

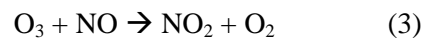
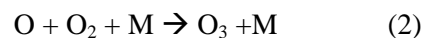
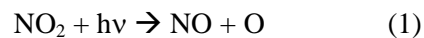
ANNEXE VI

MÉTHODOLOGIE DE MODÉLISATION DE L'OZONE

1 MÉTHODOLOGIE DE MODÉLISATION DE L'OZONE

Le modèle de dispersion CALPUFF n'est pas un modèle photochimique et il ne peut pas prévoir les changements relatifs à l'ozone. Un modèle d'ozone troposphérique (MOT) a donc été mis au point comme post-processeur au modèle CALPUFF. Il s'agit d'un modèle photochimique permettant de prédire les concentrations diurnes d'ozone en estimant la production de radicaux hydroxyles (OH, HO₂) et en calculant les vitesses de réaction photochimique pour les substrats oxydables, tels que les composés organiques volatils (COV), les oxydes d'azote (NO_x), le dioxyde de soufre (SO₂) et le nitrate de peroxyacétyle (NPA). Le modèle tient également compte du processus de destruction de l'ozone par les NO_x et des processus de retombées sèches sur les surfaces terrestres.

La formation d'ozone dans l'atmosphère se fait principalement par la photolyse du dioxyde d'azote (NO₂). L'atome d'oxygène produit par ce phénomène entre en collision avec une molécule d'oxygène, formant l'ozone. Simultanément, la molécule d'ozone (O₃) se décompose en oxygène (O₂) suivant la réaction de l'O₃ avec l'oxyde nitrique (NO) pour produire du NO₂. Les trois réactions pertinentes à la dynamique du système sont les suivantes :



où M représente une troisième molécule, telle que l'azote (N₂) ou l'O₂. En fait, l'atome d'oxygène est si réactif qu'il s'associe dès qu'il est libéré. La vitesse de formation d'ozone de la réaction (2) est donc égale à la vitesse de photolyse de la réaction (1). À un certain moment, un état pseudo-stable peut être atteint par l'équilibre de ces trois réactions, où le NO₂ et l'O₃ se forment aussi rapidement qu'ils sont détruits. On constate donc la relation suivante :

$$k_1[\text{NO}_2] = k_2[\text{O}][\text{O}_2][\text{M}] = k_3[\text{O}_3][\text{NO}]$$

Pour ce qui est de la conservation de l'azote, une expression analytique de la concentration d'O₃ peut donc être établie en fonction des quantités de NO et de NO₂, de la concentration initiale d'O₃ et des constantes des réactions.

D'autres espèces chimiques présentes dans l'atmosphère jouent aussi un rôle important dans la formation de l'ozone. Elles comprennent, entre autres, le monoxyde de carbone, les hydrocarbures et le NPA. Ces espèces peuvent toutes être calculées afin d'ajuster les concentrations initiales de NO₂, de NO et d'O₃ dans la solution pour analyse. Les vitesses ont pu être calculées à l'aide du module MOT.

Pour la modélisation, le module MOT exigeait les données suivantes :

- les données météorologiques telles que les champs des vitesses du vent, la température, la pression, l'humidité relative et les données concernant la nébulosité; et
- les concentrations des espèces chimiques polluantes telles que le SO₂, le NO, le NO₂, le monoxyde de carbone (CO), le NPA et les hydrocarbures provenant de sources biogéniques (naturelles) et anthropogéniques (humaines). Le module MOT tient compte des 21 espèces d'hydrocarbures suivantes : éthane, propane, n-butane, i-butane, n-pentane, i-pentane, n-hexane, me-2-pentane, me-3-pentane, n-octane, éthylène, propylène, butène, i-butène, pentalène, butadiène, isoprène, benzène, toluène, o-xylène, m-xylène et p-xylène.

Les données météorologiques employées dans le module MOT sont issues du modèle CALMET. Les concentrations des espèces chimiques requises ont été simulées par l'entremise du modèle de dispersion CALPUFF. Les estimations de SO₂, NO, NO₂, CO, NPA et COV sont aussi requises par le module MOT pour la prédiction de la concentration d'ozone.

La concentration d'ozone est modélisée selon les données à intervalles d'une heure pour toute l'année 1996. Un sous-intervalle de cinq minutes est appliqué dans le module MOT pour assurer le calcul de la convergence.

Les concentrations d'hydrocarbures requises en tant qu'intrant proviennent des concentrations de COV de sortie du modèle CALPUFF. Cependant, le modèle CALPUFF calcule une concentration totale de COV qui doit être décomposée afin d'évaluer les concentrations des 21 espèces d'hydrocarbures modélisées. La modélisation employée pour le projet suppose une surdistribution lors du calcul des concentrations des espèces de COV.

La théorie veut que le nitrate de peroxyacétyle (NPA ou CH₃CO.O₂NO₂) joue un rôle important dans le cycle des NO_x dans l'atmosphère. Il se décompose thermiquement avec la production de NO₂, qui est similaire au nitrate inorganique présent dans l'atmosphère. Le modèle CALPUFF calcule les

concentrations de nitrate (NO_3) et d'acide nitrique (HNO_3), mais n'offre aucune prédiction quant à la concentration de NPA. Le module MOT prévoit une concentration de NPA dans l'atmosphère égale à 20 % de la concentration massique totale de NO_3 et de HNO_3 . Cette quantité sert d'intrant pour le NPA dans la modélisation de l'ozone.

Le module MOT exige des données sur la nébulosité pour l'estimation des vitesses de transformation photochimique. Pour produire ces données, on a appliqué une méthode de paramétrage permettant de calculer le rayonnement solaire de courtes longueurs d'onde par temps clair (Frouin et al. 1989; Bishop et Rossow 1991). Ce rayonnement est ensuite comparé au rayonnement solaire de courtes longueurs d'onde de sortie du modèle CALMET afin d'évaluer la nébulosité. Le paramétrage inclut divers facteurs, notamment l'angle du soleil au zénith, la teneur en vapeur d'eau de l'atmosphère, la réflectivité des surfaces, la visibilité selon la concentration de matières particulaires (MP) et la pression.

Une analyse de routine de retombées sèches a également été intégrée au modèle. Cette analyse de routine calcule les retombées sèches des gaz en fonction de la surface de déposition (sol ou eau), la classification d'utilisation des terres, la rugosité de la surface, l'indice de surface foliaire, la végétation (active ou inactive) et les facteurs météorologiques.

ANNEXE VII
INTRODUCTION À LA TERMINOLOGIE
RELATIVE À
L'ENVIRONNEMENT SONORE

L'intensité sonore d'un son ou d'un bruit s'exprime sur une échelle logarithmique, en décibel (dB). Comme l'échelle est logarithmique, un son ou un bruit qui est deux fois plus fort (intensité perçue) qu'un autre ne lui est supérieur que par 3 dB. Un son ou un bruit dont le nombre de décibel est le double d'un autre n'est pas seulement deux fois plus fort : il l'est beaucoup plus.

Les sons et bruits ont aussi une fréquence. L'oreille humaine ne réagit pas de la même manière à toutes les fréquences. Elle détecte plus facilement les fréquences moyennes, tandis que les fréquences basses et élevées sont plus difficiles à percevoir. Les niveaux acoustiques environnementaux sont en général exprimés en décibel « pondéré A » (ou dBA) qui incorporent la gamme de fréquences audibles par l'oreille humaine.

Le tableau VII-1 présente les niveaux acoustiques associés à des sources d'activités courantes. Ce tableau fournit au lecteur des références auxquelles il pourra comparer les niveaux acoustiques prédits pour le Projet Énergie Cacouna. Les niveaux présentés dans ce tableau sont des valeurs moyennes et pourraient varier selon le contexte.

Tableau VII-1 Niveaux acoustiques d'activités courantes

Activité	Niveau acoustique [dBA]
tondeuse à gazon	95
cri puissant	90
moto passant à 15 mètres (m) de distance	85
voiture roulant à 100 km/h et passant à 15 m de distance	80
Aspirateur	75
Robinet	62
conversation normale	60
averse modérée	50
chant d'oiseau	50
salle de séjour tranquille	40
Chuchotement	40
niveau acoustique nocturne moyen en zone rurale	35

La valeur L_{eq} , ou niveau acoustique équivalent, est une moyenne logarithmique des bruits au cours d'un intervalle de temps donné. Ce type de moyenne est fréquemment utilisé dans un contexte environnemental (extérieur), puisqu'il tient compte du fait que les bruits dans l'environnement sont rarement stables et

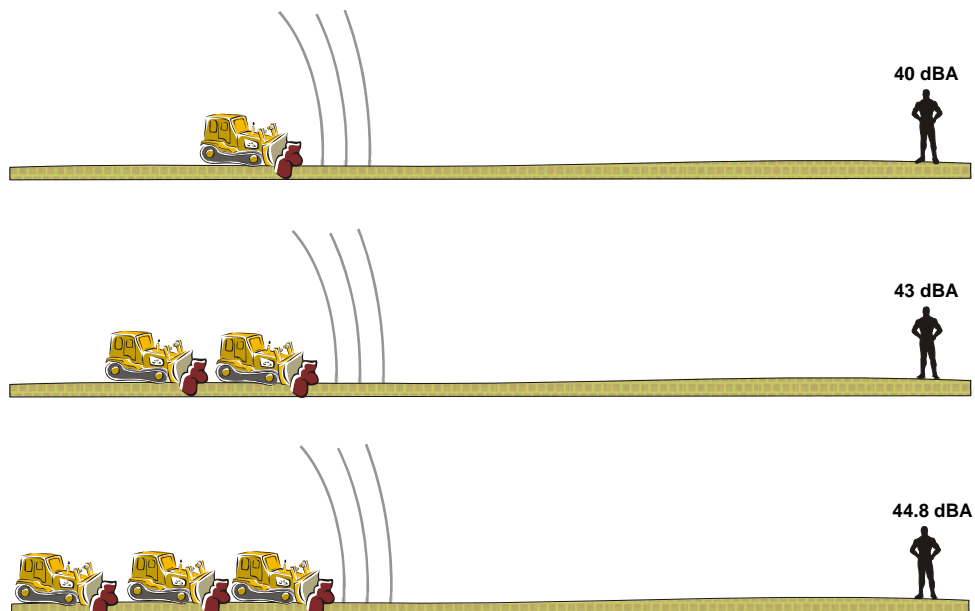
varient en intensité. Les unités utilisées pour représenter le L_{eq} varient. Au Québec, un niveau acoustique continu équivalent pondéré A mesuré pour un intervalle d'une heure sera exprimé sous la forme $L_{Aeq,1 h}$.

Addition de sources de bruit

Comme les niveaux acoustiques s'expriment sur une échelle logarithmique, l'effet combiné de plusieurs sources sonores est calculé en conséquence. La formule suivante est utilisée pour combiner plusieurs sources:

$$dBA = 10 \times \log \left(10^{\frac{dBA_1}{10}} + 10^{\frac{dBA_2}{10}} + 10^{\frac{dBA_3}{10}} + \dots + 10^{\frac{dBA_n}{10}} \right)$$

L'effet d'ajouter des sources de bruit au niveau acoustique du bruit ambiant est représenté dans l'illustration ci-dessous. Si le son émis par une seule pièce d'équipement génère un niveau acoustique de 40 dBA, alors les émissions combinées de deux pièces d'équipement produiront un niveau acoustique de 43 dBA. Ainsi, lorsque les émissions sonores doublent, l'augmentation résultante du niveau acoustique est de 3 dBA. Lorsqu'on ajoute les émissions d'une troisième pièce d'équipement, le niveau sonore passe à 44,8 dBA.



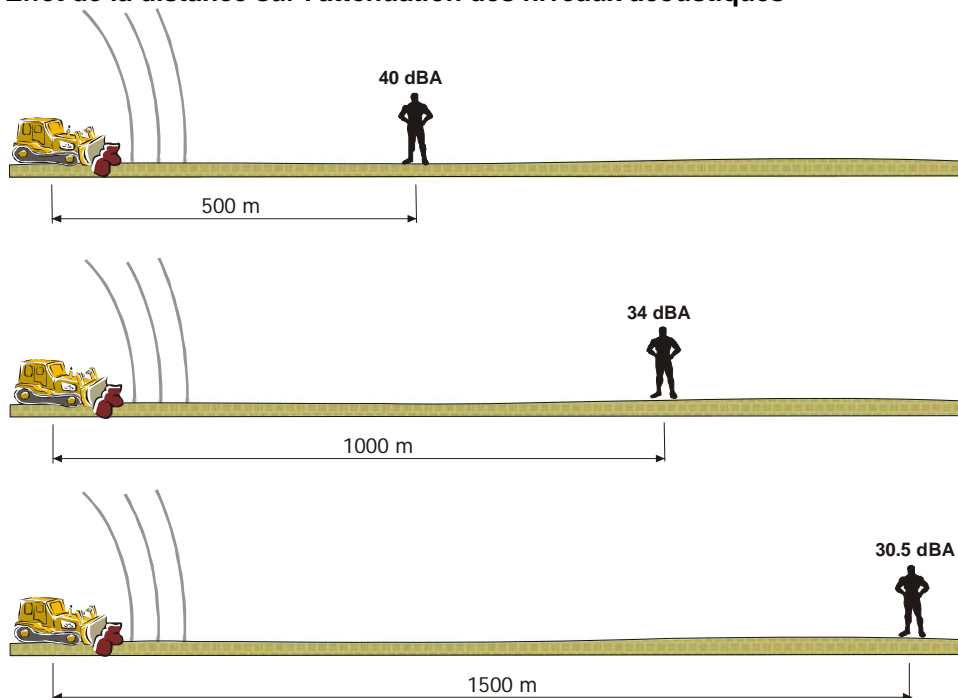
Atténuation du bruit

De nombreux facteurs peuvent réduire le bruit dans l'environnement. On les appelle les facteurs d'atténuation du bruit. Le facteur d'atténuation le plus important est la distance entre la source sonore et le récepteur. En effet, le niveau de bruit diminue à mesure que cette distance augmente. Aux distances considérées dans la plupart des projets de développement en milieu rural, les installations industrielles se comportent comme des sources ponctuelles. Les niveaux acoustiques à diverses distances peuvent être calculés selon la formule suivante (Cowan 1994) :

$$dBA_{(X_1)} = dBA_{(X_{ref})} - 20 \times \log\left(\frac{X_i}{X_{ref}}\right)$$

L'effet de la distance sur les niveaux acoustiques est illustré dans la figure ci-dessous. On constate que lorsque la distance par rapport à une installation double, la réduction correspondante du niveau acoustique est de 6 dBA. Ainsi, lorsque la distance augmente de 500 à 1 000 m, le niveau acoustique passe de 40 à 34 dBA. Si la distance est encore augmentée de 500 m et passe de 1 000 à 1 500 m, le niveau acoustique diminue de 34 à 30,5 dBA.

Effet de la distance sur l'atténuation des niveaux acoustiques



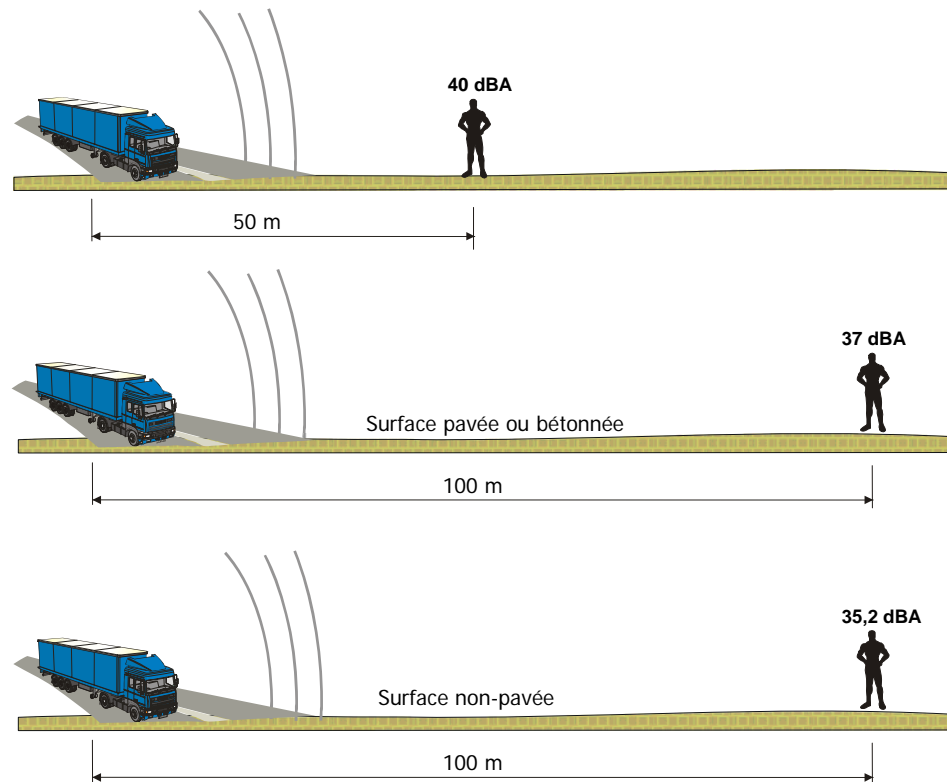
Les sons provenant d'une route se comportent d'une façon légèrement différente. En effet, le bruit routier est généré sur toute la longueur de la route et se comporte comme une source linéaire. À mesure que la distance augmente, les niveaux acoustiques diminuent mais plus lentement que pour une source ponctuelle. La diminution du niveau acoustique avec la distance peut être calculée à l'aide de la formule suivante (OME 1999) :

$$dBA_{(X_1)} = dBA_{(X_{ref})} - 10 \times (1 + \alpha) \times \log \left(\frac{X_i}{X_{ref}} \right)$$

Dans cette formule, la variable alpha (α) représente le type de sol entre la route et le récepteur. Pour les surfaces pavées ou bétonnées, α égale zéro. Ainsi, si on double la distance par rapport à une route et que la surface sur cette distance est pavée ou bétonnée, la réduction du niveau acoustique est de 3 dBA (voir l'illustration ci-dessous). En zone rurale, la surface entre la route et le récepteur est généralement non-pavée et couverte de végétation. Dans ce cas, α est plus grand que zéro (environ 0,6). Par conséquent, si on double la distance et que le sol entre la route et le récepteur est non-pavé, le niveau acoustique passe de 40 à 35,2 dBA.

routier

Effet de la distance sur l'atténuation des niveaux acoustiques de bruit

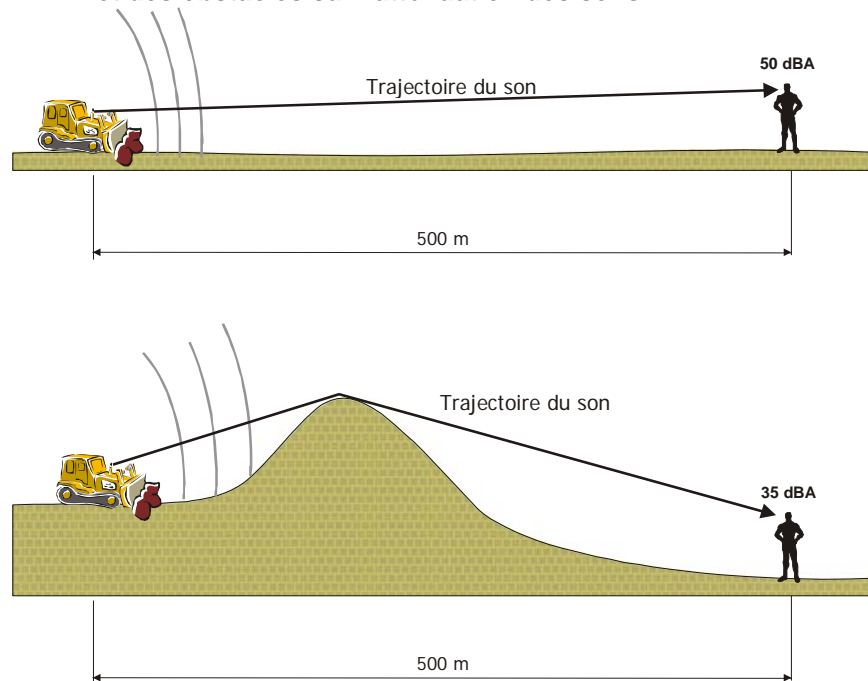


Plusieurs autres facteurs environnementaux produisent une atténuation du bruit. Notons entre autre l'absorption de l'énergie sonore par l'air, l'effet des obstacles physiques ou du relief du terrain ainsi que l'effet du sol.

Quand le son se déplace dans l'air, il entre en collision avec des molécules d'air, ce qui convertit une partie de son énergie en chaleur. Ce transfert d'énergie résulte en une diminution de l'énergie sonore. La quantité d'énergie absorbée par l'air varie selon les conditions météorologiques et la fréquence du son. Les sons de basse fréquence (difficilement perceptibles par l'oreille humaine) sont peu affectés par l'air. Les sons de fréquence moyenne (plus facilement perceptibles par l'oreille humaine) peuvent perdre une quantité significative d'énergie vers l'air. L'atténuation des sons de moyenne fréquence par l'air peut atteindre 3 dBA tous les 30 mètres sous des conditions météorologiques optimales.

Les obstacles physiques et le relief du terrain peuvent aussi atténuer les bruits dans l'environnement. Les ondes sonores doivent se déformer pour contourner les obstacles et y perdent une grande partie de leur énergie. Ce phénomène est mis à profit par l'emploi de barrières le long des autoroutes principales en zone urbaine. Il explique également qu'on n'entend habituellement pas les sons qui proviennent d'une source située derrière une colline. Le degré d'atténuation fourni par un obstacle dépend de sa capacité à déformer les ondes sonores. L'atténuation est donc plus marquée à proximité de la source et moins efficace à de plus grandes distances. L'illustration ci-dessous montre comment les collines peuvent atténuer les sons générés par les installations industrielles et réduire les niveaux de bruit.

Effet des obstacles sur l'atténuation des sons



Une autre forme d'atténuation environnementale est l'interaction des sons avec la surface du sol (absorption). Le degré d'atténuation varie selon les conditions météorologiques et la densité du couvert végétal. Cette forme d'atténuation a été incorporée dans les formules de modélisation des niveaux acoustiques.

Outre l'atténuation environnementale induite par la distance, le relief, les arbres et autres obstacles naturels, des moyens artificiels peuvent être employés pour réduire encore davantage les niveaux de bruit. Les bâtiments, les abris de construction, les écrans anti-bruit, les silencieux d'échappement et autres éléments du même genre permettent de réduire la quantité de bruit provenant

d'installations industrielles. Des méthodes de réduction du bruit peuvent aussi être appliquées tel que l'ajout de matériau absorbant.