

Convention d'offre de concours

**Réalisation du prolongement du puits de ventilation Nédelec du
métro de Marseille, rue Jules Ferry**

ENTRE :

LA COMMUNAUTE URBAINE MARSEILLE METROPOLE, dûment représentée
par son Président Monsieur Eugène CASELLI, habilité à l'effet des présentes par une
délibération du Bureau de communauté en date du

Ci-après dénommée la « Communauté urbaine »

ET

Société SCI Ferry 2011 : 507432979 RCS Marseille
Ci-après dénommée l' « offrant »

Il a été préalablement exposé ce qui suit :

PREAMBULE :

Par courrier en date du 12 avril 2011, la Communauté urbaine a reçu la proposition d'une offre de concours en nature de la Société SCI FERRY 2011 consistant en la réalisation du prolongement du puits de ventilation Nédelec du métro de Marseille, rue Jules Ferry.

En effet, cette offre de concours s'inscrit dans le projet de la Société SCI Ferry de réalisation d'une opération immobilière (une école de commerce) au sein l'aménagement de la ZAC Saint-Charles dans le périmètre d'Euroméditerranée.

L'intérêt de MPM est de continuer à assurer le bon fonctionnement du puits d'accès, de secours, de ventilation et désenfumage, du tunnel du métro de Marseille, ligne 2, voie 1, entre les stations de métro Jules Guesde et Saint Charles, à travers le futur bâtiment.

L'offre de concours se définit comme une contribution volontaire, en nature ou en argent, apportée par une personne physique ou morale qui y a intérêt, à la réalisation d'une opération de travaux publics. La jurisprudence administrative a reconnue la possibilité que la contribution offerte soit réalisée sous la forme de travaux publics.

Considérant que la proposition de la Société répond pleinement aux conditions posées par la jurisprudence administrative pour la qualification d'offre de concours, il a ensuite été convenu et arrêté ce qui suit :

Article 1 : objet.

La présente convention a pour objet de déterminer les conditions de mise en œuvre de l'offre de concours et des engagements respectifs des parties concernant la réalisation des travaux publics tels que décrits à l'article 6.

Article 2 : Durée.

La présente convention prend effet à la date de sa notification par la Communauté urbaine à l'offrant. Après la réalisation des travaux publics et l'établissement d'un procès verbal contradictoire de remise de l'ouvrage, la présente convention prendra fin à l'issue de la garantie de parfait achèvement.

Article 3 : Acceptation de l'Offre.

La Communauté urbaine déclare accepter l'engagement de l'offrant en tant qu'offre de fond de concours.

Article 4 : Offre de concours - Maîtrise d'ouvrage.

L'offrant apporte une offre de concours en nature par la réalisation de travaux publics tels que décrits à l'article 6.

La maîtrise d'ouvrage des travaux est assurée par l'offrant. L'offrant assume donc l'ensemble des obligations incombant au maître de l'ouvrage aussi bien à vis-à-vis de la Communauté urbaine que vis-à-vis des tiers.

L'offre de concours couvre également l'ensemble des dépenses liées à la réalisation des travaux publics notamment : les études techniques de conception et d'exécution, les frais de maîtrise d'œuvre, les assurances et toutes opérations annexes nécessaires à la réalisation de l'ouvrage...

Article 5 : Assurances - responsabilités

L'offrant contractera toutes les assurances nécessaires et rendues obligatoires dans le cadre des travaux publics. Il assurera les responsabilités inhérentes à la qualité de maître de l'ouvrage jusqu'à la réception de l'ouvrage public.

Article 6 : Description des travaux.

Le projet immobilier consiste à construire un bâtiment R+5 et deux niveaux de parking souterrains, autour et au dessus de l'actuel puits (25 m de hauteur) de ventilation – désenfumage, affleurant au niveau de la rue Jules Ferry, appelé puits NEDELEC.

Le futur bâtiment englobera le puits sur trois côtés, et sera prolongé, à l'intérieur du bâtiment, par une cheminée en béton armé sur cinq niveaux, désolidarisée du puits actuel, et appuyée sur les fondations du bâtiment.

L'accès (représentant de MPM est la RTM – Régie des Transports de Marseille - et les services de secours – pompiers...) au puits sera assuré par un ouvrant de 5m de

hauteur par 3m de large (voir cahier des charges en annexe pour détails). Cet accès sera notamment opérationnel 24h/24 pendant les travaux.

Article 7 : Suivi des travaux.

Coordination en phase chantier, interface avec la gestion de l'ouvrage, suivi des travaux. L'offrant s'engage, au besoin par l'intermédiaire du constructeur, à donner à la RTM (qui transmettra si besoin à son usager principal, le Bataillon de Marins Pompiers de Marseille), tous les éléments, plans, études, avis, contrôles, essais, suivis de chantiers, ..., nécessaires à la réalisation dans les règles de l'art et du cahier des charges RTM, pendant et après la réalisation de l'ouvrage.

Mise en place d'un comité de suivi :

- Interlocuteur offrant :
M. Jean Louis ROGER 06 11 90 44 11
- Interlocuteur RTM :
M. ANDRE 04 91 10 50 32
- Permanence RTM en cas d'urgence :
CSR 04 91 10 55 17 ou PLG 04 91 10 53 33
- Interlocuteur Constructeur :
M. Léon GROSSE M. ALLUT 06 24 59 42 47
- Interlocuteur MPM :
Mme Laurence SUBRAN : 04 91 99 73 73

Article 8 : Subrogation.

L'offrant a en charge la mise en œuvre de la garantie de parfait achèvement et la levée des réserves. Pour le reste, la Communauté urbaine est subrogée dans l'ensemble des garanties, droits et obligations de l'offrant relatifs à ouvrage qui lui est remis.

Les marchés passés par l'offrant devront prévoir cette subrogation.

Article 9 : Réception des travaux – Propriété de l'ouvrage.

L'ouvrage intègre *ab initio* le patrimoine de la Communauté urbaine.

L'offrant est tenu d'obtenir l'accord de la Communauté urbaine ou de son représentant avant la réception de l'ouvrage. Pour ce faire, la Communauté urbaine ou son représentant est invitée aux opérations de réception de l'ouvrage.

Dès réception de l'ouvrage, l'offrant doit transmettre les plans d'exécution, les plans de récolement, les études de conception réalisations, documents techniques fonctionnels...

Après la réception des travaux et la levée éventuelle des réserves par l'offrant, le transfert de la garde de l'ouvrage est matérialisé par l'établissement d'un procès verbal contradictoire de remise de l'ouvrage.

Article 10 : Modification de la présente convention.

Les modifications éventuelles de la présente convention feront l'objet d'avenants.

Article 11 : Résiliation.

La Communauté urbaine se réserve la faculté de résilier unilatéralement la présente convention pour tout motif d'intérêt général sans que l'offrant ne puisse faire valoir un droit à indemnité.

Article 12 : Litiges.

En cas de litige survenant à l'occasion de la présente convention, tant pour ce qui concerne son interprétation que son exécution, et à défaut d'accord amiable entre les parties, le Tribunal administratif de Marseille est seul compétent.

Article 13 : Documents annexes.

Font partie intégrante de la présente convention les annexes suivantes :

- Cahier des Charges RTM/MPM d'avril 2011 et accompagné de 2 rapports FluidAlp (2008 et 2011).

Pour la Société SCI Ferry 2011
Le Directeur

Pour la Communauté urbaine
Marseille Provence Métropole
Le Président

Eugène CASELLI

**Cahier des charges
relatif à l'ouvrage d'évacuation des fumées du métro
dans le cadre du
programme immobilier EMD
sur le puits NEDELEC rue Jules Ferry.**

Objet : fixer les prestations techniques à mettre en œuvre pour le maintien en fonctionnement de l'ouvrage existant, pendant et après la construction.

Accès à préserver pour la maintenance RTM

Les gros équipements susceptibles d'être évacués du puits sont les baffles acoustiques de dimensions 2,00 m x 1,50 m x 0,20 m et d'un poids d'environ 500 kg. Pour pouvoir les sortir, il faut un ouvrant de 5 m de hauteur et 3 m de large pour avoir un débattement suffisant pour le camion grue. Cet ouvrant aura un accès par porte de dimensions standards de 2,05 x 0,93 m avec une serrure et un barillet de type européen EX 1 correspondant à l'organigramme de la RTM.

Le degré coupe feu de cet ensemble sera celui imposé par la réglementation.

Pendant toute la durée du chantier, le puits de ventilation doit toujours être libre pour permettre ainsi le bon fonctionnement du dispositif qui est alimenté par les infrastructures du Métro en toute indépendance du chantier.

Des ancrages pour accès devront être scellés en tête de cheminée, pour permettre l'inspection de l'intérieur de celle-ci.

La sécurité aux abords du chantier et après travaux

Le titulaire du marché devra préserver les équipements existants du puits (grille de surface, trappe d'accès, structure métallique d'accès et les 2 trappes pour accéder aux alimentations de secours du ventilateur).

Après travaux, un emplacement sera matérialisé devant l'accès au puits, pour un véhicule de secours (pompiers). Les deux trappes précitées seront protégées par des potelets anti stationnement.

Le cahier des charges concernant le désenfumage

Les prescriptions du cahier des charges édictées (octobre 2008*) par le bureau d'études FLUID'ALP seront mises en œuvre par le constructeur maître d'ouvrage de l'immeuble.

Un état initial avec mesures en sortie du ventilateur a été réalisé en mars 2011*, avant travaux. Un état avec mesures sera réalisé après travaux.

Au cas où une régression de la capacité de désenfumage serait constatée après travaux, les frais de remise en état (changement de ventilateur, amélioration de l'aérodynamique, ou tout autre solution), seront à la charge du Maître d'Ouvrage du programme immobilier concerné.

*Ces deux documents sont joints en annexe.

Le contrôle de l'ouvrage après travaux

L'ouvrage après travaux devra être vérifié par un bureau technique de contrôle qui formalisera un procès-verbal de conformité des installations. Ce dernier sera remis à la Communauté urbaine Marseille Provence Métropole, propriétaire de l'ouvrage (parois intérieures).



Euroméditerranée
Puits de ventilation Ozanam et Nédélec
Etude du prolongement des puits de ventilation
Rapport final



Ref. 2008-11-T
3 octobre 2008

Sommaire

1	Introduction	3
2	La problématique de la ventilation du métro.....	3
3	Présentation des puits de ventilation	5
4	Le fonctionnement des puits de ventilation.....	7
4.1	Les principes	7
4.2	Les enjeux du prolongement des puits.....	8
5	Etude du prolongement des puits	8
5.1	La méthodologie	8
5.2	Le calcul des pertes de charges	9
5.2.1	Puits Ozanam.....	9
5.2.2	Puits Nédélec	11
6	Analyse des solutions étudiées	12
6.1	Analyse des résultats obtenus	12
6.2	Analyse des solutions.....	12
6.2.1	Rejet au niveau de la rue.....	12
6.2.2	Rejet au niveau des toits	13
6.3	Les optimisations	13
6.3.1	La section du conduit.....	13
6.3.2	La mutualisation des rejets de fumées	14
7	Les contraintes imposées à la construction.....	15
8	Cahier des charges pour le programme Ozanam	16
8.1	Principe aéraulique.....	16
8.2	Demandes RTM.....	17
8.3	Autres contraintes	17
8.4	Principe constructif	17
9	Conclusions	21

1 Introduction

Euroméditerranée a confié à FluidAlp la réalisation d'une étude relative au prolongement des puits Ozanam et Nédélec, en vue de leur intégration dans des projets immobiliers devant être réalisés à l'aplomb de ces ouvrages.

L'enjeu de ces aménagements est l'intégration des conduits prolongés dans les bâtiments, avec un impact limité sur les équipements de ventilation du métro.

L'étude doit également définir les contraintes nouvelles imposées aux conduits intégrés dans les bâtiments.

Enfin, le contexte administratif du projet doit être pris en compte. Le réseau du métro et les bâtiments à construire appartiennent à deux domaines différents. Il s'agit d'une contrainte assez forte qui conduit à limiter l'impact des nouvelles constructions sur le réseau aéraulique existant. Néanmoins des solutions permettant l'optimisation globale du projet sont proposées, mêmes si elles interagissent sur les deux domaines.

Le présent rapport intègre l'étude aéraulique réalisée par FluidAlp, ainsi que le cahier des charges de la réalisation, réalisé par le bureau d'étude Janny, à Marseille.

2 La problématique de la ventilation du métro

Le contexte réglementaire de la ventilation des tunnels du métro est l'Arrêté du 22 novembre 2005 relatif à la sécurité dans les tunnels des systèmes de transport public guidés urbains de personnes. Il précise que le désenfumage mécanique est obligatoire dans les tunnels de plus de 300 m et les tunnels communiquant avec une station.

Les fonctions du désenfumage sont :

- La maîtrise de la propagation des fumées dans une zone définie (protection des personnes) ;
- L'intervention des services de secours ;
- La protection des stations.

Les objectifs quantitatifs indiqués dans le texte de référence sont :

- Le contrôle de la vitesse critique (vitesse longitudinale de l'air s'opposant au développement du mouvement des fumées stratifiées à contre-flux) ;
- Le contrôle d'un minimum de 1,5 m/s

Le texte de référence pour la sécurité dans les gares du métro est le règlement de sécurité des établissements recevant du public (établissements particuliers de type gare).

Comme les règlements sont différents, les systèmes de ventilation des deux types d'ouvrages sont distincts. En particulier, les tunnels disposent d'un puits de désenfumage (Figure 1).

L'évolution technique conduit à utiliser les puits des tunnels pour accroître l'efficacité du désenfumage des stations, et réciproquement. La mise en cohérence des dispositions matérielles avec ces objectifs conduit à une évolution des systèmes de ventilation (Figure 2). Elle est mise en œuvre dans le prolongement de la ligne 1 du métro à Marseille.

La RTM a lancé un programme d'amélioration du désenfumage des lignes 1 et 2 du métro, dans lequel le rôle des puits de ventilation est essentiel. Il est donc nécessaire de maintenir leurs capacités dans les modifications qui seront apportées dans le cadre des programmes Ozanam et Nédélec.

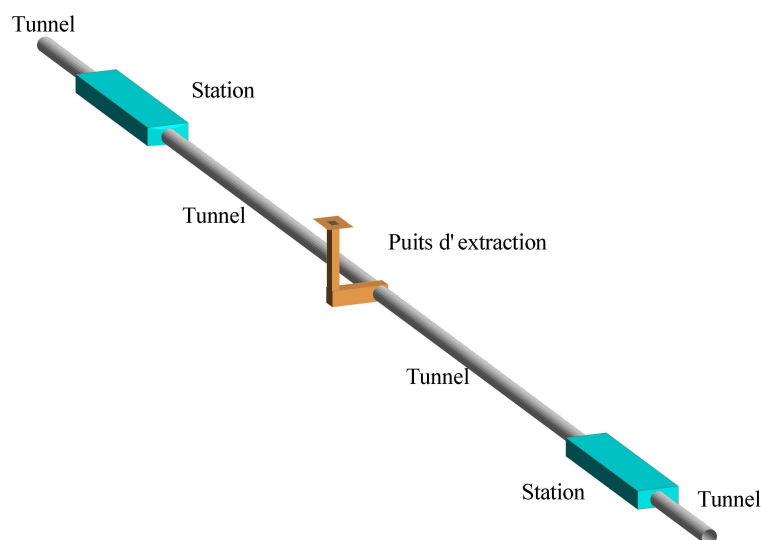


Figure 1 : Schéma de ventilation des lignes anciennes du métro de Marseille

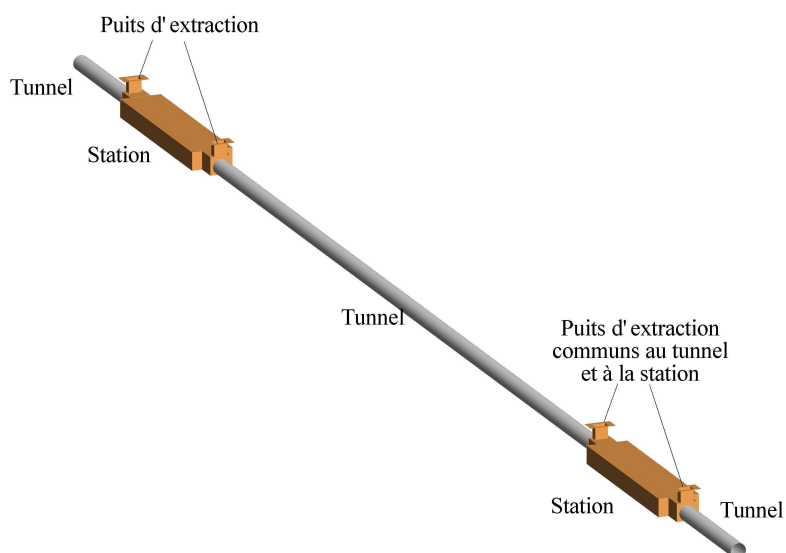


Figure 2 : Schéma de ventilation du prolongement de la ligne 1 du métro de Marseille

3 Présentation des puits de ventilation

Les puits de ventilation Ozanam et Nédélec sont très semblables. Ces ouvrages comportent les éléments caractéristiques suivants, décrits depuis le tunnel vers l'atmosphère extérieure :

- Le ventilateur (Figure 3 et Figure 4) ;
- Les baffles acoustiques (Figure 5) ;
- Le puits (Figure 6) et sa grille en surface (Figure 7).

Le puits Nédélec se présente sous la même forme.



Figure 3 : Vue du ventilateur Ozanam du côté tunnel



Figure 4 : Vue du ventilateur Ozanam du côté puits



Figure 5 : Vue des baffles acoustiques du côté ventilateur et du côté puits



Figure 6 : Vue du puits



Figure 7 : Vue extérieure de la grille en surface

4 Le fonctionnement des puits de ventilation

4.1 Les principes

Le ventilateur de chaque puits doit permettre de contrôler un débit déterminé, le long d'un conduit comprenant un certain nombre d'accidents aérauliques susceptibles de générer des pertes d'énergie qu'il convient de quantifier. Ces dernières se traduisent par une différence de pression que le ventilateur doit vaincre, afin d'assurer le débit souhaité.

Si on reporte ces conditions de fonctionnement dans un diagramme représentant la pression en fonction du débit de ventilation, le comportement du ventilateur est caractérisé par une courbe décroissante et celui du conduit aéraulique par une variation du type $\Delta p = k.Q^2$. Le point d'intersection des deux courbes correspond au point de fonctionnement. Il détermine un débit et une pression.

L'analyse de la courbe de fonctionnement du ventilateur fait apparaître une zone d'instabilité de fonctionnement (zone de pompage) qu'il convient d'éviter. Le risque pour le ventilateur peut être la destruction des pales.

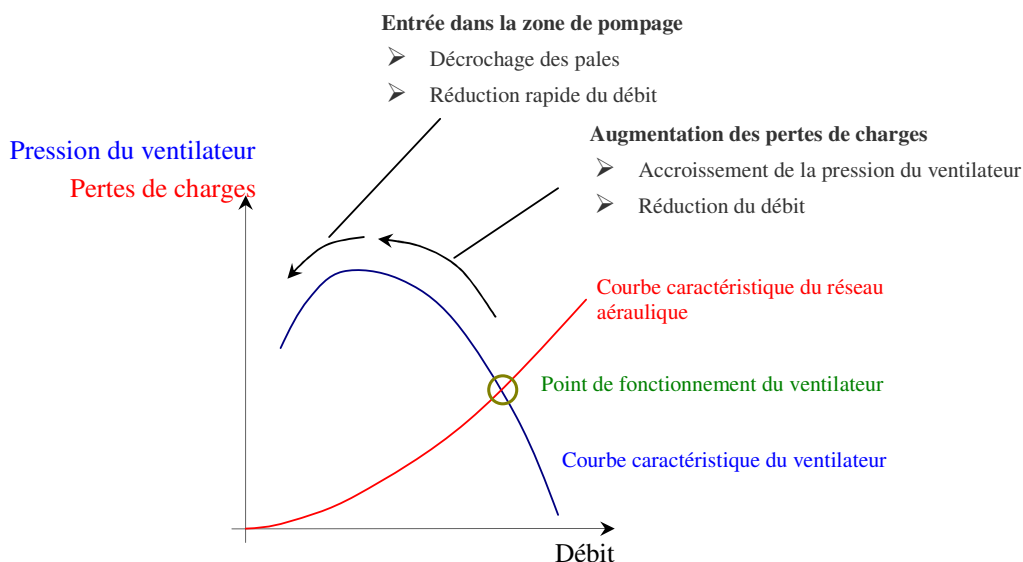


Figure 8 : Schématisation du fonctionnement d'un ventilateur

4.2 Les enjeux du prolongement des puits

Lorsque la résistance aéraulique des puits augmente, le coefficient k est accru, le débit de ventilation diminue, la pression augmente et le point de fonctionnement se rapproche de la zone de pompage.

La question posée dans le cadre de l'étude des puits Ozanam et Nédélec est celle de la réduction du débit, puis celle du risque d'atteindre la zone de pompage.

Il est donc nécessaire de réaliser un calcul de pertes de charges de la situation existante et de la situation à venir pour évaluer chacun de ces deux risques.

5 Etude du prolongement des puits

5.1 La méthodologie

Compte tenu de l'âge des ventilateurs, il est difficile de connaître avec précision la courbe caractéristique des machines.

En revanche, il est possible de calculer les pertes de charges du circuit de ventilation existant et d'évaluer les écarts qui sont imposés par une configuration donnée du prolongement des puits. La référence est la situation actuelle.

Les calculs de perte de charge sont donc réalisés à l'aide d'un logiciel développé par FluidAlp depuis 2006. Cet outil utilise plusieurs bases de données :

- Le mémento des pertes de charge de Idel'Cik ;
- Des données spécifiques, fournies par les fabricants de matériels ;
- Des simulations numériques tridimensionnelles réalisées sur codes (CFD 2000) et validées partiellement à l'aide de données expérimentales.

Il est important de préciser que le calcul des pertes de charges possède un caractère subjectif lié à la nature empirique de certains coefficients. Le calcul de pression doit donc être considéré comme un ordre de grandeur. Dans certains cas, la vérification se fait par la mesure du débit.

5.2 Le calcul des pertes de charges

5.2.1 Puits Ozanam

5.2.1.1 La situation actuelle

La référence du calcul de perte de charge est la disposition actuelle du puits de ventilation. Le débit pris en compte est de 40 m³/s.

Le calcul de perte de charge donne un résultat de 645Pa. La décomposition le long du conduit donne les résultats suivants :

- Entrée du ventilateur : 210 Pa ;
- Sortie du ventilateur : 300 Pa ;
- Baffles acoustiques : 135 Pa ;
- Coude : 7 Pa ;
- Puits vertical : 5 Pa .

La perte de charge du puits intègre la variation de section que l'on observe dans la partie supérieure.

L'essentiel de la perte de charge est donc réparti entre les sections de raccordement au ventilateur et les baffles acoustiques. Le reste des conduits correspond à des pertes de charges réduites, étant donnée la section importante qui limite la vitesse de l'air dans les conduits.

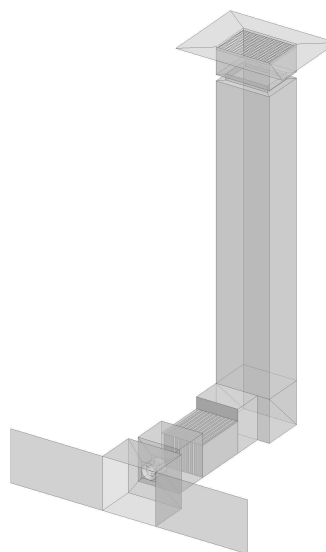


Figure 9 : Disposition du système de ventilation actuel dans le puits Ozanam

5.2.1.2 Le rejet au niveau de la rue

L'hypothèse d'un rejet au niveau de la rue se traduit par un coude à 90° localisé dans la partie supérieure du puits, de sorte que le refoulement est réalisé horizontalement.

Le calcul de perte de charge total donne une valeur de 660 Pa, ce qui demeure compatible avec les performance de débit actuel du ventilateur.

Néanmoins, il est nécessaire de retenir des dimensions assez importantes pour cette partie supplémentaire du conduit :

- Hauteur de la grille : 3,5 m ;
- Largeur de la grille : 3,0 m.

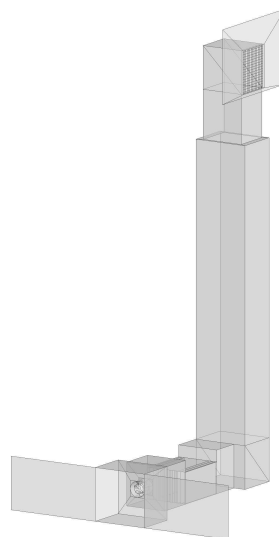


Figure 10 : Disposition du puits Ozanam dans l'hypothèse d'un rejet au niveau de la rue

5.2.1.3 Le rejet au niveau des toits

Si le rejet est effectué au niveau des toits du bâtiment, il est nécessaire de prolonger le puits en modifiant ou non la section du conduit. Les calculs de perte de charge montrent que la pression est de l'ordre de 650 Pa si la section du conduit est de 3 m x 3 m.

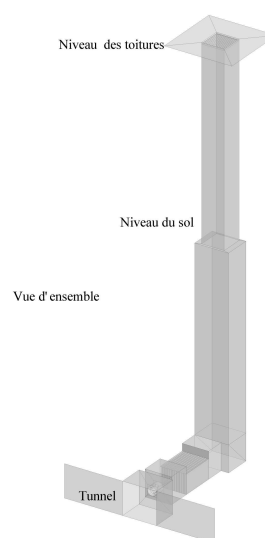


Figure 11 : Disposition du puits Ozanam dans l'hypothèse d'un rejet au niveau des toits

5.2.2 Puits Nédélec

5.2.2.1 La situation actuelle

Le puits Nédélec se présente sous une forme identique à celle du puits Ozanam. Les dimensions diffèrent sensiblement et le puits n'est pas dans l'axe du ventilateur.

La perte de charge totale pour un débit de 40 m³/s est de 650 Pa. Sa décomposition est sensiblement la même que celle du puits Ozanam :

- Entrée du ventilateur : 210 Pa ;
- Sortie du ventilateur : 260 Pa ;
- Baffles acoustiques : 170 Pa ;
- Coude : 6 Pa ;
- Puits vertical : 4 Pa .

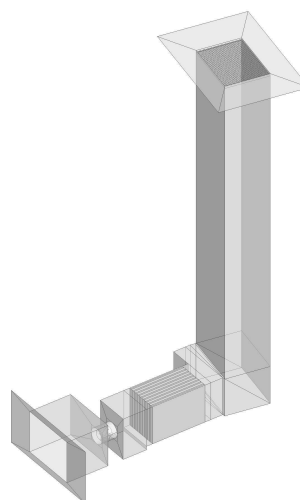


Figure 12 : Disposition de base du puits Nédélec

5.2.2.2 Le rejet au niveau de la rue

Dans le cas où le rejet est effectué au niveau de la rue, il est nécessaire ici aussi de prolonger le puits par un coude à 90°, après une éventuelle réduction de section du conduit.

La perte de charge calculée est de 670 Pa.

La section de rejet est également de 3,0 m x 3,5 m.

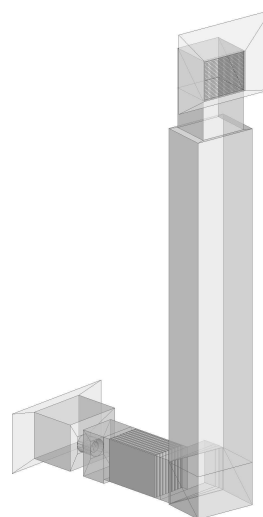


Figure 13 : Disposition du puits Nédélec avec rejet au niveau de la rue

5.2.2.3 Le rejet au niveau des toits

Dans ce cas, la disposition retenue est identique à celle du puits Ozanam.

La perte de charge totale est de 660 Pa.

La section du conduit complémentaire est de 3 m x 3 m.

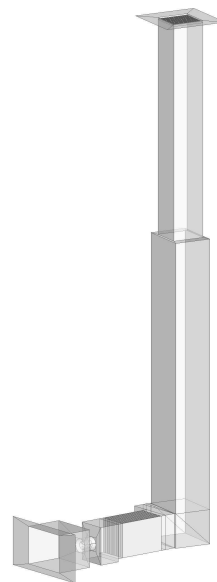


Figure 14 : Disposition du puits Nédélec avec un rejet au niveau des toits de l'immeuble

6 Analyse des solutions étudiées

6.1 Analyse des résultats obtenus

Les résultats précédents montrent une similitude très forte des pertes de charges des puits Ozanam et Nédélec.

Compte tenu des sections des conduits complémentaires qui ont été pris en compte dans le prolongement des puits, les effets sur les pertes de charges sont mineurs et le fonctionnement des ventilateurs ne devrait pas être remis en cause.

Le risque de pompage du ventilateur ne doit pas être pris en compte.

6.2 Analyse des solutions

6.2.1 Rejet au niveau de la rue

La solution intégrant un coude est la plus pénalisante du point de vue des pertes de charges. Il est nécessaire de maintenir une section relativement importante dans le conduit complémentaire pour limiter l'accroissement de pression. Il s'agit d'une conséquence directe de la présence d'un coude dans le conduit.

En cas d'incendie dans le tunnel du métro, les fumées seront rejetées dans la rue, avec des effets induits liés à l'opacité, la toxicité et la température. Les personnes se trouvant dans la zone de la bouche de rejet peuvent être directement exposées. Cette solution est généralement peu acceptée par les services de sécurité car elle peut conduire à des risques secondaires dans des secteurs qui ne sont pas concernés par l'incendie initial.

Enfin, d'un point de vue acoustique, cette solution impose une contrainte complémentaire puisque les bâtiments existants, situés en face de la grille de rejet se trouvent affectées par un niveau sonore provenant du niveau métro, auquel ils n'étaient pas initialement soumis, étant donnée la directivité du son.

6.2.2 Rejet au niveau des toits

En revanche, dans le cas du prolongement simple du puits, la réduction de section admissible est sensiblement plus importante. Dans les deux cas, une section de passage de 9 m² peut être retenue. Les calculs montrent que la perte de charge par frottement demeure limitée, même si la longueur du conduit est importante.

Le rejet au niveau des toits des bâtiments est préférable dans la mesure où il utilise l'effet d'Archimède pour faciliter la dispersion du panache de fumées.

Cette solution doit être privilégiée, mais elle reste soumise à la règle des 8 m séparant le rejet des ouvrants les plus proches (Réunion du 16 juin 2008 avec le Bataillon des Marins Pompiers).

6.3 Les optimisations

6.3.1 La section du conduit

Les optimisations intéressent les deux sites de façon identique. La réduction des pertes de charges au niveau du ventilateur et des baffles acoustiques permet de réduire encore la section libre dans le conduit. Les moyens passifs qu'il est possible de mettre en œuvre sont :

- Pour le ventilateur :
 - L'amélioration de l'aérodynamique d'entrée ;
 - L'amélioration du refoulement ;
- Pour les baffles :
 - L'implantation de carénages permettant de réduire la traînée des éléments (les formes actuelles sont les plus pénalisantes, Figure 5) ;
 - L'accroissement de l'espace entre les blocs (il est actuellement de 10 cm, il peut être accru en fonction des besoins d'atténuation. Une valeur de l'ordre de 20 cm est généralement retenue). Cette disposition doit faire l'objet d'études préalables pour être validée ;
 - La réduction de la longueur des baffles en fonction des besoins de réduction du bruit. Là aussi, des études sont nécessaires.

Une piste d'optimisation semble appropriée à la recherche d'une réduction du conduit de ventilation. Il s'agit donc de l'amélioration de l'aérodynamique des baffles. Cette solution consiste à fixer des tôles sur les bords d'attaque et de fuite des baffles, de façon à réduire les effets de traînée. Cette solution offre une réserve de pression de l'ordre de 35 Pa.

La mise en œuvre de cette disposition se traduit par une possibilité de réduire la section du conduit supérieur à 2,5 m x 2,5 m. La pression calculée est alors de 630 Pa, ce qui est compatible avec le mode de fonctionnement actuel.

Il n'est pas recommandé de réduire encore cette section car la vitesse dans le conduit peut devenir relativement importante et s'accompagner de la génération d'un niveau de bruit qui ne peut être traité par les équipements en place.

6.3.2 La mutualisation des rejets de fumées

Lors de la réunion du 16 juin 2008, le projet a été présenté au BMP. La question de la mutualisation des conduits de rejet de désenfumage du métro et du parking a été abordée. Dans cette solution, le ventilateur de désenfumage du parking est connecté à la cheminée (Figure 15).

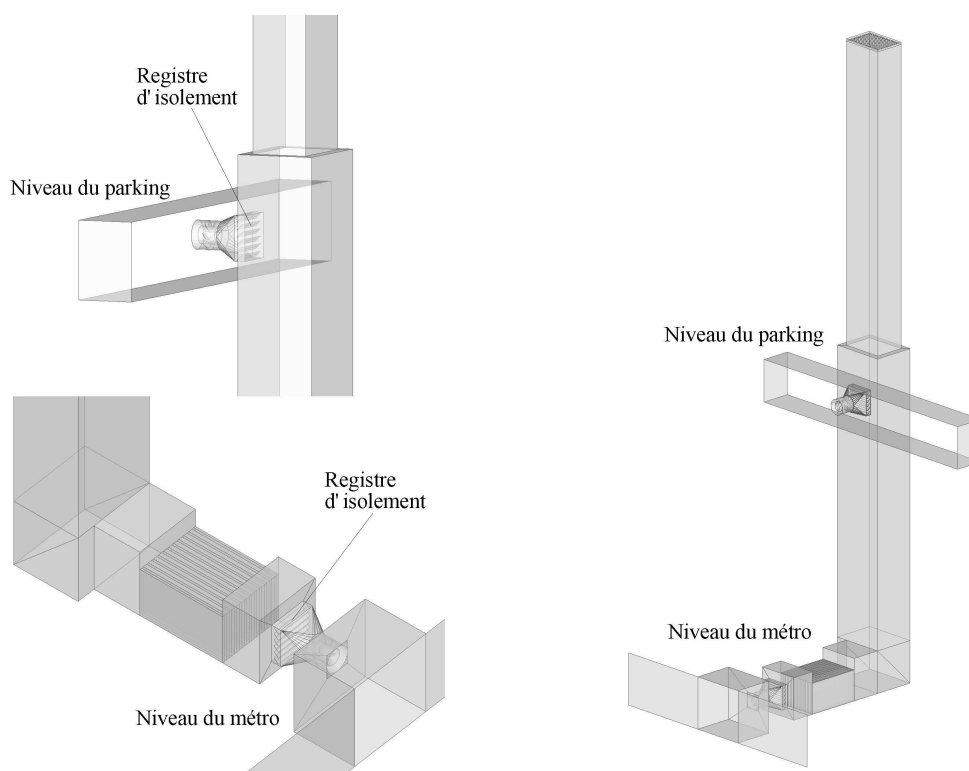


Figure 15 : Schéma de principe de la mutualisation des rejets de fumées

Cette solution nécessite la mise en place de registres d'isolement pour qu'en cas d'incendie, le volume non concerné ne soit pas affecté par les fumées. L'ouverture de ces deux registres serait alors directement conditionnée par le démarrage des ventilateurs associés. Il s'agit donc d'une commande locale.

Il est nécessaire de préciser que dans le cas particulier d'un incendie dans le parking, les fumées seraient rejetées dans le puits où elles subissent un mouvement vers le haut à cause de leur température (effet d'Archimède). Le risque de propagation vers le bas devrait être pris en compte si aucun registre n'est installé dans le cas du passage des trains qui se traduit par des effets de pression puis de dépression qui imposent un mouvement d'air montant puis descendant à l'intérieur du puits.

La solution de mutualisation des puits de désenfumage avait été a priori rejetée lors de la réunion du 5 mai 2008, en présence de l'architecte et du promoteur du projet Ozanam. La solution retenue avait été une séparation du conduit jusqu'au débouché au niveau des toits du bâtiment. Cette séparation interviendrait dans un conduit vertical commun. Lors de la réunion du 16 juin 2008, les représentants du BMP ont fait remarquer que cette disposition pourrait être soumise à la même contrainte que celle

du rejet au niveau d'une paroi. Une distance de 8 m minimum devrait alors séparer les deux débouchés de conduits, ce qui induit une complexité architecturale supplémentaire.

7 Les contraintes imposées à la construction

Les contraintes imposées à la conception des prolongements des puits sont de plusieurs types :

- Géométriques ;
- Vibratoires ;
- Acoustiques ;
- Thermiques ;
- De réalisation ;
- D'exploitation.

Ce rapport n'a pas vocation à préciser le contexte réglementaire de la réalisation. C'est le rôle du bureau de contrôle retenu par le promoteur. Néanmoins on fournit ici une liste des contraintes qui doivent être intégrées dans la conception.

Les contraintes géométriques

Dans le cas d'une solution intégrant un rejet en façade, la distance entre la bouche et les premiers ouvrants de la même façade doit être au minimum de 8 m. Il s'agit de l'application d'une disposition semblable à celle figurant dans le règlement de sécurité incendie des établissements recevant du public.

Ces contraintes concernent également la section du conduit prolongeant le puits d'extraction des fumées et sa disposition. La section est soumise aux contraintes qui ont été développées dans cette étude. Une section de 3 m x 3 m semble optimale. La réduction de cette dimension est assujettie à des mesures permettant de réduire les pertes de charges par ailleurs.

Le conduit qui s'inscrit dans le bâtiment doit être dans le prolongement du puits existant. Si des dispositions différentes devaient être retenues (coudes, conduits supplémentaires), il serait nécessaire d'accroître la section et d'améliorer ses qualités aérodynamiques internes. Cela imposerait nécessairement un complément d'étude.

Les contraintes vibratoires

Les contraintes vibratoires sont essentiellement dues à la vitesse de passage de l'air dans le conduit. Celle-ci sera de l'ordre de 5 m/s à 6 m/s en fonction de la section du conduit. Une vitesse de 10 m/s prise comme référence permettra de dominer tous les effets pénalisants.

Par ailleurs, dans ce même domaine, il sera nécessaire de découpler la structure supérieure, intégrée dans le bâtiment, de la structure inférieure qui transmettra les bruits liés au fonctionnement de la ventilation mécanique, mais surtout au passage des rames de métro et des trains de travaux.

Les contraintes acoustiques

Les contraintes acoustiques ont été déterminées dans la nuit du 29 au 30 mai 2008 par la société FluidAlp. A cet effet, la RTM a mis à disposition un train de travaux. Les essais ont été réalisés au puits Ozanam. Les tests ont porté sur deux configurations :

- La mise en fonctionnement du ventilateur (Bruit continu) ;
- Le passage du train de travaux (Bruit émergent).

Les résultats des mesures donnent les valeurs suivantes :

Position de la mesure	Conditions	
	Ventilateur en fonctionnement	Fonctionnement de train de travaux (moteur de la grue)
Entre le ventilateur et les baffles	96 dBA	Non réalisée
Au pied du puits	73 dBA	75 dBA

Tableau 1 : Niveaux de bruit mesurés au pied du puits Ozanam

Ces mesures doivent être considérées comme des indications. Si des données de ce type devaient être intégrées dans la conception du puits, il serait nécessaire de les faire réaliser par un bureau spécialisé dans ce domaine.

Les contraintes thermiques

Les contraintes thermiques qui sont à prendre en compte sont en rapport avec la fonction des puits. Ils sont dédiés au désenfumage des tunnels. A ce titre, ils doivent avoir des propriétés coupe-feu. Le degré concerné pour ce type de conduit est N2.

Là aussi, ces contraintes devront être précisées par le bureau de contrôle mandaté par le promoteur.

La réalisation

Des contraintes de réalisation s'imposent dans la mesure où la fonction de désenfumage doit être maintenue pendant la durée de construction des bâtiments. Les méthodes de construction devront tenir compte de cette contrainte.

L'exploitation

La possibilité de visiter la tête du puits doit être maintenue à terme. Il sera donc nécessaire de prévoir un accès au niveau de la chaussée aux personnels de la RTM. De ce fait, un aménagement interne du puits doit être étudié, afin de maintenir cette fonction.

8 Cahier des charges pour le programme Ozanam

Ce cahier des charges est réalisé par la société Itinéraires (M. Janny).

8.1 Principe aéraulique

En absence de la note de calcul du ventilateur existant, la société FluidAlp a dimensionné la cheminée à créer de manière à ne pas modifier le fonctionnement du dispositif actuel (débit et pression).

Les éléments sont les suivants :

- La cheminée aura une dimension intérieure minimale de 3 m x 3m pour une hauteur de 25 m
- L'axe de la cheminée actuelle doit être conservé
- Pas de traitement de surface particulier à réaliser pour l'intérieur de la cheminée
- La cheminée doit réaliser une coupure thermique réglementaire et prendre en compte des températures de gaz d'environ 250°C.
- La vitesse de l'air dans le conduit est actuellement de 5 m/s mais peut passer à 10 m/s en cas de changement des ventilateurs.

- Pas de réduction brusque de la section de la cheminée
- Les mesures acoustiques réalisées en sortie des silencieux donnent une valeur de 85dbA (coupure acoustique éventuelle à prévoir y compris en tête de cheminée).
- La cheminée existante est susceptible de transmettre les vibrations liées au passage des rames de métro, surtout pour les rames de maintenance.

Par ailleurs, les dimensions de 3X3 m correspondent à un optimum, il est possible d'avoir une cheminée légèrement rectangulaire avec une surface d'environ 10m². De même, si l'axe existant doit être conservé, il est possible d'effectuer une rotation autour de cet axe pour aligner la cheminée avec les éléments constructifs du bâtiment. L'élément de raccordement ne devra pas comporter de brusque changement de direction

8.2 Demandes RTM

Les demandes RTM concernent la phase chantier et la maintenance des ventilateurs.

- Pas d'obstruction du puits, sauf la nuit pendant l'interruption du métro
- Accès à prévoir depuis la rue ainsi que maintien du système d'alimentation électrique de secours
- Mise en place d'une porte permettant de sortir les silencieux et les ventilateurs à l'aide d'un camion équipée d'une grue.

8.3 Autres contraintes

La sortie de la cheminée doit être placée à 8 m des façades.

8.4 Principe constructif

La structure ne doit pas s'appuyer sur la cheminée existante

Il faut prévoir une coupure pour éviter la transmission des vibrations

La cheminée doit avoir un DCF de 2h (à confirmer par le bureau de contrôle ou les BMP). Il peut être obtenu par un mur en BA de 25 cm ou des blocs agglomérés enduits

La tête de cheminée actuelle sera démolie

Il est préférable que la nouvelle cheminée fasse partie structurellement du bâtiment.

Une solution possible reprenant ces principes est proposée ci après. Elle propose la démolition de la cheminée actuelle lors des terrassements du parking jusqu'au R-4 (dernier niveau de parking). La cheminée actuelle débouchera dans ce niveau de parking avec sa structure actuelle mais sans être liaisonnée à la dalle du parking pour éviter les vibrations. Les fondations du parking ne devront pas apporter d'efforts nouveaux sur la cheminée.

La cheminée nouvelle commencera au R-4 et sera supportée par la dalle du parking. Les dimensions intérieures seront de 4,7 m par 5,7 m environ pour envelopper complètement la cheminée existante. L'ouvrage aura une forme permettant de réaliser la réduction de section ainsi que la rotation des murs de la cheminée

Dans les autres niveaux, la cheminée sera simplement réalisée à l'avancement, de plancher à plancher et pourra servir d'élément porteur.

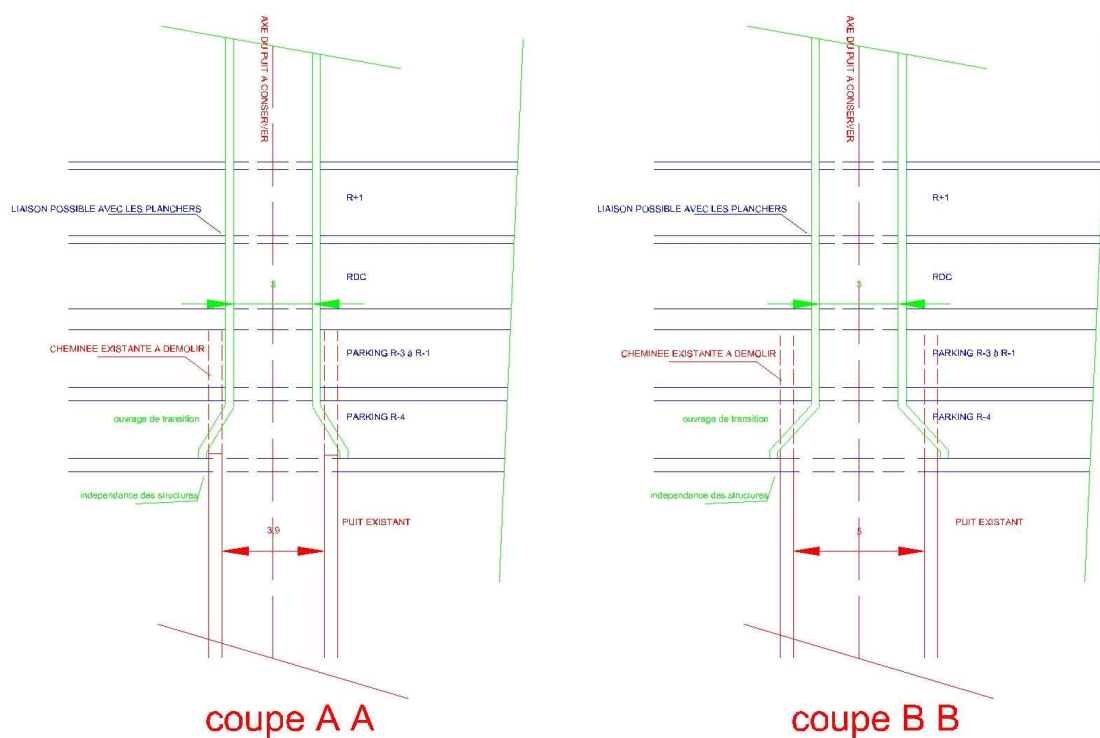


Figure 16 : Coupes verticales des ouvrages

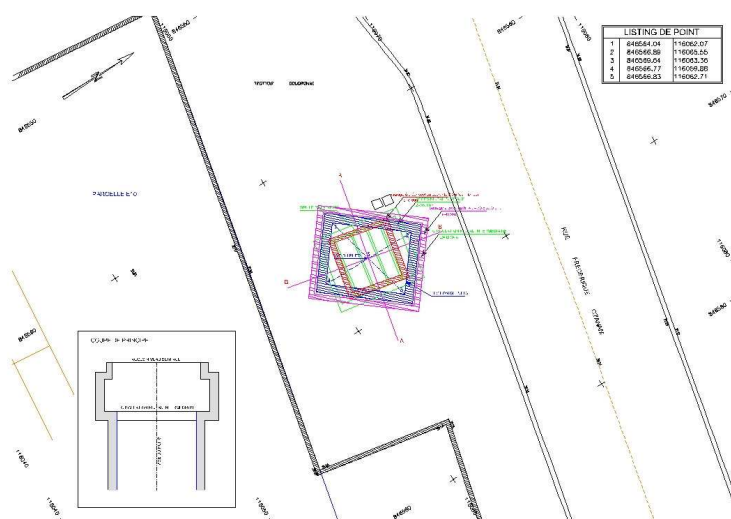


Figure 17 : Vue en plan générale des ouvrages (existant et à réaliser)

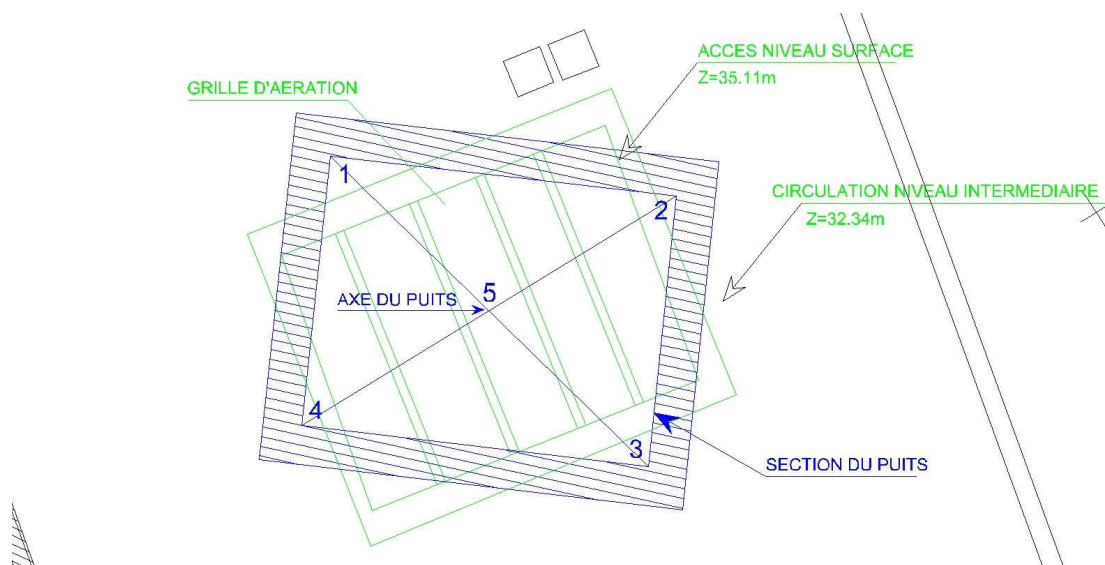


Figure 18 : Vue en plan des ouvrages (situation de l'existant)

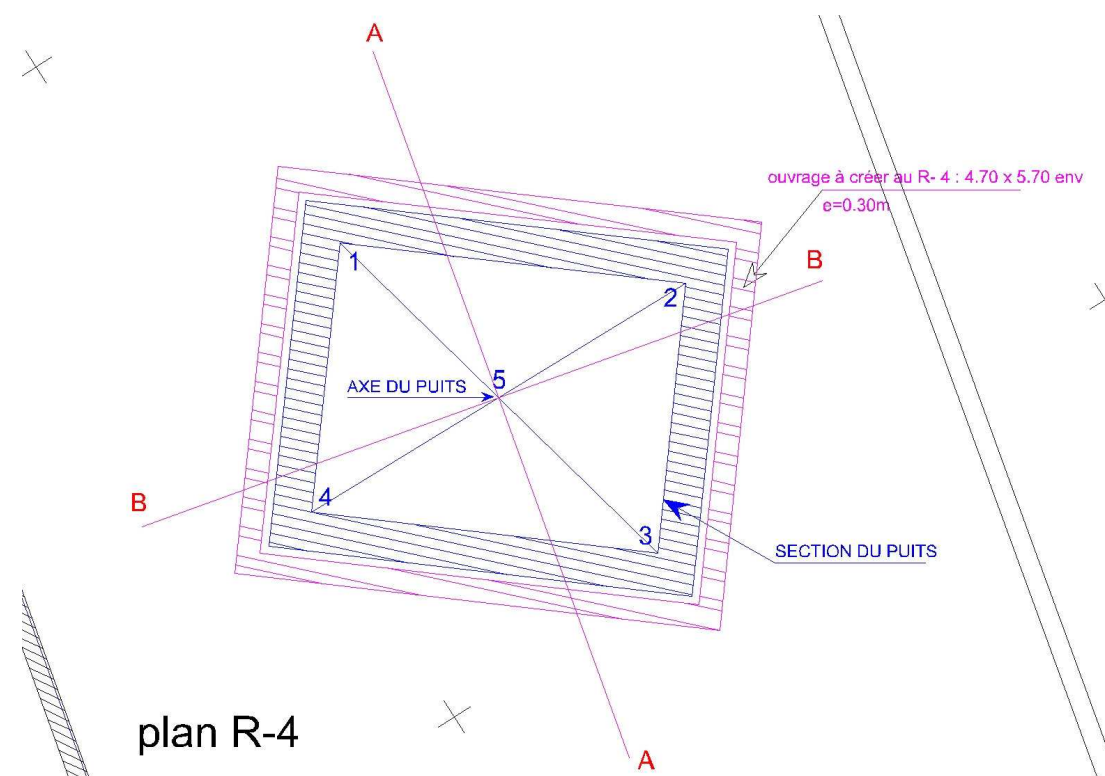


Figure 19 : Vue en plan des ouvrages à réaliser au niveau R-4

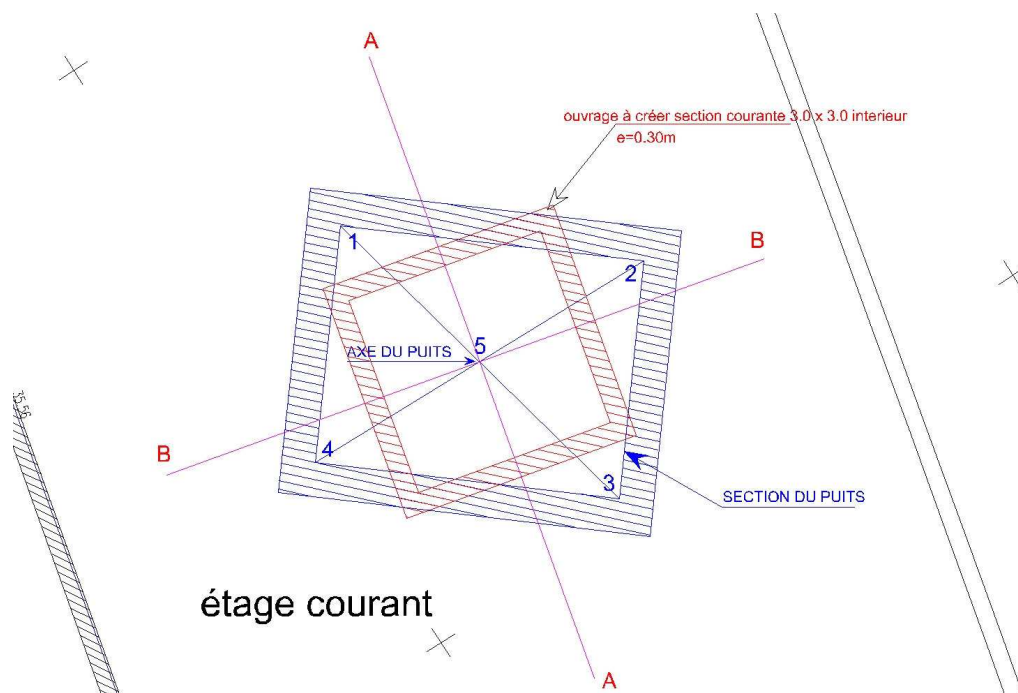


Figure 20 : Vue en plan des ouvrages à réaliser au niveau d'un étage courant

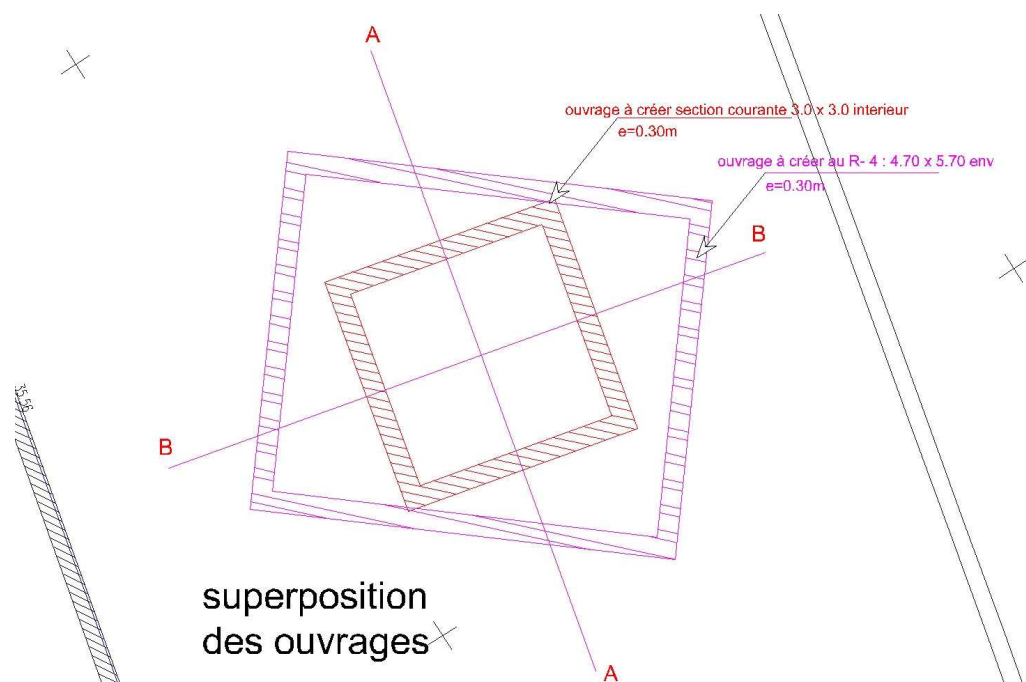


Figure 21 : Vue en plan des ouvrages à réaliser (superposition des ouvrages)

9 Conclusions

Deux familles de solution du prolongement des puits Ozanam et Nédélec ont été étudiées. Il s'agit d'un rejet au niveau de la rue et du prolongement du puits jusqu'au niveau des toits.

La première solution présente l'avantage de limiter l'impact sur le bâtiment, mais elle correspond à une perte de charge complémentaire assez sensible. De plus, en cas d'incendie dans le métro, les fumées rejetées affectent la rue et les bâtiments. Cette solution n'est généralement pas souhaitée par les commissions de sécurité qui lui préfèrent le rejet au niveau des toits.

Cette seconde solution consiste à prolonger le conduit vertical du puits. La section est sensiblement inférieure à la précédente et l'accroissement de pression est plus faible. La gaine affecte tous les niveaux du bâtiment.

Une optimisation des deux solutions est possible en améliorant l'aérodynamique des équipements de ventilation, au niveau du tunnel.



SCI Ferry 2011
Puits Nédélec – Mesures du débit de
ventilation
Etat de référence

2011-08-TM
8 mars 2011

Sommaire

1	Introduction	3
2	Le puits Nédélec.....	3
2.1	Présentation du puits	3
2.2	Rappel des études réalisées pour Euroméditerranée	4
2.3	Les différences constatées	5
3	La méthodologie	5
3.1	Les moyens de mesure.....	5
3.2	La caractérisation du débit	5
3.2.1	La section de référence.....	5
3.2.2	La référence normative	6
3.2.3	Le dispositif mis en œuvre	6
3.3	La configuration retenue	7
4	Les résultats des mesures	7
4.1	La section de référence	7
4.2	Les mesures de vitesse.....	9
4.3	Calcul du débit.....	11
5	Analyse des résultats.....	11
5.1	Incertitude	11
5.2	Caractéristiques nominales	11
6	Reprise des calculs de perte de charge.....	11
6.1	La configuration prise en compte.....	11
6.2	Les résultats des calculs.....	12
7	Conclusions.....	13

1 Introduction

Dans le cadre de la création d'un bâtiment à l'aplomb du puits de ventilation Nédélec, il avait été réalisé une étude destinée à préciser les caractéristiques de l'aménagement permettant d'intégrer le prolongement du conduit à l'intérieur de la construction.

Cette étude avait été réalisée par FluidAlp, à la demande d'Euroméditerranée.

Le Bataillon des Marins Pompiers de Marseille demande de vérifier par la mesure que les performances du désenfumage dans le métro ne sont pas compromises par la présence du bâtiment.

La SCI Ferry 2011 en charge de la construction du bâtiment a mandaté FluidAlp pour réaliser des mesures de débit du ventilateur dans le puits Nédélec permettant de s'assurer du maintien des performances.

Ce rapport présente les résultats des mesures réalisées par FluidAlp dans le cadre de la première série de mesures, destinées à qualifier l'état de référence.

2 Le puits Nédélec

2.1 Présentation du puits

Il s'agit d'un puits de ventilation localisé entre les stations St Charles et Jules Guesde. Ce tronçon comporte deux tunnels. Le puits Nédélec concerne la voie 1 (sens de circulation Jules Guesde – St Charles).

Les puits implantés dans les tunnels ont deux fonctions :

- Extraire les fumées d'un incendie qui se produirait dans le tunnel ;
- Produire les flux qui permettent de contrôler le mouvement longitudinal dans les tunnels et les stations.

Comme tous les ouvrages semblables, le puits Nédélec comporte un ventilateur et un étage de silencieux. Ces deux équipements sont localisés dans la partie horizontale de l'ouvrage. Le puits est vertical et il est limité dans sa partie supérieure par une grille, au niveau de la chaussée.

Les images suivantes ont été réalisées le 2 mars 2011, lors de la première campagne de mesures destinées à évaluer l'état de référence.



Figure 1 : Vue du ventilateur côté voie



Figure 2 : Vue du ventilateur côté silencieux



Figure 4 : Vue de l'étage de silencieux côté puits



Figure 3 : Vue de l'étage de silencieux côté ventilateur



Figure 5 : Vue du puits

2.2 Rappel des études réalisées pour Euroméditerranée

En 2008, Euroméditerranée a mandaté Fluidalp pour réaliser des études sur les puits Nédélec et Ozanam, dans l'hypothèse de leur intégration dans des bâtiments à créer à leur aplomb. La question posée concernait les dispositions à retenir pour ces conduits, de sorte que le fonctionnement des ventilateurs ne soit pas remis en cause.

Les études ont pris en compte deux configurations pour le prolongement des conduits :

- Le rejet au niveau de la rue, selon un axe horizontal. Le puits existant est alors surmonté d'un coude, suivi d'une grille ;
- Le rejet au-dessus du bâtiment, par prolongement du conduit existant, jusqu'au niveau supérieur.

Cette seconde solution a finalement été préférée car elle permet d'éviter les contraintes liées à la présence d'un rejet de fumées en façade (dispositions constructives des établissements recevant du public).

L'étude a montré que dans le cas du puits Nédélec, il est nécessaire de prévoir une section de l'ordre de 10 m² pour le conduit situé dans le bâtiment.

Cette disposition se traduit par un accroissement de la perte de charge de l'ordre de 3%, ce qui ne remet pas en cause le débit ni la tenue mécanique du ventilateur.

2.3 Les différences constatées

Les études ont été réalisées sur la base des plans fournis par la RTM. Lors des mesures réalisées dans la nuit du 2 au 3 mars 2011, certaines différences entre la configuration réelle et les hypothèses prises en compte dans les calculs ont été constatées :

- Les dimensions de l'étage de silencieux sont différentes :
 - o Longueur : 1,5 m au lieu de 4,5 m ;
 - o Largeur : 3,6 m au lieu de 2,75 m ;
 - o Hauteur : 2,55 m au lieu de 3,2 m ;
- Un changement de section du conduit se situe entre le ventilateur et l'étage de silencieux ;
- Le changement de direction de l'écoulement se situe après ce changement de section et non après l'étage de silencieux.

On verra dans la suite que ce dernier point a une influence sur les résultats des mesures du champ de vitesse.

3 La méthodologie

3.1 Les moyens de mesure

Les mesures ont été réalisées à l'aide de moyens anémométriques. Il s'agit d'anémomètres à hélice de la marque Albhorn, de diamètre 80 mm, pouvant mesurer des vitesses entre 0 m/s et 20 m/s.

Ils sont connectés à une centrale d'acquisition destinée à assurer la conversion du signal et au stockage des données.

3.2 La caractérisation du débit

3.2.1 La section de référence

Les moyens de mesure doivent être répartis dans l'espace de façon à rendre compte du débit délivré par le ventilateur. La situation classique consiste à retenir une section dans laquelle le flux longitudinal possède des caractéristiques favorables à une mesure anémométrique. La configuration habituelle consiste à retenir des sections dans lesquelles les effets des perturbations aérauliques situées en amont se sont dissipés. Le choix se porte donc sur des tronçons linéaires dont la longueur est au moins de 10 diamètres hydrauliques du dernier obstacle.

Dans le cas du puits Nédélec, cela reviendrait à installer une section de mesure au sommet du puits, mais cette solution est confrontée à deux problèmes :

- L'accessibilité à cette zone et la possibilité d'installer une section de mesure ;
- La présence de la cage d'escalier qui apporte des perturbations au flux longitudinal.

Pour cette raison, il a été préféré une mesure en sortie d'étage de silencieux. On considère que le passage du flux au travers des espaces séparant les coulisses se fait de façon localement homogène et à grande vitesse, ce qui permet de réduire l'incertitude de mesure.

Cette disposition est moins conventionnelle, mais elle donne des résultats satisfaisants. Par exemple, elle a été largement mise en œuvre pour les mesures de débit in situ dans les installations du prolongement de la ligne 1 du métro à Marseille.

3.2.2 La référence normative

Le texte de référence est la norme NF EN ISO 5802 relative aux mesures in situ des performances des ventilateurs industriels.

Pour évaluer un débit dans un conduit à l'aide d'anémomètres, la norme décrit la répartition des capteurs dans la section de référence. Cette répartition utilise la loi log-Tchebychev.

La mise en œuvre des anémomètres dans des sections étroites telles que celles qui séparent deux coulisses d'un étage de silencieux n'est pas prévue par la norme. Néanmoins, le principe des répartitions précédentes est maintenu.

3.2.3 Le dispositif mis en œuvre

Pour respecter l'interdistance entre les capteurs, ces derniers sont fixés sur une perche qui est déplacée latéralement, de sorte que l'axe des anémomètres coïncide avec celui des veines d'air (Figure 6).

Les anémomètres ne sont pas localisés entre les coulisses, mais à leur sortie. On considère que l'écoulement dans cette zone s'apparente à celui d'un jet. Le plan des hélices est donc localisé dans le cône potentiel. La mesure rend compte de la vitesse qui s'est développée entre les coulisses.

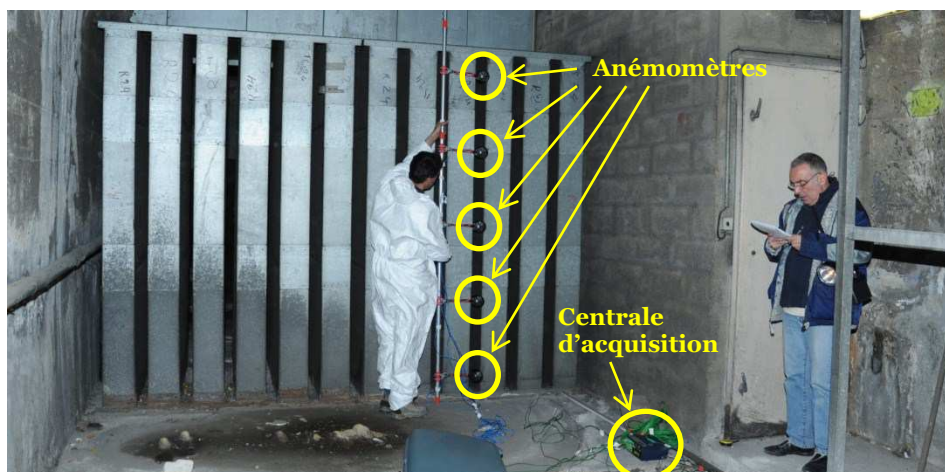


Figure 6 : Les moyens de mesure

Les hauteurs des différents capteurs par rapport au sol sont les suivantes :

Capteur	Hauteur
1	0,19 m
2	0,73 m
3	1,27 m
4	1,80 m
5	2,34 m

Tableau 1 : Hauteurs des capteurs sur la perche

Ces hauteurs sont données pour une répartition de 5 capteurs sur la hauteur de passage, conformément à la loi log-Tchebychev mentionnée par le texte normatif.

3.3 La configuration retenue

Seul le débit d'extraction a été caractérisé au cours de cette première phase. En effet, il s'agit essentiellement de définir un état de référence du coefficient de perte de charge global. Celui-ci est pratiquement identique dans les deux sens.

Il est dominé par les pertes de charge dues à l'étage de silencieux et aux changements de section associés au ventilateur.

Le débit de soufflage fera l'objet d'une caractérisation lors de la seconde phase de l'opération, pour définir les capacités qui seront finalement disponibles.

4 Les résultats des mesures

4.1 La section de référence

La section de référence pour l'intégration des vitesses mesurées se situe dans la face aval de l'étage d'atténuateur de sons.

Les conventions et les dimensions sont données par la figure et le tableau suivants.



Figure 7 : Localisation des veines d'air (côté puits)

Veine d'air	Largeur	
	0,5 m	2,0 m
1	0,105 m	0,120 m
2	0,083 m	0,078 m
3	0,088 m	0,088 m
4	0,083 m	0,079 m
5	0,085 m	0,083 m
6	0,082 m	0,087 m
7	0,095 m	0,094 m
8	0,086 m	0,081 m
9	0,086 m	0,083 m
10	0,077 m	0,083 m
11	0,085 m	0,083 m
12	0,080 m	0,085 m
13	0,117 m	0,097 m

Tableau 2 : Dimensions des espaces entre les coulisses de l'étage de silencieux en fonction de la hauteur par rapport au sol

4.2 Les mesures de vitesse

La période de mesure a été de l'ordre de 15 mn. Chaque position du groupe de capteurs est maintenue pendant une durée de l'ordre d'une minute en face de chaque veine d'air (Figure 8).

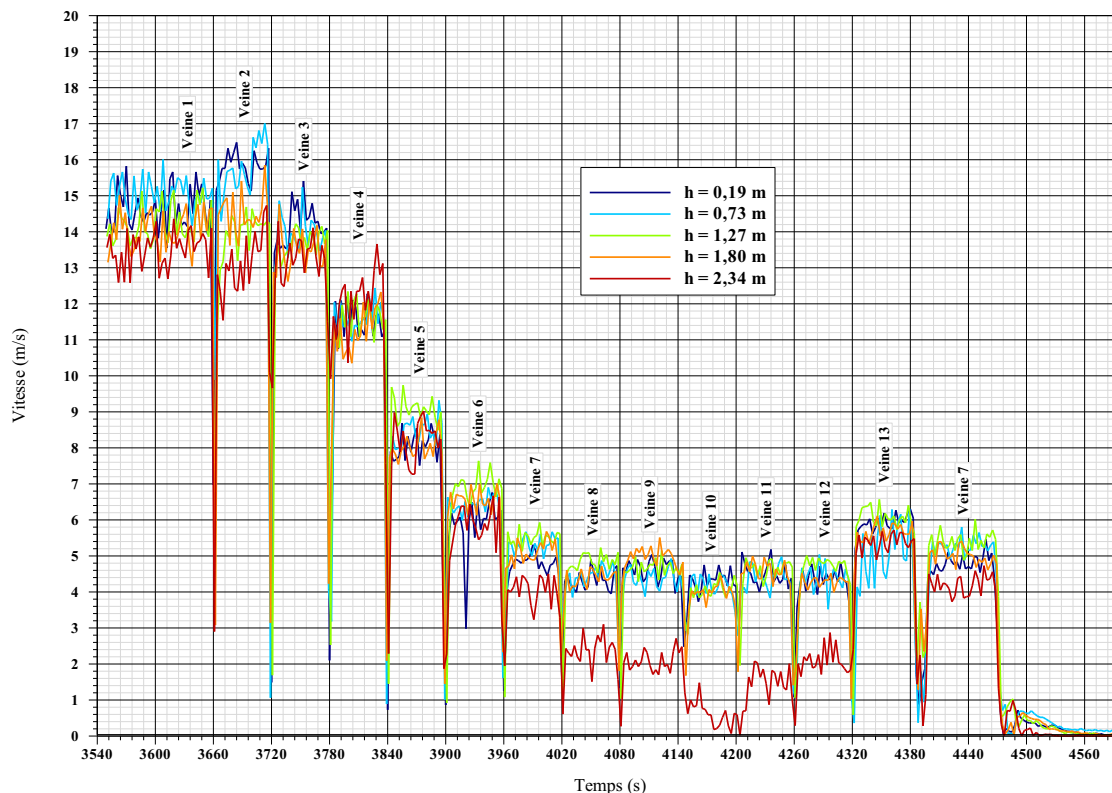


Figure 8 : Evolution de la vitesse mesurée dans les veines d'air

Les mesures montrent que :

- La vitesse ne dépasse jamais 16 m/s, ce qui confirme la pertinence de l'utilisation d'anémomètres dont la plage de mesure est de 0 m/s à 20 m/s ;
- Le maximum de débit concerne les veines 1 à 4. Dans la veine 10, le capteur le plus haut mesure une vitesse inférieure à 1 m/s ;
- Le dernier test concerne la mesure dans la veine 7. On constate une bonne reproductibilité de la mesure, ce qui suggère que le débit n'a pas subi de variation significative lors de la période de mesure.

L'analyse des champs de vitesse montre que l'essentiel du débit franchit l'étage de silencieux dans sa partie gauche (dans le sens de l'écoulement). Cette situation est due à l'angle qui existe entre l'axe du ventilateur et celui de l'étage de silencieux. Il est lié à la structure de la galerie de liaison entre le tunnel et le pied du puits (Figure 1 : angle visible au travers de la porte ouverte).

La zone de survitesse témoigne donc de l'impact du jet du ventilateur sur l'étage de silencieux.

On constate également qu'un débit relativement important affecte la veine 13. Ce flux est directement lié à la moindre perte de charge dans cette veine. En effet, la section de passage est sensiblement plus importante que dans les autres veines.

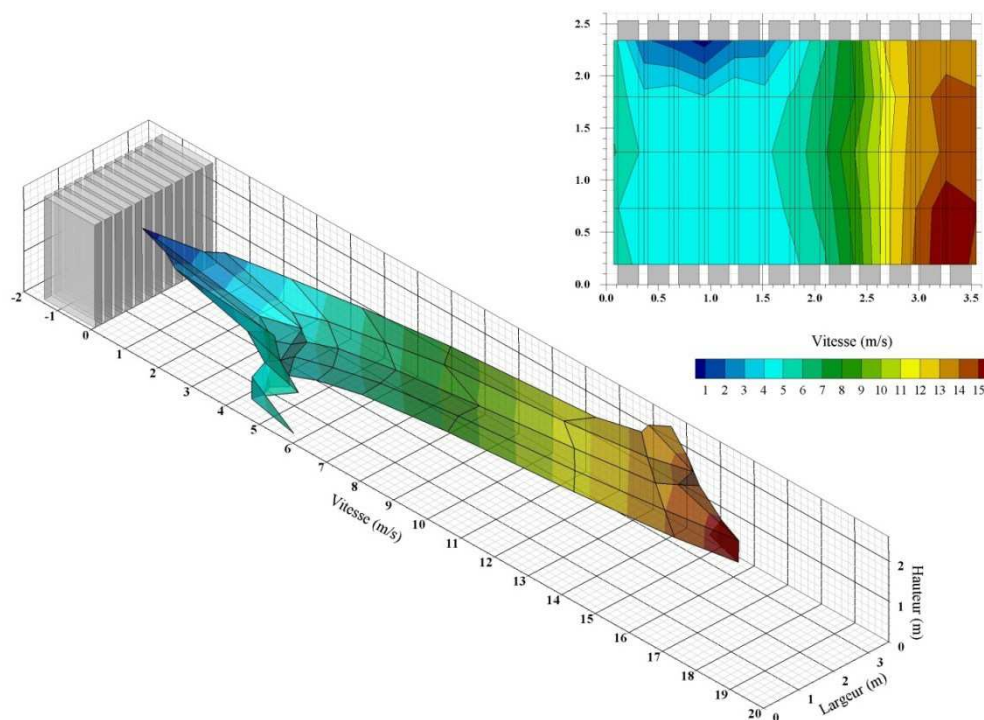


Figure 9 : Vue du profil de vitesse en aval de l'étage d'atténuateur de sons

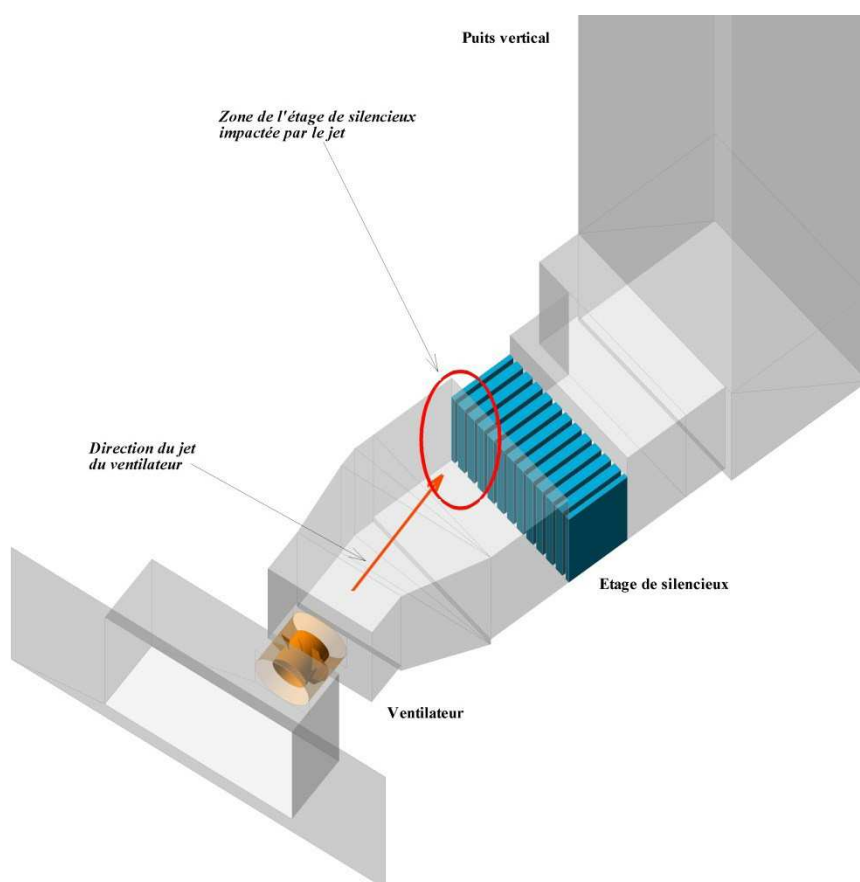


Figure 10 : Localisation de la zone de survitesse dans l'étage de silencieux

4.3 Calcul du débit

Conformément aux dispositions normatives, le calcul du débit Q est donné par :

$$Q = \sum \bar{v} \cdot S$$

où $\bar{v}$ désigne la vitesse moyenne et S la section de la veine.

La valeur calculée est de 22,5 m³/s.

5 Analyse des résultats

5.1 Incertitude

Ce point sera développé à l'issue de la seconde campagne de mesures (après la construction du bâtiment).

Une première analyse des enregistrements de vitesse montre une amplitude de vitesse de l'ordre de 8%, centrée sur la vitesse moyenne. En considérant que cette incertitude concerne le débit, celui-ci est donc compris entre 21,6 m³/s et 23,4 m³/s.

5.2 Caractéristiques nominales

Les éléments disponibles concernant les ventilateurs sont les suivants :

- Marque : Solivent Ventec ;
- Débit : 100 000 m³/h, soit 27,8 m³/s ;
- Pression : 200 Pa ;
- Puissance : 45 kW.

Le débit mesuré est significativement inférieur à la valeur nominale, même en tenant compte des incertitudes de mesure.

Cette situation est généralement reliée à l'installation d'obstacles dans le conduit de ventilation qui accroissent la perte de charge et diminuent de ce fait le débit.

6 Reprise des calculs de perte de charge

6.1 La configuration prise en compte

L'objectif de cette partie est de modéliser les pertes de charge dans le Puits Nédélec, dans la configuration des mesures de débit.

Les différences avec la configuration retenue pour les études réalisées en 2008 pour le compte d'Euroméditerranée ont été discutées.

Les calculs sont réalisés à l'aide du même outil (logiciel de calcul des pertes de charge développé par FluidAlp). La configuration prise en compte est la suivante (Figure 11).

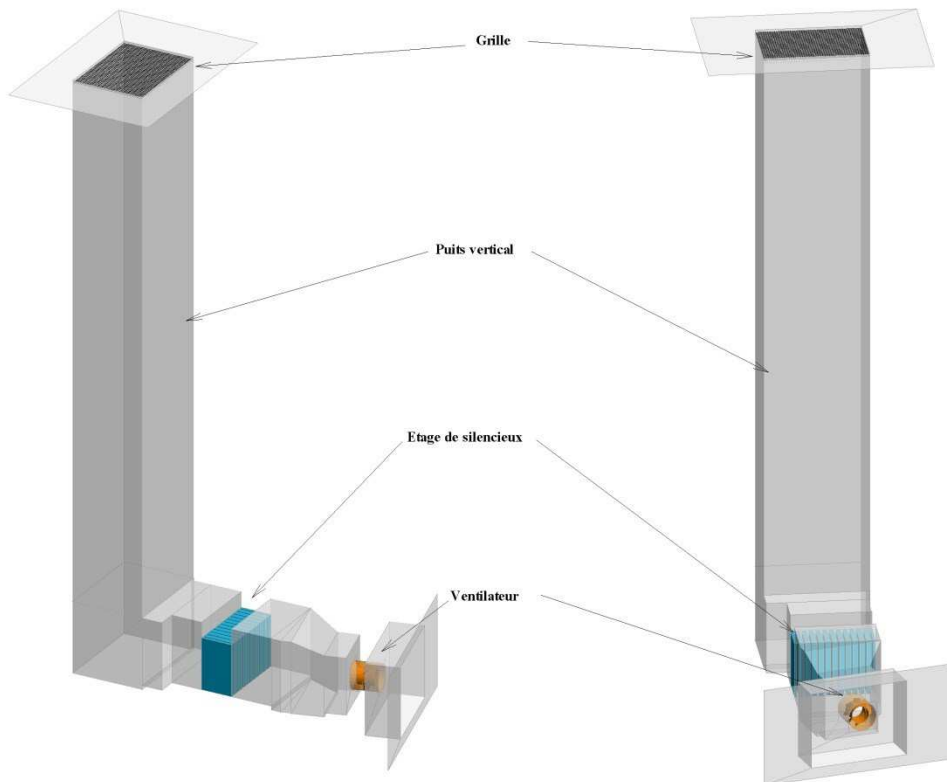


Figure 11 : Configuration du puits Nédélec lors des mesures

6.2 Les résultats des calculs

Le calcul de la perte de charge dans le sens de l'extraction, pour le débit mesuré de $22,5 \text{ m}^3/\text{s}$ est de 185 Pa.

Les pertes de charge dominantes sont, dans le sens du parcours de l'air :

- Le rétrécissement de section en amont du ventilateur : 64 Pa ;
- L'accroissement de section en aval du ventilateur : 57 Pa ;
- Le passage de l'étage de silencieux : 48 Pa ;
- Le coude au pied du puits : 2 Pa.

Si l'ordre de grandeur de la perte de charge globale est sans doute correct, la valeur précise est certainement sous-estimée à cause des hétérogénéités constatées dans le passage de l'étage de silencieux. En effet, le calcul de la perte de charge dans cet étage suppose une répartition homogène du flux dans toutes les veines, ce qui n'est pas le cas ici.

Dans ce bilan, la perte de charge du puits est négligeable, ce qui sera également le cas du prolongement dans le bâtiment. Les conclusions formulées dans le cadre des études réalisées pour Euroméditerranée semblent donc être confirmées par la présente approche, fondée sur des relevés de terrain plus précis.

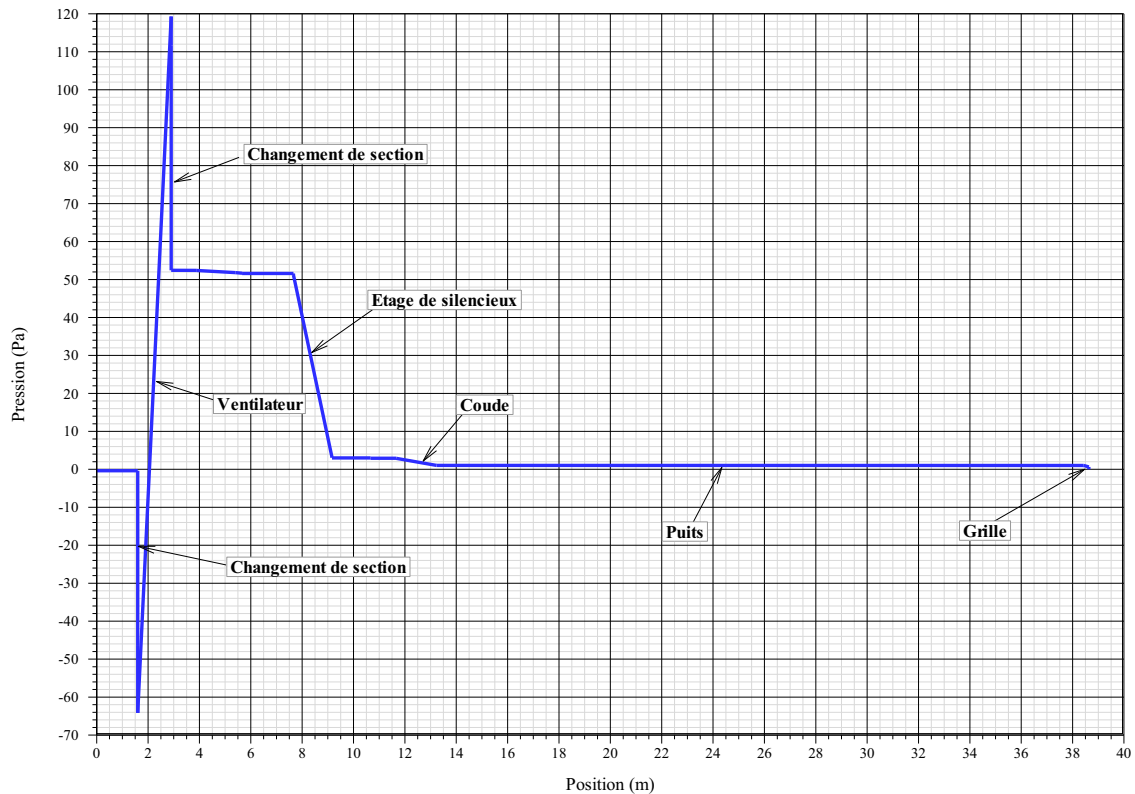


Figure 12 : Profil de pression le long du conduit dans le sens de l'extraction, pour un débit de $22,5 \text{ m}^3/\text{s}$

7 Conclusions

Cette première série de mesures, destinée à caractériser l'état de référence du puits Nédélec permet de calculer le débit du ventilateur fonctionnant dans le sens de l'extraction. Il est de $22,5 \text{ m}^3/\text{s}$.

Une analyse plus complète sera faite lors de la seconde phase de mesures, lorsque le puits sera dans sa configuration définitive :

- Les mesures seront réalisées selon le même protocole et leur traitement sera identique à celui qui a été décrit dans ce premier rapport ;
- La différence qui sera constatée permettra de mieux préciser la répartition des pertes de charges dans le conduit.

Enfin, si cette différence est significative, les moyens de la compenser seront étudiés avec la RTM.