

**NoizCalc**

**Technical white paper 1.4 fr**

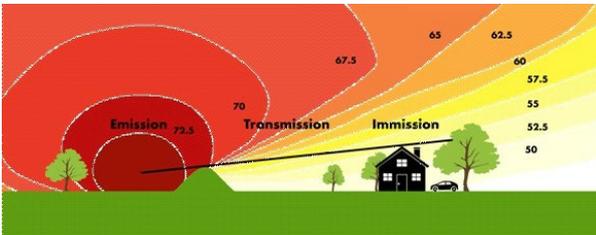
## Contenu

<b>1. Introduction</b>	<b>3</b>
1.1 Transmission, émission et émergence	3
1.2 La problématique	3
1.3 La solution	3
1.4 Les logiciels	3
1.5 Pourquoi plusieurs produits ?	4
<b>2. NoizCalc</b>	<b>4</b>
2.1 Ce que fait NoizCalc	4
2.2 Ce que ne fait pas NoizCalc	4
2.3 Le workflow	4
<b>3. Comment cela fonctionne-t-il ?</b>	<b>5</b>
3.1 Conformément aux normes	5
3.2 Comment choisir la norme adéquate	5
<b>4. Normes de propagation</b>	<b>5</b>
<b>5. Limites de la simulation</b>	<b>5</b>
<b>6. Références</b>	<b>6</b>

## 1. Introduction

Ce « white paper » décrit NoizCalc, un logiciel de simulation pour calculer la propagation du son dans l'environnement à partir de systèmes de diffusion sonores définis grâce au logiciel de simulation ArrayCalc, en prenant en compte le terrain en 3D et les influences météorologiques.

### 1.1 Transmission, émission et émergence



La prédiction et le contrôle du bruit indésirable créé par les événements en plein air est devenu un sujet de plus en plus important, d'autant plus que les événements augmentent en taille et que les producteurs souhaitent les situer dans les zones urbaines densément peuplées. Obtenir des autorisations pour organiser un événement à l'extérieur nécessite souvent une déclaration préalable, avec une prédiction de la façon dont il pourrait avoir un impact sur le voisinage. C'est souvent une lutte entre deux sortes de protagonistes : ceux qui sont en charge des mesures et de l'application des lois (experts du bruit), et les artistes interprètes, les producteurs de spectacles, les techniciens et les fournisseurs de sonorisation (experts en diffusion sonore).

Étant donné que le placement d'une scène et la conception du système de son peuvent influencer sur les émergences sonores à l'extérieur de la zone d'audience, il est important d'en évaluer aussi l'impact sonore potentiel, à la fois pendant les étapes de planification, et tout au long d'un événement. Notre objectif est de mettre en place des outils pour simuler et visualiser non seulement les performances d'un système de sonorisation complexes et sa directivité dans la zone d'audience (émission : ArrayCalc) mais aussi le bruit émergent dans les zones environnantes d'un événement (étude d'impact sonore : NoizCalc).

D'expérience, il est clair que la simulation minutieuse de la directivité du système de sonorisation, la direction dans laquelle il pointe et ses réglages électroniques (délais, ArrayProcessing etc.) influencent le résultat.

### 1.2 La problématique

Les logiciels de conception de systèmes sonores cible avant tout le public, avec l'objectif d'atteindre une réponse en fréquence uniforme et une distribution de niveau adéquate. On tient compte de l'addition complexe des sources sonores et de l'annulation par interférences pour le système complet. ArrayCalc tient compte du son direct et de l'absorption de l'air (ISO 9613-1).

Les effets des réflexions sur les surfaces comme le sol ou les bâtiments, de la diffraction ou de l'absorption sur des obstacles et des conditions météorologiques sont aussi

nécessaires pour calculer correctement l'impact sonore d'un système sonore dans les zones environnantes.

Inversement, les logiciels de simulation de bruit environnemental industriels supposent des sources non cohérentes, par exemple pour le bruit des routes, des chemins de fer, de l'industrie et des avions, sans aucune interférence.

Afin d'obtenir une prévision précise du bruit avec des systèmes de diffusion composés de plusieurs enceintes de manière cohérente, des données détaillées sur la directivité des sources sont nécessaires, et la phase relative doit également être prise en compte dans les calculs.

### 1.3 La solution

Définir les sources dans un logiciel de conception de système, puis importer ces données complexes comme objet dans un puissant logiciel de modélisation du bruit environnemental, ayant des algorithmes qui permettent une sommation complexe.

Le logiciel de simulation ArrayCalc est largement reconnu comme un outil très précis pour simuler la diffusion sonore pour le public. Ce logiciel permet de modéliser des systèmes de sonorisation complexes, composés de nombreux types de haut-parleurs, y compris des line array, des sources ponctuelles, des réseaux de subwoofers, des enceintes de compléments (« fills ») et de rappels. Il permet à un concepteur de système de faire des ajustements sur la façon dont les éléments sont placés et alimentés pour atteindre le résultat souhaité.

Le spécialiste allemand soundPLAN est l'un des principaux développeurs de logiciels dans le domaine de la prévision du bruit environnemental. L'intégration complète des bruits à l'intérieur des bâtiments industriels, la transmission par les murs et sa propagation dans l'environnement font de ce logiciel l'outil idéal pour les ingénieurs travaillant dans les domaines de la prévention du bruit sur le lieu de travail, de la cartographie du bruit généré à l'extérieur en 3D et dans le cadre d'études générales d'impact environnemental. Son mode de présentations numérique graphique des résultats inégalé facilite l'explication des résultats au public et aux organismes qui demandent des études. Le logiciel SoundPLAN Noise met en œuvre un large éventail de normes de prévision du bruit dans le monde (environ 55 normes différentes).

### 1.4 Les logiciels

Plusieurs produits sont nés de la coopération entre d&b audiotechnik et SoundPlan. **NoizCalc**, un logiciel pour prédire l'émergence des systèmes d&b à l'extérieur, tandis que SoundPLAN offre deux versions différentes, toutes deux capables d'importer des données système à partir de fichiers ArrayCalc, mais aussi d'autres sources de bruits environnementaux : **SoundPLAN Noise**, un logiciel

modulaire de modélisation du bruit environnemental avec des fonctionnalités avancées, et **SoundPLAN Essential** avec une interface utilisateur simplifiée et des fonctionnalités plus réduites.

L'importation d'un fichier ArrayCalc comprend toutes les données complexes définissant les sources d'un système de sonorisation d&b. Toutes les sources du projet ArrayCalc sont importées comme un objet dans le logiciel NoizCalc et SoundPLAN. On peut placer et orienter ces objets dans le modèle de terrain 3D pour permettre la prédiction du bruit. Lors de la planification d'un événement, l'impact sonore des systèmes peut être évalué, permettant un choix adapté de leurs composants, leur directivité, et les paramètres des filtres électroniques, en particulier pour les assemblages de subwoofers et l'ArrayProcessing.

Pendant la recherche de la meilleure configuration, il est possible de modifier la configuration du système dans ArrayCalc, les données sont directement mises à jour dans NoizCalc ou SoundPLAN.

## 1.5 Pourquoi plusieurs produits ?

NoizCalc est un outil gratuit destiné à être utilisé par les concepteurs de systèmes de sonorisation d&b, pour étudier comment leur design aura un impact sur le voisinage des événements.

SoundPLAN offre des logiciels payants pour les consultants en acoustique, avec un large éventail de différents types de sources et de bruit (route, rail, industrie, avions), et des outils de calcul et de reporting complets afin de répondre au besoin de prédiction officielle du bruit lorsque les autorités légales le demandent.

## 2. NoizCalc

NoizCalc permet des prédictions d'émergence avec des systèmes de sonorisation d&b lors d'événements en plein air. Une cartographie du bruit est calculée en dB(A) ou dB(C), avec un spectre d'émission choisi en fonction du style musical, et le niveau SPL au point de référence (généralement à la position de mixage). Trois normes de calcul sont disponibles :

ISO 9613-2, CNOSSOS-EU et Nord2000.

### 2.1 Ce que fait NoizCalc

NoizCalc calcule la propagation du son de la source (une ou plusieurs scènes) à des points régulièrement espacés comme une grille. Le calcul se fait selon la norme choisie et tient compte des données du système, de la sommation complexe ainsi que de plusieurs effets de propagation.

### 2.2 Ce que ne fait pas NoizCalc

NoizCalc ne donne aucune indication si les limites de bruit dans le quartier sont dépassées, et ne fournit aucune évaluation des résultats de calcul sous forme d'un histogramme temporel. Afin d'obtenir ce genre de

prédictions, un consultant acoustique devrait être impliqué.

## 2.3 Le workflow

Après avoir conçu un système de sonorisation avec ArrayCalc, on peut créer un projet NoizCalc en sélectionnant tout d'abord une norme de calcul et en saisissant les informations à propos du projet.

### Importation des Géo-données

La base du modèle est constituée par l'importation de géo-données de Google Maps (GM) et OpenStreetMap (OSM). L'emplacement géographique et le type de carte (satellite, carte OSM, terrain) sont sélectionnés dans l'interface d'import de données cartographiques intégrée. La vue pourra être ajustée pour montrer un aperçu du lieu de diffusion et de ses zones environnantes potentiellement touchées. L'importation comprend :

- Image Bitmap de vue aérienne ou carte
- Données d'élévation du terrain (« DGM »)
- Objets d'OSM (bâtiments, effets au sol et forêts)

NoizCalc calcule automatiquement un modèle numérique au sol (DGM) à partir des données d'altitude et importe l'image topographique. Il utilise les données d'OSM pour créer ce qu'on appelle les objets significatifs pour la propagation du son : bâtiments, effets au sol (propriétés acoustiques au sol) et forêts. Lorsque les hauteurs de construction ne sont pas disponibles, la hauteur de bâtiment par défaut de l'utilisateur est utilisée.

### Sources

Une source sonore est représentée par un objet « stage », qui est placé sur le terrain, et associé à un projet ArrayCalc. Un fichier différent peut être attribué à chacun de ces objets si on désire simuler plusieurs scènes simultanément.

Toutes les données pertinentes sont importées à partir du fichier ArrayCalc : position, orientation, fonction de transfert complexe, directivité, niveau, retards et paramètres de filtre de chaque enceinte, ainsi que données ArrayProcessing (si elles sont utilisées), niveaux relatifs et « mute » de chaque source et groupe de sources. Par conséquent, il faut vérifier que les réglages de calage du système soient les plus aboutis et que les sources soient bien dé-mutées dans ArrayCalc.

Pour chaque scène, un niveau de référence doit être défini et un spectre doit être sélectionné à partir de la bibliothèque d'émissions. Les spectres peuvent être modifiés, il est même possible de définir son propre spectre à partir de mesures.

### Objets significatifs pour la simulation

Une **zone d'effet au sol** (« ground effect ») définit la propriété acoustique du sol dans cette zone. Les normes utilisent différents paramètres et valeurs par défaut : ISO 9613-2 et CNOSSOS-EU utilisent un coefficient d'absorption tandis que Nord2000 utilise des classes de résistance et de rugosité.

La **valeur par défaut du terrain** peut être configurée

en «rural» pour les terres à prédominance végétalisées ou «urbain» lorsqu'une majorité est pavée ou goudronnée.

**Les forêts** atténuent le son en fonction de la longueur du chemin acoustique, de la hauteur et de la densité des arbres. Ce dernier ne peut être défini que lors de l'utilisation de la norme Nord2000.

**Les bâtiments et les murs** bloquent et réfléchissent le son. La perte de niveau par réflexion sur la façade d'un bâtiment ou d'un mur est défini pour chaque objet.

### Calcul

Une zone de calcul peut être définie, sinon le calcul est effectué pour l'ensemble du DGM. Le résultat est affiché comme une carte de bruit dans l'onglet « graphic plot ».

## 3. Comment cela fonctionne-t-il ?

ArrayCalc et NoizCalc utilisent un algorithme complexe de directivité de source ponctuelle (CPSD) pour calculer la somme complexe du son propagé de chaque point source (haut-parleur) à chaque point de grille (« récepteur »). Il prend en compte le niveau de la source, sa directivité, la divergence géométrique et l'absorption atmosphérique. La différence est que ArrayCalc ne considère le son direct, alors que NoizCalc calcule les réflexions du sol, des bâtiments et des murs, la diffraction des obstacles ainsi que d'autres effets d'atténuation selon les normes internationales.

Le terrain, les objets environnants et l'atmosphère locale doivent être modélisés parce qu'ils affectent la propagation du son. Les données géométriques doivent être décrites et les propriétés acoustiques définies. Le sol peut être dense et surtout réfléchissant comme dans les zones urbaines, ou partiellement absorbant comme dans les zones de parc ou les champs. L'atmosphère peut avoir des couches avec des températures d'air différentes et / ou des vitesses de vent différentes. Renseigner les hauteurs réelles de bâtiments peut demander un certain travail, suivant les données présentes dans OSM.

### 3.1 Conformément aux normes

Il est possible de comparer les résultats des calculs de prédictions de bruit en fonction des normes, afin d'estimer leur validité suivant différents scénarios.

Il y a une variété de normes. Elles définissent la manière dont la propagation sonore dans l'atmosphère sera modélisée, et peuvent être dépendants de la source, par exemple le bruit routier, industriel ou venant d'une diffusion sonore.

### 3.2 Comment choisir la norme adéquate

Le choix de la norme de calcul dépend soit des exigences des autorités locales, soit de l'objet du calcul. Trois normes peuvent être choisies dans NoizCalc :

- ISO 9613-2: 1996
- WEES-EU: 2015
- Nord2000

**ISO 9613-2** est largement acceptée, et suppose des conditions favorables pour la propagation du son, fournissant ainsi une base solide avec un scénario simulant le pire des cas de conditions météorologiques, et donc les nuisances maximales. La modélisation et le calcul sont relativement rapides, en raison de ses formules heuristiques et critères simplifiés.

Le **CNOSSOS-EU** a été choisi comme cadre méthodologique commun d'évaluation du bruit en Europe, pour la cartographie du bruit selon la directive sur le bruit environnemental (2002/49/EC). Ce standard fournit une plus grande précision que l'ISO 9613-2, et les conditions météorologiques pour la propagation du son sont définissables par l'utilisateur d'une manière simple par une probabilité favorable/défavorable.

**Nord2000** est la plus précise des trois normes, car elle utilise des modèles physiques plutôt que des formules heuristiques. Des scénarios météorologiques et éoliens spécifiques peuvent être calculés. Il est plus long et complexe de renseigner le modèle de simulation, et les algorithmes sophistiqués nécessitent aussi plus de temps de calcul.

## 4. Normes de propagation

De nombreuses choses peuvent arriver au son pendant son voyage de la source au récepteur. Il est rayonné, dirigé, divergé, absorbé dans l'atmosphère, réfléchi et absorbé par le sol, rebondi sur les murs, avec certaines caractéristiques. Tous ces effets sont traités séparément et indépendamment, et aussi différemment pour chaque norme.

**Remarque** : La norme ISO 9613-2 était initialement prévue pour baser ses calculs sur une seule fréquence représentative, puis sur des bandes d'octave. Les calculs avec les normes CNOSSOS-EU et Nord2000 se font eux par bande de tiers d'octave. Dans NoizCalc, le calcul est effectué avec un spectre réaliste défini par bande de tiers d'octave. Les résultats sont présentés comme le niveau sommé sur toutes ces bandes, et une pondération de type A ou C.

Le niveau de pression sonore au récepteur est calculé comme la somme de la puissance sonore des toutes les sources, prenant en compte leur facteur de directivité et tous les autres facteurs d'atténuation.

Veillez consulter le tableau suivant pour une comparaison de la façon dont les normes traitent les différents effets d'atténuation. Des informations plus détaillées peuvent être trouvées dans [1], [2] et [3].

## 5. Limites de la simulation

Les résultats sont aussi bons que les modèles et les normes.

ISO 9613-2 est considéré comme précis dans la distance allant jusqu'à 1 km. Nord2000 offre une grande précision jusqu'à 1 km et une bonne précision jusqu'à 3 km. Cependant, le modèle a été validé à une distance de 200 m.

Plus les données renseignées dans le modèle seront précises, plus le résultat de la simulation le sera, ce qui signifie que l'utilisateur a une grande influence sur la qualité des résultats. Les calculs sont basés sur les paramètres spécifiques utilisés pendant le calcul. Cela signifie que s'il y a des changements dans les conditions météorologiques telles que la vitesse ou la direction du vent, les résultats peuvent ne pas être fiables.

## **6. Références**

1. ISO 9613-2
2. CNOSSOS-EU: 2015
3. Delta, Nordic environmental noise prediction method, Nord2000, Summary Report
4. Delta, Nord2000. Comprehensive outdoor sound propagation model. Part 1: Propagation in an atmosphere without significant refraction
5. K. Attenborough, K.M. Li, K. Khoroshenkov, Predicting outdoor sound

ISO 9613-2	CNOSSOS-EU	Nord2000
<b>Formules</b>		
<p>NoizCalc utilise le noyau de calcul dynamique de lancer de rayons de SoundPLAN, avec des algorithmes optimisés pour les rayons pertinents de chaque sources à chaque point de la carte de bruit : rayons directs, réflexions, diffractions et leurs combinaisons. Chaque rayon est soumis à divers effets d'atténuation, qui sont calculés selon la norme sélectionnée. Les rayons qui sont plus de 20 dB au-dessous du rayon le plus fort sont considérés comme non pertinents et négligés dans les calculs.</p> <p>Le principe sous-jacent est le même : le niveau de pression sonore au récepteur correspond à la différence entre le niveau de puissance sonore à la source et les facteurs d'atténuation.</p>		
$L = L_W + D_c - A$ $A = A_{div} + A_{atm} + A_{gr} + A_{bar} + A_{misc}$ <p><math>L</math> niveau de pression sonore à un point récepteur calculé pour chaque source avec vent arrière</p> <p><math>L_W</math> puissance sonore de la source</p> <p><math>D_c</math> directivité de la source</p> <p><math>A</math> somme des facteurs d'atténuation pendant la propagation de la source au récepteur</p> <p>Atténuation due à :</p> <p><math>A_{div}</math> divergence géométrique</p> <p><math>A_{atm}</math> absorption atmosphérique</p> <p><math>A_{gr}</math> effet de sol</p> <p><math>A_{bar}</math> murs</p> <p><math>A_{misc}</math> divers (forêt, etc.)</p>	$L_{F/H} = L_{W,0,dir} - A_{F/H}$ $A_{F/H} = A_{div} + A_{atm} + A_{boundary,F/H}$ <p><math>L_{F/H}</math> niveau de pression sonore à un point récepteur pour un chemin dans des conditions favorables (F) ou dans une atmosphère homogène (H)</p> <p><math>L_{W,0,dir}</math> puissance sonore, y compris la directivité</p> <p><math>A_{F/H}</math> somme des facteurs d'atténuation F/H</p> <p>Atténuation due à :</p> <p><math>A_{div}</math> divergence géométrique</p> <p><math>A_{atm}</math> absorption atmosphérique</p> <p><math>A_{boundary,F/H}</math> limites en F/H, peuvent contenir :</p> <p><math>A_{ground,F/H}</math> effet au sol en F/H</p> <p><math>A_{dif,F/H}</math> diffraction en F/H</p> <p>Les niveaux <math>L_{F/H}</math> sont pondérés par <math>p_{Fav}</math> la probabilité de conditions favorables :</p> $L = 10 \times \lg \left( p_{Fav} \cdot 10^{\frac{L_F}{10}} + (1 - p_{Fav}) \cdot 10^{\frac{L_H}{10}} \right)$	$L_R = L_W + \Delta L_d + \Delta L_a + \Delta L_t + \Delta L_s + \Delta L_r$ <p><math>L_R</math> niveau de pression sonore au récepteur pour chaque bande de fréquence</p> <p><math>L_W</math> niveau de puissance sonore de la source, y compris la directivité pour chaque bande de fréquence</p> <p>Atténuation due à :</p> <p><math>\Delta L_d</math> divergence sphérique</p> <p><math>\Delta L_a</math> absorption de l'air</p> <p><math>\Delta L_t</math> terrain (sol et murs)</p> <p><math>\Delta L_s</math> zones de dispersion</p> <p><math>\Delta L_r</math> réflexions de l'obstacle (dimensions et propriétés de surface)</p>

ISO 9613-2	CNOSSOS-EU	Nord2000
------------	------------	----------

Les pressions sonores de tous les rayons contributifs sont sommés :

- Calcul pour chaque bande de tiers d'octave
- Ensuite, la pondération des fréquences est appliquée
- Cette procédure est répétée pour chaque point récepteur

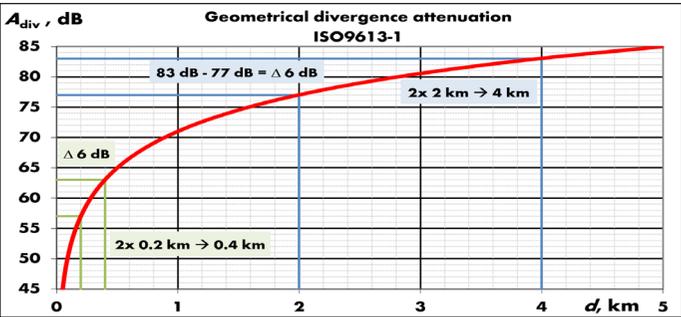
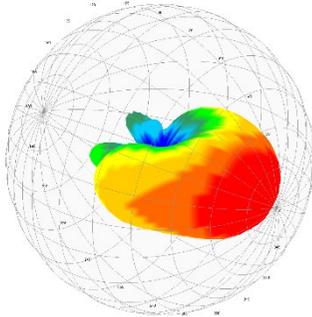
$$L = 20 \times \lg \left( \sum_n 10^{\frac{L_n}{20}} \right)$$

La sommation complexe est appliquée pour les rayons de :

- Dans les line arrays et sub arrays pour toutes les fréquences
- toutes les sources jusqu'à 163 Hz (p. ex. arrays principaux gauche et droit). (Cette fréquence limite correspond à une résolution spatiale d'environ 1 m.)

**Sources sonores directives et propagation**

Le modèle source et la divergence géométrique sont indépendants de la norme appliquée.



Dans le modèle « Complexe Directivity Point Source » (CDPS), chaque haut-parleur est représenté par une source ponctuelle, en champ lointain (6 m), par son ballon de directivité complexe en fonction de la fréquence.

La divergence sphérique diminue le SPL d'un peu plus de 6 dB par double distance.

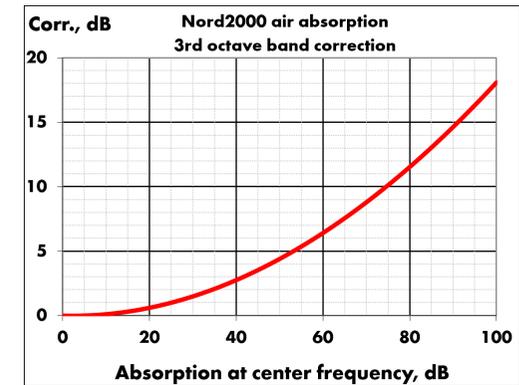
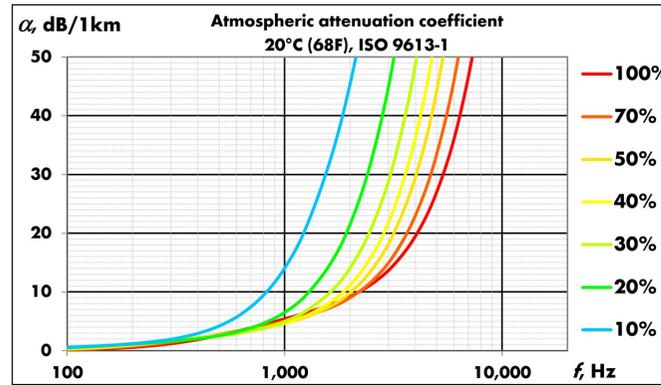
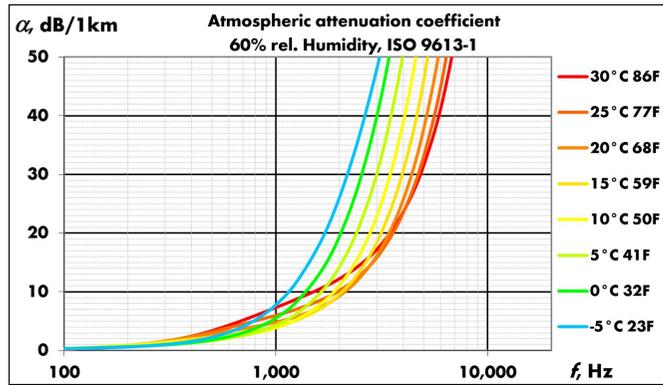
**Absorption atmosphérique**

ISO 9613-2 et CNOSSOS-EU appliquent des coefficients d'atténuation dépendants de la température et de l'humidité pour chaque fréquence pure selon l'ISO 9613-1. Nord2000 applique une correction à ces coefficients afin d'obtenir des valeurs par tiers d'octave.

ISO 9613-2

CNOSSOS-EU

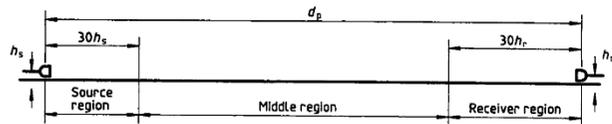
Nord2000



**Prise en compte du terrain & effets de sol**

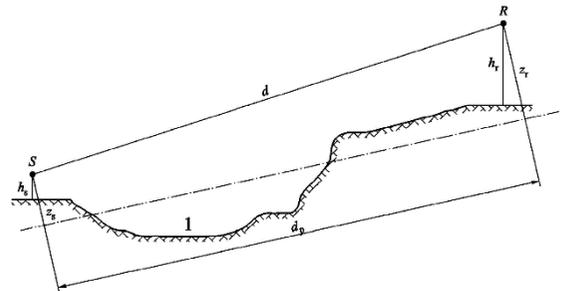
La distance entre la source et le récepteur et leurs hauteurs sont utilisées pour l'atténuation, pas le profil du terrain.

La propriété acoustique du sol est définie par un facteur G.

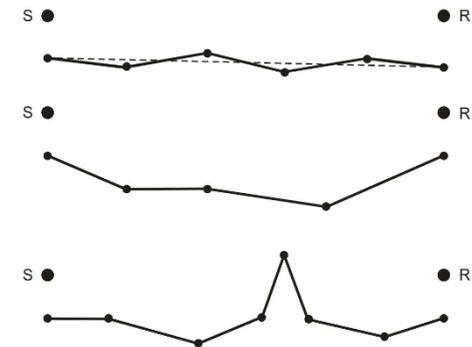


Des hauteurs équivalentes sont utilisées pour les sources et les récepteurs. Ils sont orthogonaux à l'axe de profil moyen sur ce trajet.

La propriété acoustique au sol est définie par un facteur G.



Le terrain est segmenté et caractérisé suivant trois types de profils : pratiquement plat, en forme de vallée et en forme de colline.



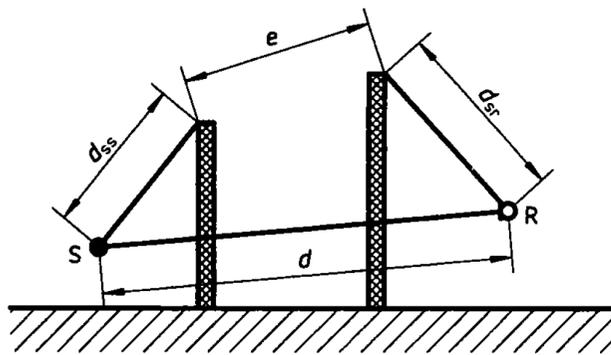
<i>ISO 9613-2</i>			<i>CNOSSOS-EU</i>		<i>Nord2000</i>			
<b>G</b>	<b>Ground</b>	<b>Description</b>	<b>G</b>	<b>Ground</b>	<b>Description</b>	<b>Impedance Class</b>	<b>Flow resistivity (kNsm<sup>-4</sup>)</b>	<b>Description</b>
						A	12.5	Très mou (neige ou mousse)
						B	31.5	Sol de forêt mou (courte, dense bruyère ou mousse épaisse)
						C	80	Terrain non compacté (gazon, herbe, sol lâche)
1	Porous "Rural"	Herbe, arbres, toute végétation, terres agricoles	1.0	Uncompacted loose "Rural" default	Herbe, champs de pâturage, planchers forestiers	D	200	Terrain normal non compacté, "Rural" (champ, sols forestiers)
						E	500	Champ compact et gravier (pelouses compactées, zone de parking herbée)
%	Mixed	Fraction de terre poreuse	0.7	Compacted field and gravel	Pelouses compactées, secteur de parc	F	2000	Terrain dense compact (route de gravier, parking, ISO 10844)
			0.3	Compacted dense	Route de gravier, parking			
0.2	"Urban"	Dur en majorité	0.2	"Urban" default	Dur en majorité	G	20000	Surfaces dures, "Urban" (asphalte standard, béton)
0	Hard	Pavage, eau, glace, béton, sol apprivoisé et toutes les autres surfaces ayant une faible porosité.	0.0	Hard, dense	Asphalte très dense, béton, eau	H	200000	Surfaces très dures et denses (asphalte dense, béton, eau)
						Classe de rugosité	Dimension s,	Plage de hauteurs
						N: Nil	0	±0.25 m
						S: Small	0.25 m	±0.5 m

ISO 9613-2	CNOSSOS-EU	Nord2000
		M: Medium      0.5 m      ±1 m L: Large        1 m            ±2 m

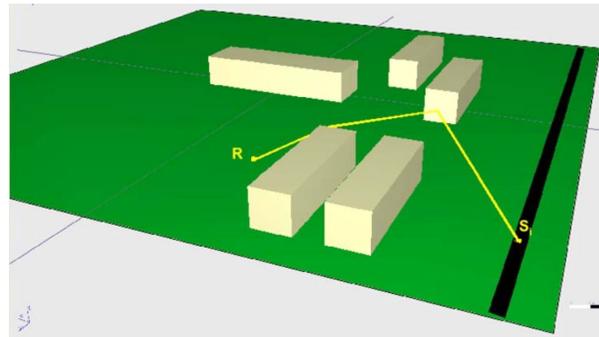
En couleurs, les valeurs par défaut pour les types "Rural" et "Urban"

### Chemins, réflexions et diffractions

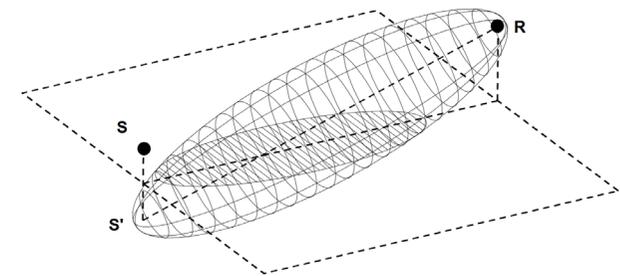
Il y a un type de murs. Le calcul de l'atténuation d'une seule et double diffraction est basé sur des valeurs empiriques. En cas de plus de deux obstacles sur une trajectoire, les deux obstacles les plus pertinents sont choisis, négligeant les effets des autres.



Les chemins sont classés en 4 types pour différentes combinaisons de reflètes et de diffractions (soit aux bords horizontaux ou latéraux des obstacles). Des réflexions sur les obstacles verticaux sont également prises en compte.



Les zones simplifiées de Fresnel sont utilisées pour inclure les zones impliquées pour les réflexions et les diffractions. En outre, les rayons sonores ont des facteurs de cohérence afin de tenir compte de la capacité décroissante d'annulation sur la distance.

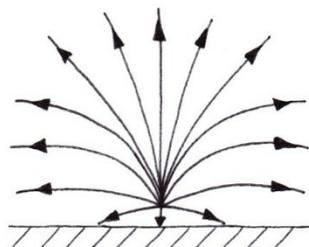


### Météorologie

En plus de l'absorption de l'air, qui dépend de la température et de l'humidité, la propagation du son est influée fortement des gradients verticaux du vent dans l'atmosphère :

- Les rayons sonores sont rectilignes dans une atmosphère homogène.
- Les rayons sonores s'incurvent vers le sol avec un vent arrière ou un gradient de température positif, qui sont désignés comme des conditions favorables à la propagation du son.
- Les rayons sonores s'incurvent vers le ciel avec vent de face ou un gradient de température négatif (non considéré par ISO et CNOSSOS).

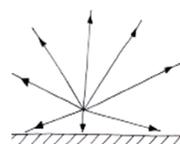
Un modèle empirique qui suppose des conditions favorables à la propagation du son, fournit une base solide pour un scénario de propagation du bruit dans le pire des cas en ce qui concerne les conditions météorologiques. (« Downwind » qui veut dire que le vent vient toujours de la source, n'est pas explicitement calculé ! Une inversion de température est également favorable à la propagation.)



Conditions météorologiques favorables pour la propagation.

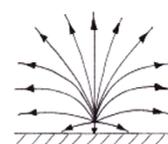
Les facteurs d'atténuations sont calculés pour deux scénarios météorologiques :

**Homogeneous atmosphere**



no wind, no vertical temperature gradient  
(less noise)

**Favorable weather conditions**  
for sound propagation



downwind and/or temperature inversion  
(more noise)

0% .....  $p_{Fav}$  ..... 100%

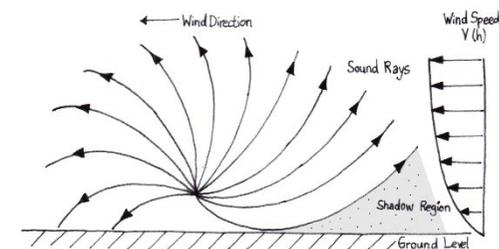
Les résultats sont ensuite moyennés en fonction de la probabilité définie par l'utilisateur de conditions favorables,  $p_{Fav}$ .

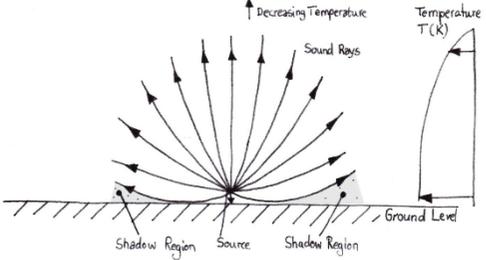
Voici les valeurs par défaut suggérées par SoundPLAN pour différentes heures de jour :

	Jour	Soir	Nuit
Horaires, h	6 - 18	18 - 22	22 - 6
$p_{Fav}$ , %	50	75	100

Des scénarios météorologiques spécifiques peuvent être calculés, y compris la vitesse du vent, la direction et les gradients de température.

Direction et vitesse du vent



ISO 9613-2	CNOSSOS-EU	Nord2000
		<p data-bbox="1435 225 1868 288">Gradient de température positif (inversion) (condition favorable à la propagation)</p>  <p data-bbox="1435 616 1834 679">Gradient de température négatif (état défavorable pour la propagation)</p> 