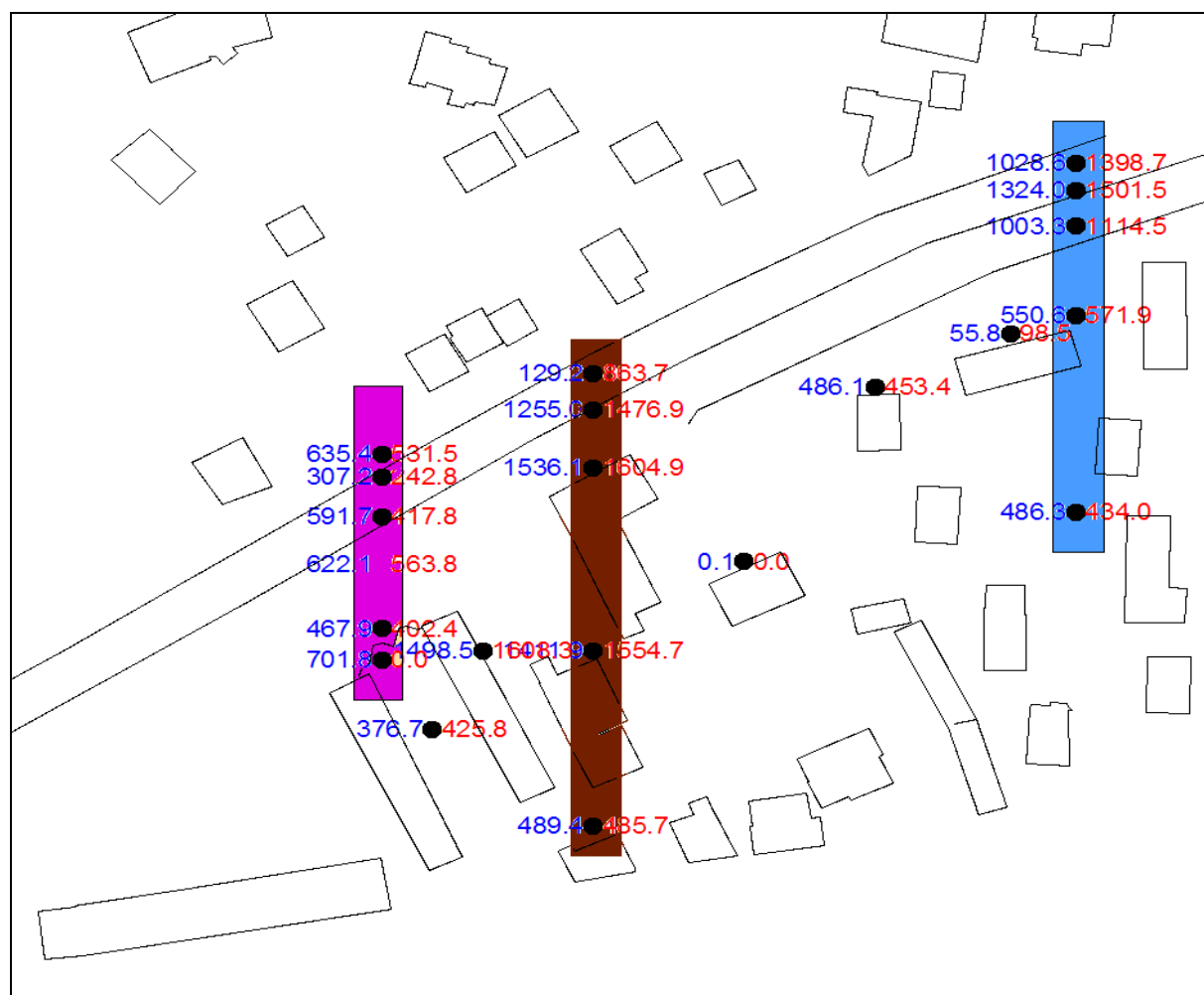


6.1.6 ANNEXE 6 : PROFIL DU VENT DU NORD

z	u	v	w	tke	eps
0	0	0	0	0,34611624	0
2	0	-1,57566922	0	0,34611624	0,04182393
4	0	-2,15136853	0	0,34611624	0,02091197
6	0	-2,48813105	0	0,34611624	0,01394131
8	0	-2,72706785	0	0,34611624	0,01045598
10	0	-2,91240163	0	0,34611624	0,00836479
12	0	-3,06383036	0	0,34611624	0,00697066
14	0	-3,19186153	0	0,34611624	0,00597485
16	0	-3,30276717	0	0,34611624	0,00522799
18	0	-3,40059287	0	0,34611624	0,0046471
20	0	-3,48810095	0	0,34611624	0,00418239
22	0	-3,56726163	0	0,34611624	0,00380218
24	0	-3,63952968	0	0,34611624	0,00348533
26	0	-3,70600983	0	0,34611624	0,00321723
28	0	-3,76756084	0	0,34611624	0,00298742
30	0	-3,82486346	0	0,34611624	0,00278826
32	0	-3,87846648	0	0,34611624	0,002614
34	0	-3,92881878	0	0,34611624	0,00246023
36	0	-3,97629219	0	0,34611624	0,00232355
38	0	-4,02119818	0	0,34611624	0,00220126
40	0	-4,06380026	0	0,34611624	0,0020912
42	0	-4,10432335	0	0,34611624	0,00199162
44	0	-4,14296095	0	0,34611624	0,00190109
46	0	-4,17988074	0	0,34611624	0,00181843
48	0	-4,21522899	0	0,34611624	0,00174266
50	0	-4,24913405	0	0,34611624	0,00167296
52	0	-4,28170915	0	0,34611624	0,00160861
54	0	-4,3130547	0	0,34611624	0,00154903
56	0	-4,34326016	0	0,34611624	0,00149371
58	0	-4,37240555	0	0,34611624	0,0014422
60	0	-4,40056278	0	0,34611624	0,00139413
62	0	-4,42779664	0	0,34611624	0,00134916
64	0	-4,4541658	0	0,34611624	0,001307
66	0	-4,47972346	0	0,34611624	0,00126739
68	0	-4,50451809	0	0,34611624	0,00123012
70	0	-4,52859394	0	0,34611624	0,00119497
72	0	-4,5519915	0	0,34611624	0,00116178
74	0	-4,57474796	0	0,34611624	0,00113038
76	0	-4,5968975	0	0,34611624	0,00110063
78	0	-4,61847166	0	0,34611624	0,00107241
80	0	-4,63949958	0	0,34611624	0,0010456
82	0	-4,66000824	0	0,34611624	0,0010201

z	u	v	w	tke	eps
84	0	-4,68002267	0	0,34611624	0,00099581
86	0	-4,69956612	0	0,34611624	0,00097265
88	0	-4,71866026	0	0,34611624	0,00095054
90	0	-4,73732529	0	0,34611624	0,00092942
92	0	-4,75558006	0	0,34611624	0,00090922
94	0	-4,77344222	0	0,34611624	0,00088987
96	0	-4,79092831	0	0,34611624	0,00087133
98	0	-4,80805383	0	0,34611624	0,00085355
100	0	-4,82483336	0	0,34611624	0,00083648

6.1.7 ANNEXE 7 : PROFILS DES RESULTATS



 profil 1

 profil 2

 profil 3

© ministère des Transports, de l'Équipement, du Tourisme et de la Mer
centre d'Études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques

Toute reproduction intégrale ou partielle, faite sans le consentement du Certu est illicite (loi du 11 mars 1957).
Cette reproduction par quelque procédé que ce soit, constituerait une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du code pénal.

Reprographie: CETE de Lyon ☎ (+33) (0) 4 72 14 30 30 (septembre 2006)
Dépôt légal: 3^e trimestre 2006
ISSN: 1263-2570
ISRN: Certu/RE -- 06-08 -- FR

Certu
9, rue Juliette-Récamier
69456 Lyon cedex 06
☎ (+33) (0) 4 72 74 59 59
Internet <http://www.certu.fr>