

Contrepoint, projets urbains - Lausanne (CH)
BlueOfficeArchitecture - Bellinzona (CH)
BazarUrbain - Grenoble (F)
Conseil Ingénierie Acoustique - Marseille (F)
Les Eclairagistes Associés - Lyon (F)

Tome 3

runninghami

*dossier de définition technique d'une opération type
étude pour l'élaboration d'un concept design de protection anti-bruit*

*mars - avril 2006
A47-RN88-A72 et COSE*

Runninghami
Etude pour l'élaboration d'un concept design de protections
anti-bruit pour les voies rapides du Sud-Loire

Tome 3
Adaptabilité, simplicité, efficacité
Dossier de définition technique d'une opération type
avril 06

Ce document constitue le tome 3 du rapport final de la tranche ferme de l'étude précitée
menée pour le compte de la DDE 42
Marché public de prestations intellectuelles 05353
Référence STI/BRUIT/MCM/PB/05/281

Sommaire

Tome 1

Dossier d'analyse pluridisciplinaire du territoire

Rugosité, latéralité, sinuosité

1. Parcours embarqués – Perceptions d'automobilistes
2. Cartes mentales – Représentations de riverains
3. Au fil de la route – Une journée avec une patrouille de la DDE
4. L'autoroute carte en main – Enjeux communaux pour des élus ou décideurs
5. Rugosité, latéralité, sinuosité – Eléments de synthèse pour le projet

Tome 2

Dossier de présentation du concept design

Le pli et la plasticité

1. Modélisation – Représentation paramétrique du dispositif
2. Analyse – Relecture du territoire
3. Prospective – Structuration du territoire
4. Conception – Le pli et la plasticité
5. Illustration – Neuf situations typiques

Tome 3

Dossier de définition technique d'une opération type

Adaptabilité, simplicité, efficacité

1. Matériaux et procédés de fabrication
2. Acoustique
3. Statique
4. Lumières
5. Estimation

Composition de l'équipe

Pascal Amphoux

Contrepoint, Projets urbains (Lausanne, Suisse)
Conception générale et coordination de l'équipe

architecture et paysage

Filippo Broggin

BlueOffice Architecture (Bellinzona, Suisse)
Conception formelle, structural design
avec les contributions de :

architecture et génie civil

Pablo Tantardini

Alberto Ulisse

Emma Radaelli

et les apports techniques de :

Ing. Andrea Pedretti, Airlight Ltd. (Biasca, Suisse)

modélisation

Ing. Olimpio Pini, Pini & Associati (Lugano, Suisse)

structure

Pierre-Yves Nadeau

Conseil Ingenierie Acoustique (Marseille),
Conception acoustique, simulation, cartographie sonores

acoustique et informatique

Nicolas Tixier, Jean-Michel Roux

BazarUrbain, collectif interdisciplinaire (Grenoble)
Maîtrise d'usage, récit du lieu,
avec la contribution de
Aurore Bonnet

économie sociale et politique territoriale

Laurent Fachard

Les Eclairagistes Associés (Lyon)
Conception lumière, éclairage et sécurité,

ergonomie visuelle et éclairagisme

Adresse du mandataire principal

Pascal Amphoux
Contrepoint, Projets urbains
2, av. de l'Eglise Anglaise CH 1006 Lausanne
Pascal.Amphoux@freesurf.ch

Avertissement

TITRE RUNNINGHAMI



Runninghami, c'est d'abord une **référence emblématique**, *Running Fence*, œuvre fameuse de Christo qui lança dans les années 70 un mur de toile de 40 km sur 5,5 m dans le paysage californien. Cette œuvre évoque, tant par sa matérialité que par son échelle, l'intention esthétique et le sens du projet : révéler les aspérités d'un paysage inaperçu (celui de la vallée du Gier et d'un territoire passé), établir une unité entre des écrans discontinus (plus de 20 ans de constructions hétérogènes), révéler la fragilité paradoxale d'une limite continue (exprimer la légèreté possible d'un écran acoustique).

Runninghami, c'est ensuite un clin d'œil à l'art des *origami*, l'art du pliage japonais, qui nous sert ici de **référence technique et constructive**. Cet art est celui du pli, c'est-à-dire celui du déploiement et du resserrement, de la progression et de la présentation, du retournement et de la surprise. C'est aussi dans un autre registre une manière d'évoquer l'industrie locale du ruban et de la passementerie, sans oublier celle, si l'usage de la tôle pliée se révèle performante, de la métallurgie et de la tradition minière – une manière d'ourler le ruban autoroutier autant que la nature du territoire stéphanois.

Runninghami, c'est enfin un nom qui rime avec celui d'un chorégraphe de renom, Merce *Cunningham*, dont l'art de danser dans l'espace se mue en art de faire danser l'espace. La **référence** est cette fois plus purement **perceptive et dynamique**, puisque le concept-design des protections acoustiques projetées repose autant sur la perception du mouvement autoroutier dans le territoire habité que sur celle, inverse, de la perception en mouvement du paysage traversé.

HYPOTHESE DE TRAVAIL DE LA PROTECTION ACOUSTIQUE A LA REQUALIFICATION SONORE DU TERRITOIRE

La question de l'esthétique des écrans anti-bruit est classique et régulièrement maltraitée car elle repose sur une ambiguïté fondamentale, que la mission qui nous a été confiée par la DDE Loire oblige à lever.

D'un côté, on améliore l'environnement sonore, même si l'on sait que l'ouvrage n'est pas d'une efficacité radicale (on "abaisse" les niveaux en dessous de "valeurs limites" mais on ne les supprime pas) ; de l'autre on se culpabilise de détériorer le paysage, et l'on fait tout pour

rendre les parois aussi invisibles que possible (hauteurs limitées, matériaux transparents, ...). On n'est "ni pour ni contre, bien au contraire". On oppose systématiquement deux dimensions, le bruit au confort, le visuel au sonore, le fonctionnel à l'esthétique, ... et la demande de traiter *esthétiquement* une solution qui soit *acoustiquement* acceptable (ou inversement) tourne rapidement au dilemme. Comment en sortir ?

D'une part, il faut refuser de mettre en concurrence les deux dimensions : repartir certes d'une **approche esthétique de design** comme il est demandé (et par exemple étudier la perception du paysage en mouvement pour l'automobiliste), mais *pour requalifier le paysage sonore traversé*, c'est-à-dire pour restituer des espaces sonores contrastés, d'animation, de calme ou de silence – et non seulement pour compenser la nuisance environnementale.

D'autre part, il faut réintroduire la troisième dimension, sociale, trop souvent oubliée : repartir d'une **approche anthropologique du vécu** (et il faut de fait également étudier la représentation de l'ouvrage pour les habitants alentour), mais *pour requalifier des milieux sonores vivants (urbains ou ruraux)*, c'est-à-dire pour rendre possible des usages, des fonctions ou des aménagements nouveaux – et non seulement pour réparer les dommages subis par les riverains.

ENJEU PARADOXAL

QU'UN ECRAN PUISSE SERVIR A AUTRE CHOSE QU'A CE A QUOI IL SERT

A la thématique de la lutte contre le bruit, s'ajoute la problématique de la requalification du territoire. D'où l'attitude que nous essayons de promouvoir : « "Assainissons" l'environnement, mais requalifions les milieux et réinventons le paysage ». Ou plus précisément : « Apprenons à faire de ces pratiques environnementales émergentes des instruments de requalification des milieux sociaux et des paysages sensibles ». Et exigeons par exemple qu'une protection acoustique puisse servir à autre chose qu'à ce à quoi elle sert : à rendre possible des usages nouveaux ou anciens dans les espaces publics alentour, à rendre probable des développements urbains sur ses rives (qui fassent écrans passifs) et à saisir l'occasion de développer – une véritable esthétique du mouvement – enjeu que l'on peut tenir pour majeur dans une **culture de la mobilité** dont on annonce dès maintenant la domination.

PRESENTATION DE LA CHARTE

TROIS DOSSIERS DE REFERENCE POUR FONDER UNE OPERATION SINGULIERE

Conformément à la commande, l'étude a été menée en trois temps, qui font les trois dossiers de ce rapport et qui composent les trois niveaux de la charte design sonore entre lesquels le

concepteur devra naviguer pour recontextualiser, dans le temps et dans l'espace, chaque projet concret et singulier.

- Le dossier d'analyse pluridisciplinaire du territoire (*Tome 1, format A4, intitulé "Rugosité, latéralité, sinuosité"*) restitue et synthétise le contenu de **l'approche territoriale**. Cette approche a consisté à collecter et croiser, selon des méthodes éprouvées par l'équipe d'enquêteurs, les récits de quatre types d'acteurs (automobilistes, patrouilleurs, riverains et décideurs) sur l'autoroute et les territoires traversés.
- Le dossier de présentation du concept design (*Tome 2, format A3, intitulé "Le pli et la plasticité"*), restitue et synthétise la forme de **l'approche typologique**. Cette approche a consisté à énoncer un principe morphogénétique invariant, le pli, et à étudier toutes les possibilités de variations formelles que ce dispositif permet de déployer pour s'adapter aux situations contextuelles les plus différentes (adaptation aux contraintes acoustiques de l'environnement, aux formes topologiques de la rive ou des abords, et aux perceptions "signalétiques" de l'automobiliste en mouvement).
- Le dossier de définition technique d'une opération type (*Tome 3, format A4, intitulé "Adaptabilité, simplicité, efficacité"*) réunit **les études techniques** et les recommandations pratiques permettant de passer du concept à la réalisation. Matériaux et procédés de fabrication, performances acoustiques, structure et statique, conception lumière et estimations fournissent les bases à partir desquelles développer des avant-projets *in situ*.

En résumé, la démarche proposée consiste à faire de la "charte design sonore" un répertoire de solutions techniques, esthétiques et financières qui soit en puissance un outil de négociation opératoire par rapport à des ambitions territoriales plus larges.

Le tome 1 ne donne naturellement aucune recette. Mais il constitue un document de base en la matière pour poser des questions pertinentes, aborder des acteurs territoriaux, inciter ceux-ci à penser des projets en cours ou aménagements complémentaires par rapport à la pose d'un écran acoustique, bref, un instrument de travail pour les inciter à user pleinement de la *plasticité* du système proposé, c'est-à-dire, comme le montre le tome 2, sa capacité à être modulé et adapté en fonction des aménagements locaux ou micro-locaux que les riverains souhaiteraient réaliser.

Si une telle logique de négociation avec les acteurs territoriaux échoue, une solution sera toujours *applicable* sur le territoire propre de la voirie considérée pour répondre aux objectifs acoustiques et visuels de la DDE (les tomes 2 et 3 en fournissent les conditions). Mais si elle

débouche, elle aura *impliqué* d'autres acteurs, d'autres échelles, d'autres interventions, et fait d'un système de protection acoustique le catalyseur de stratégies beaucoup plus complexes de requalification de l'environnement et de restructuration du paysage dans l'espace et dans le temps.

C'est à ce prix que l'on peut espérer, comme le demandait le texte de l'appel d'offres, « remettre les usagers et les riverains au centre du processus de conception », sans condamner par ailleurs l'autonomie de la démarche de conception et l'unité formelle d'une « autoroute-design ».

ADAPTABILITE, SIMPLICITE, EFFICACITE Dossier de définition technique d'une opération type

Présentation du Tome 3

Le dossier de définition technique d'une opération type vient compléter les approches précédentes.

Le dossier d'analyse pluridisciplinaire du territoire (*Tome 1*) donne en quelque sorte le contexte général dans lequel un projet peut être développé : une série d'enjeux environnementaux, sociaux ou paysagers, tels qu'ils sont appréhendés par différents types d'acteurs, mais elle ne présuppose pas de l'énonciation précise de ces enjeux dans le contexte local d'une opération particulière. Le dossier de présentation du concept-design et l'approche typologique des variations du système plastique de *Runninghami* (*Tome 2*) donnent l'ensemble des règles du jeu, des règles d'information, de déformation et de transformation (plis, déplis et replis) qui en font une structure adaptable aux conditions locales les plus diverses. Encore faut-il comprendre comment techniquement un segment du système peut être matériellement conçu, construit et réalisé.

L'originalité de cette charte design sonore consiste à éviter le piège du modèle formel reproductible en toute situation. Elle consiste du même coup à obliger le maître d'œuvre à toujours *réinterpréter la variation du type*, en fonction du contexte local et circonstanciel dans lequel une opération singulière est menée. Encore faut-il donner les principes techniques qui permettent de matérialiser une telle opération pour en apprécier non seulement l'**adaptabilité**, mais aussi l'**efficacité** et la **simplicité**.

Tel est l'enjeu de ce dossier qui réunit les études techniques menées sur la structure dans cinq domaines différents : celui de la construction, celui de la statique, celui de l'acoustique, celui de la lumière et celui des estimations de coûts.

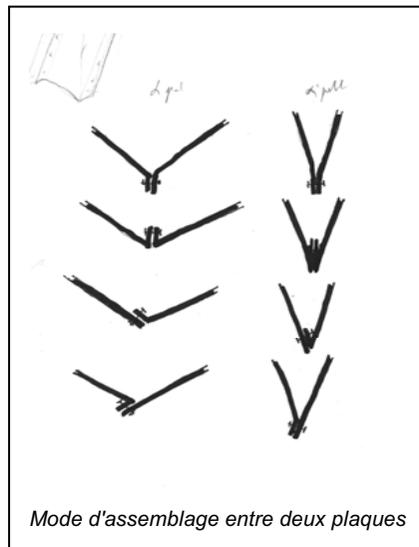
CONSTRUCTION

Matériaux et procédés de fabrication

L'ensemble des formes de *Runninghami* est réduit à un jeu des surfaces triangulaires pliées. Les matériaux envisagés sont le métal ou le béton BPR (béton poudre réactive) en plaques. Chaque matière a ses spécificités – acoustique, statique, technique et de production –, ses avantages et ses inconvénients. Si la variante métal semble de plus facile exécution, le BPR offre une plus grande résistance et un meilleur comportement statique. Si acoustiquement le BPR donne des absorptions intéressantes, les plaques en métal doivent être partiellement recouvertes par des surfaces absorbantes (type Alporas). Il reste donc à ce stade difficile de proposer une matière plutôt qu'une autre. Le choix sera dépendant non seulement du prix de la matière, mais aussi des modalités d'exécution dans un site réel, de son accessibilité, de la présence ou de l'absence de structure sur laquelle s'appuyer statiquement, etc.

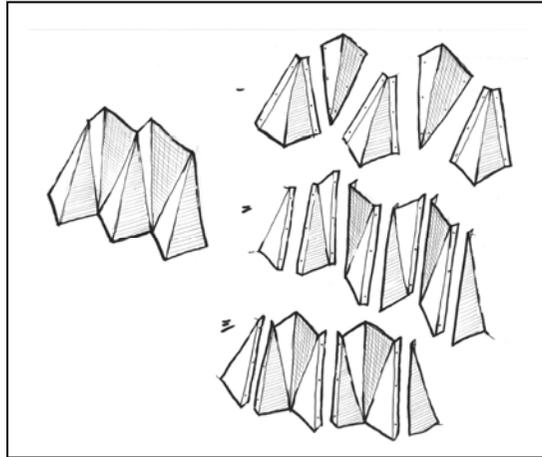
Rentrons un peu dans le détail de l'exécution des deux variantes pour donner quelques éléments supplémentaires de comparaison.

VARIANTE METALLIQUE



Puisque nous avons décrit mathématiquement la géométrie du système de parois, on peut facilement programmer nos ordinateurs pour établir automatiquement le listing exhaustif et précis de toutes les surfaces. Par un système de projection plane, on ramène la surface tridimensionnelle de la structure pliée à **une collection de triangles plans**, que l'on peut positionner et ajuster en fonction de la découpe (pilotée par ordinateur selon des procédés de parcours-découpe générés par des fichiers DXF-DWG) et du pliage (entre différentes surfaces et sur les bords). Les programmes de découpe permettent aussi d'optimiser le positionnement des différentes pièces, afin de réduire au maximum les déchets de fabrication. Compte tenu des grandes surfaces à fabriquer, on pourra utiliser des rouleaux de tôle (plutôt que des plaques), prêts à être dé-bobinés dans une série de calandres à courbures opposées pour être ramenés à une surface plane prête à l'usinage. Les éléments ainsi découpés et pliés sont ensuite préparés pour le montage (exécution des trous pour le boulonnage des différents éléments et pour la fixation au sol).

Selon les dimensions et l'épaisseur de la tôle, un **traitement de surface** anti-oxydant sera fait par bain galvanique ou peinture de fond en double couche, avec finissage en peinture à haute ténacité selon assortiment couleurs RAL. Une finition anti-tags pourra y être ajoutée à l'aide de produits spécifiques. Le tout de manière à minimiser les coûts d'entretien et de nettoyage



du système.

Selon le **positionnement des éléments** dans l'ensemble du système on pourra réaliser plusieurs surfaces à partir d'une seule surface (cf croquis) des différentes possibilités d'exécution).

Selon les **modalités de transport et de pose** choisies, on pourra effectuer un pré-assemblage à l'usine des éléments de protection acoustique (2, 3, 4 modules à la fois). Ce choix sera dicté par les exigences de transport (poids, encombrement, "empilabilité", maniabilité des pièces), de sécurité de travail et de simplicité de pose. Toutes ces options devront faire l'objet d'une évaluation attentive avec les services compétents.

La **fixation au sol** des plaques métalliques se fera par boulonnage directement dans la plaque de fondation. Des plaques seront fixées horizontalement sur les extrémités des bases et garantiront une exécution de la fixation simple et efficace.

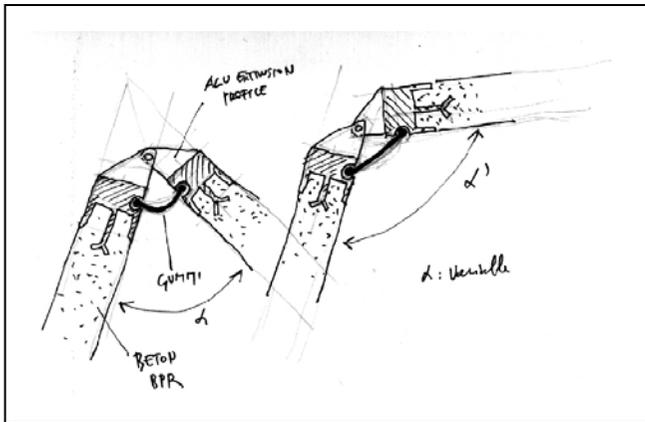
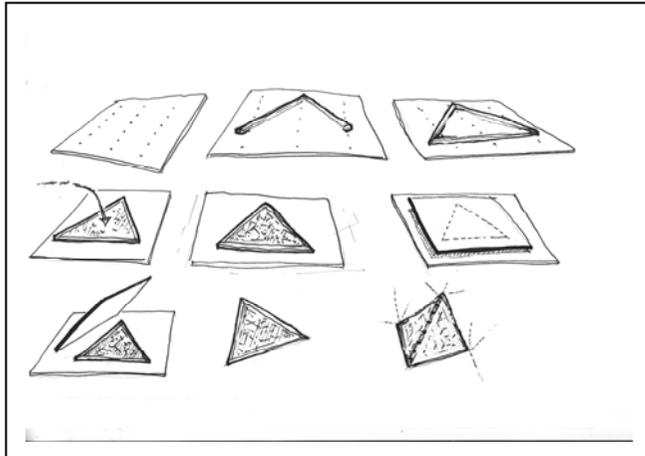
Une autre **variante** de fabrication consisterait à créer un système de cadres en profilé pour y poser des tôles et des plaques phoniquement absorbantes. Mais ce principe constructif s'éloigne du concept statique de la surface pliée (« *Scheibe* » en allemand) pour rejoindre celui du « treillis » ou du « cadre » avec remplissage. Moins fidèle au principe de l'origami ou de la feuille de papier pliée, il est du point de vue conceptuel moins satisfaisant.

VARIANTE BETON BPR (BETON POUDDRE REACTIVE)

Cette solution consisterait à utiliser une technologie de fabrication mise au point il y a quelques années par l'entreprise *Bouygues*. Il s'agit de bétons très spéciaux qui ne nécessitent plus d'armatures traditionnelles. Par le savant mélange de sable, ciment, quartz, fumée de silice et fibres métalliques, on produit une masse homogène qui se comporte exactement comme une masse monolithique. L'avantage de ces bétons réside dans leur très grande résistance : 200 MPa de résistance à la compression, 7 / 12 MPa de résistance à la traction directe, 30 / 55 MPa à la traction par flexion et un module élastique de 50 / 60 GPa. Par un traitement thermique à 90°C (dans de l'eau chaude) ou à 250°C (par vapeur) on peut encore augmenter les performances statiques de ce matériau. De plus, n'ayant pas d'armature traditionnelle il est possible de réaliser des épaisseurs très réduites.

Puisque les géométries des surfaces sont pratiquement toutes différentes, sauf pour les parties qui se répètent sur des brefs tronçon d'autoroute, il faut trouver une méthode astucieuse pour réaliser des périmètres différents sans avoir à construire des coffrages complexes (cf. croquis).

Comme pour la variante en métal, nous disposons d'un système de coordonnées spatiales



qui décrit chaque point, chaque arête, chaque surface – et donc en particulier chaque segment qui compose le périmètre de chaque triangle, dont on peut donc lister toutes les longueurs et les angles.

On prépare alors chaque plaque, munie d'un système permettant la fixation rapide de profils métalliques dans n'importe quelle position. Sur cette plaque sont fixés des profilés en aluminium spécialement conçus et découpés selon les mesures et géométries précédentes. La section du profilé est une sorte de U, dont la partie creuse est tournée vers l'intérieur du triangle. Cette partie creuse est munie d'un élément de grippage et de rebords qui permet à la masse de béton de s'écouler vers l'intérieur du profil. Quant à la partie extérieure, elle est conçue comme une charnière, mais sans découpe de dents. Le profilé en aluminium sera produit par extrusion, façonné pour la partie « charnière » avec une machine à découpe. En outre, pour éliminer les problèmes de pont chimique (ou d'érosion) entre béton et aluminium, ils seront anodisés. Une fois fixés sur la plaque initiale, on coule le béton BPR, les profils en aluminium faisant fonction de "coffrage perdu". Sur l'élément fraîchement moulé, on peut encore placer une autre plaque, pour garantir un meilleur "compactage" ainsi qu'une finition selon des critères de lissage ou de rugosité déterminés par les besoins acoustiques et esthétiques. Pour offrir une meilleure absorption acoustique, on pourra produire un sandwich de bétons avec du béton-bois et du BPR. Plusieurs types de solutions pourraient être testés avec des bétons différents.

Après traitement thermique renforçant encore leur résistance, les plaques sont prêtes au montage et à l'assemblage in situ. Chaque bord de chaque plaque étant munie d'un élément à charnière, il suffit de positionner les éléments les uns par rapport aux autres et d'y glisser un axe pour les assembler. Le blocage au sol sur les plaques de fondation se fait par boulonnage et tampons chimiques.

FONDATIONS

Dans les deux variantes, on cherche à minimiser le poids propre des éléments de la structure puisque le principe de l'origami est de la rendre "auto-porteuse". Ce caractère permet de minimiser le prix de la fondation, qui pourra prendre la forme d'une plaque continue, dont la largeur est définie par l'écartement de la base du dispositif, qui suit une ligne en zigzag au sol. En utilisant les points extrêmes de ce zigzag pour la fixation, on garantit d'une part un excellent comportement statique, aussi bien en traction qu'en compression, puisqu'on se situe au plus loin de l'axe médian de la structure, d'autre part une très bonne distribution des efforts sur la plaque des fondations.

Celles-ci pourront être composées soit de petits blocs préfabriqués en béton normal, posés et

reliées entre eux directement sur le site, de semelles continues suivant la projection au sol de l'axe médian de tout le système. Compte tenu de la faiblesse des efforts et de l'efficacité du système statique, un béton maigre de pose de 10 cm et une dalle de béton d'environ 40 cm d'épaisseur doit suffir.

La structure est conçue comme encastree dans la semelle de fondation. Cet encastrement sera réalisé soit par l'insertion d'un profil de fixation dans la masse de béton, soit par un bord rigide soudé à la base des tôles et boulonné aux fondations, soit par simple bétonnage dans le cas du BPR.

Dans les parties qui présentent une structure en porte-à-faux sur la route, on peut envisager, selon l'espace à disposition, soit une dalle plus épaisse, soit un système à micro pieux. Les conditions du terrain et sa géologie indiqueront quel système est le plus favorable et le plus avantageux économiquement.

MONTAGE ET POSE DU SYSTEME

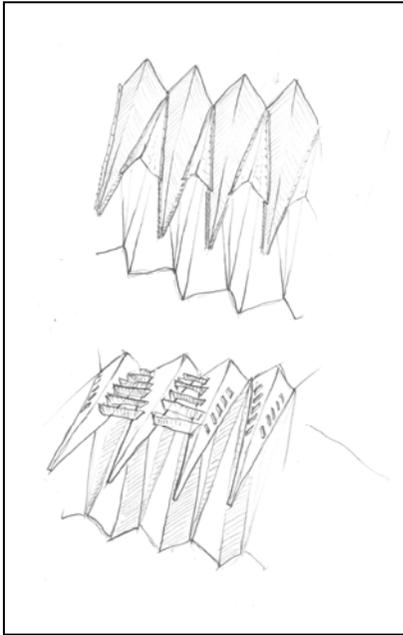
Un système de montage progressif en série qui s'applique normalement dans la construction des tunnels sera adopté. Les premières opérations sont effectuées au début du chantier, puis répétées de proche en proche en avançant le long de l'axe routier. D'abord on excave pour préparer la semelle de fondation, on jette le béton maigre de base, on pose l'armature et on jette le béton de la semelle. Une fois la semelle terminée, on pose les éléments de la paroi, les assemble et les fixe aux fondations. Puis on exécute les finitions telles que la pose d'éventuels joints d'étanchéité suivant la méthode de fabrication adoptée).

Du point de vue de l'économie du chantier et de la gestion du trafic, la question de l'encombrement des matériaux ou éléments à transporter, de la maniabilité des engins de chantier et de la rapidité de pose des éléments sur la fondation pourra être déterminante.

DURABILITE ET ENTRETIEN DE LA STRUCTURE

La structure peut garantir une espérance de vie d'environ 70 ans.

Les variantes métalliques offrirait des surfaces plus faciles au nettoyage par des surfaces plus lisses. Même les panneaux en Alporas (mousse d'aluminium) présentent une bonne « nettoyabilité ». N'ayant pas de porosité absorbante, les expériences faites par le fabricant de cette « mousse » montrent que le nettoyage est plus facile et rapide par jet d'eau ou de vapeur que sur d'autres matériaux absorbants.



La variante en BPR est aussi intéressante car le béton, plus compact et moins poreux qu'un béton ordinaire, demande un entretien moindre. Le BPR garantit aussi une excellente durabilité dans le temps et une bonne résistance aux problèmes de carbonatation. Seules les parties transparentes en polycarbonate, qui seraient posées entre les « becs » là où il seraient nécessaires, devraient être remplacées en cas d'accident avec incendie (dégradation par feu). Toutes les autres surfaces ont une excellente durabilité.

Dans la variante acier, il faudrait prévoir un contrôle du traitement anti-rouille tous les 20-25 ans. Tout dépend du traitement de surface choisi et du type de finition.

Pour la variante aluminium, l'éloxage garantit non seulement une bonne résistance chromatique aux rayons UV, mais aussi aux agents corrosifs (pluies acides, fumées, solvants, ...).

STATIQUE

Dimensionnement, Acier, Aluminium et BPR

La géométrie tridimensionnelle composée par des surfaces triangulaires offre un comportement statique excellent. Chaque élément, auto-stable, contribue en outre, par la continuité de ses liaisons avec ses voisins, à une stabilité générale au niveau longitudinal. L'ensemble de la structure devient un "mur" qui travaillera de façon solidaire.

On trouvera ci-dessous les détails de l'analyse FEM faite sur l'élément simple et sur l'élément inséré dans l'ensemble des parois. Dans cette analyse, on a prévu les charges normales selon normes européennes, soit une charge de neige de 100 Kg/m² et une pression exercée par le vent de 100 Kg/m² avec coefficient de sécurité $K = 1,5$.

Par contre les charges dues aux impacts des véhicules devront être absorbées par les barrières normales positionnées sur le devant de la structure de protection acoustique. Pour des raisons esthétiques, on propose l'utilisation d'un *guard-rail* en acier plutôt qu'une glissière en béton armé (GBA).

DIMENSIONNEMENT STATIQUE

Nous avons procédé au dimensionnement statique des éléments de notre système par la méthode de calcul FEM (analyse par éléments finis).

Cette analyse préliminaire nous a permis de confirmer les intuitions affinées par l'analyse développée à l'aide des maquettes de travail. Le pliage de la matière, qu'elle soit métallique ou en BPR, renforce considérablement notre système. C'est le flambage local des plaques qui est le principal déterminant de l'épaisseur des tôles. Par ailleurs, cette géométrie ne nécessite pas un module élastique E élevé, car il produirait une concentration des efforts sur les arêtes du pliage, ce qui fragiliserait le comportement statique du système. On a donc tout intérêt à retenir une tôle d'acier ou d'aluminium de qualité normale (et non de haute qualité), facteur d'économie notable.

ACIER OU ALUMINIUM

En utilisant de l'**acier** S 235 J2 G3 (EN 10 025) qui a une limite de flambage de 235 N/mm², les calculs FEM nous donnent une épaisseur de la **tôle de 3 mm**. Les images qui suivent

mettent en comparaison la déformation d'un module simple non intégré dans l'ensemble de la structure et l'absence de déformation de celle d'un module intégré dans l'ensemble. Elles visualisent donc bien le fait que la continuité du système (plis successifs) implique un meilleur comportement statique du module simple.

Puisque notre géométrie présuppose l'utilisation d'un module élastique bas, on peut envisager d'utiliser de l'**aluminium** qui a des résistances (limite au flambage) similaires à l'acier EN 10 025. Les calculs par FEM nous donnent les mêmes épaisseurs : **3 mm**. Compte tenu de ses qualités de légèreté et d'entretien (facilité de transport et maniabilité, absence d'entretien après traitement de surface par aloxage), l'aluminium pourrait devenir une très bonne solution.

Du point de vue acoustique la solution en aluminium est en outre intéressante, car l'indice d'amortissement sonore est plus favorable que dans la solution en acier. Si on opte pour l'application de panneaux absorbants du type Alporas en mousse d'aluminium, on n'aura aucun problème de pont chimique et de corrosion. Dans le cas de l'acier, il faudra par contre prévoir un système d'isolation (rondelles en polyamides, derling ou autre) afin d'éviter l'effet de pile.

Mais ce n'est qu'autour d'un projet d'exécution que les deux variantes métalliques pourront permettre une réelle comparaison des prix.

BETON A HAUTE RESISTANCE

Nous avons par ailleurs effectué un dimensionnement statique des éléments de *Runninghami* en utilisant des **bétons à haute résistance BPR**, type CC 200.

En introduisant dans les programmes de simulation les valeurs indiquées précédemment, on obtient une épaisseur structurale de **20 mm**. Il y a donc aussi dans ce cas un excellent comportement statique de la forme et du matériau. Les diagrammes montrent une concentration des efforts sur les arêtes encore plus faible, du fait d'un module élastique E plus bas que dans les solutions métalliques.

Si on compare les densités des trois solutions (ρ acier= 7600 Kg/m³, ρ Al= 2700 Kg/m³, ρ BPR= 2600 Kg/m³) et leurs épaisseurs relatives (3 mm, 3 mm, 20 mm), la solution en BPR pèse environ 6,5 fois plus que celle en aluminium et 2,4 fois plus que celle en acier, de sorte qu'elle aura un comportement acoustique plus favorable. Par contre, la masse plus élevée provoquera des coûts supérieurs pour le transport, la pose et le montage.

Difficile donc, dans l'état actuel d'avancement du projet, d'estimer ces différences qui sont reliées à toutes une série d'opération à exécuter et qui dépendent entre autre du terrain, de

son accessibilité et des espaces de manœuvre

CONCLUSION

La forme et la résistance sont toujours étroitement liées. *Runnighami* le démontre encore une fois. Le jeu des pliages et triangulations permet d'optimiser la répartition de la matière en créant une paroi statique aux propriétés acoustiques et esthétiques souhaitées.

L'épaisseur réduite des éléments (3 mm pour les variantes métalliques et 20 mm pour celle en BPR) démontre qu'une bonne forme nécessite peu de matière, ce qui la rend économiquement intéressante.

Il faut ajouter qu'un affinage des épaisseurs sur les différents éléments est encore possible, surtout pour les « parois » et les « becs », dont l'épaisseur est trop généreuse. Mais nous n'avons pas voulu exagérer dans l'optimisation statique et revenir à l'épaisseur d'une feuille de papier ... comme en maquette !

1

NODAL SOLUTION

STEP=1

SUB =10

TIME=1

SEQV (AVG)

DMX =.965018

SMN =.177E+07

SMX =.198E+10

ANSYS

MAR 31 2006

16:04:04

PLOT NO. 1

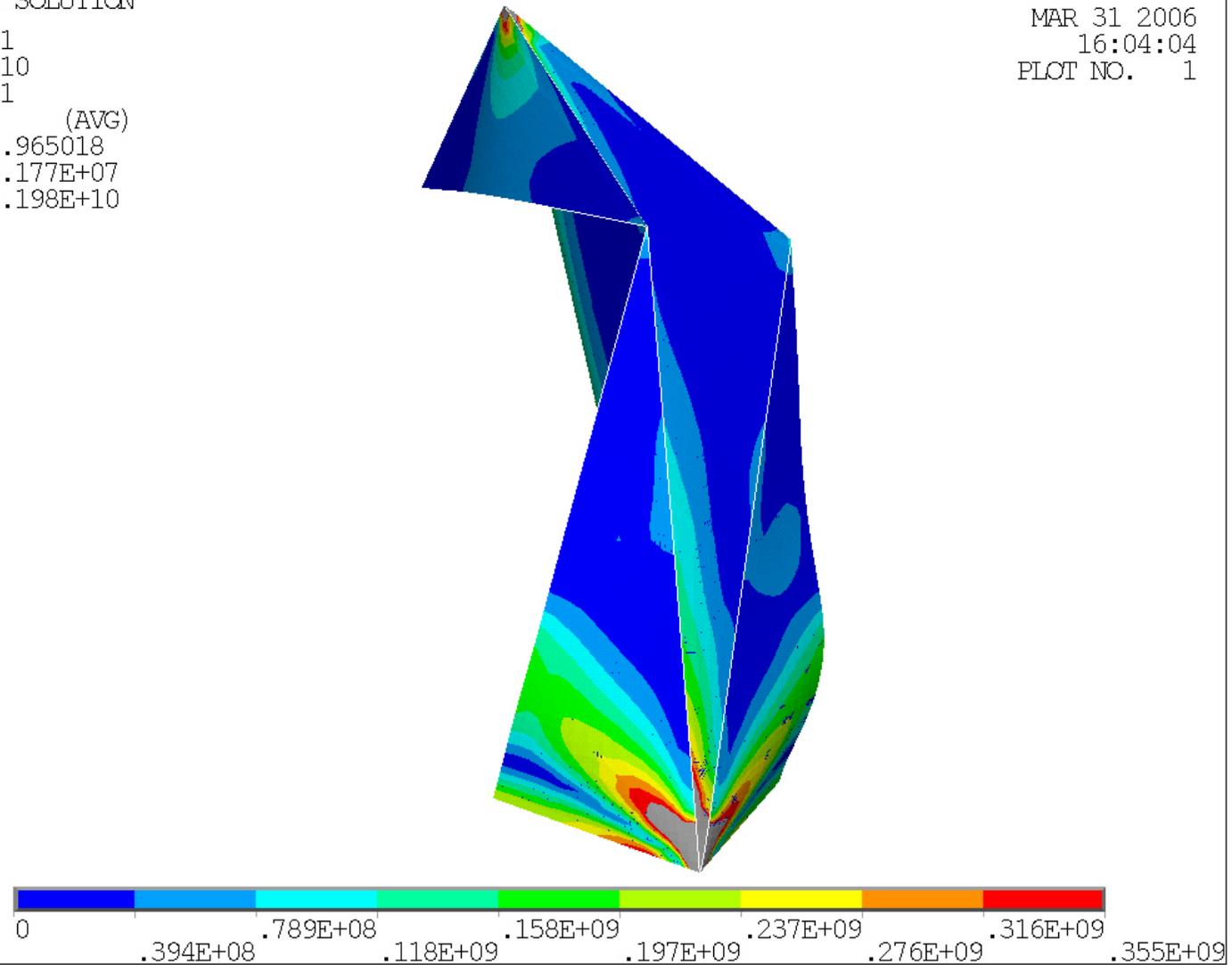


Image FEM, Diagramme des efforts, Variante Métal, Élément isolé

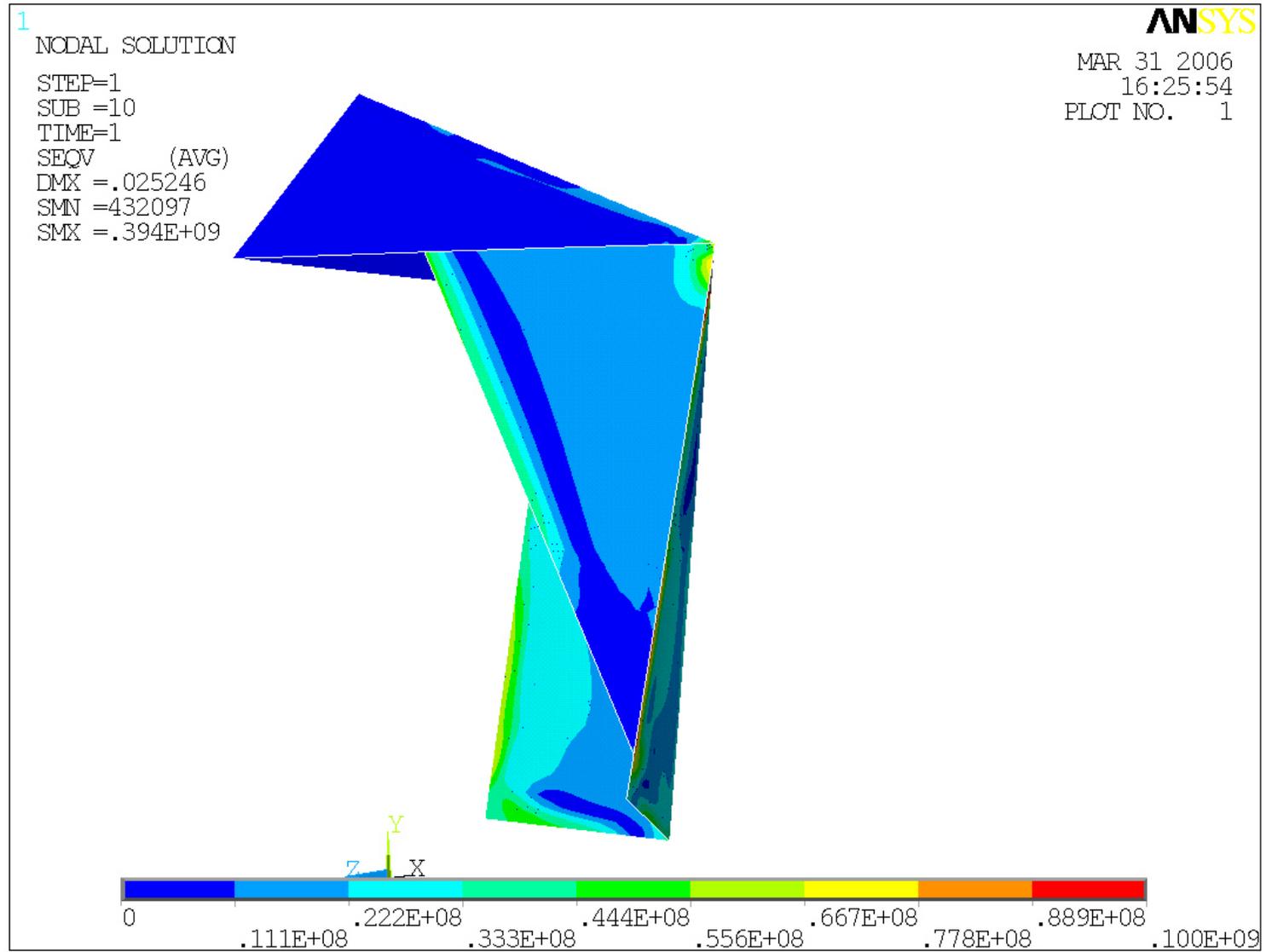


Image FEM, Diagramme des efforts, Variante Métal, Elément intégré dans l'ensemble, Vue 1

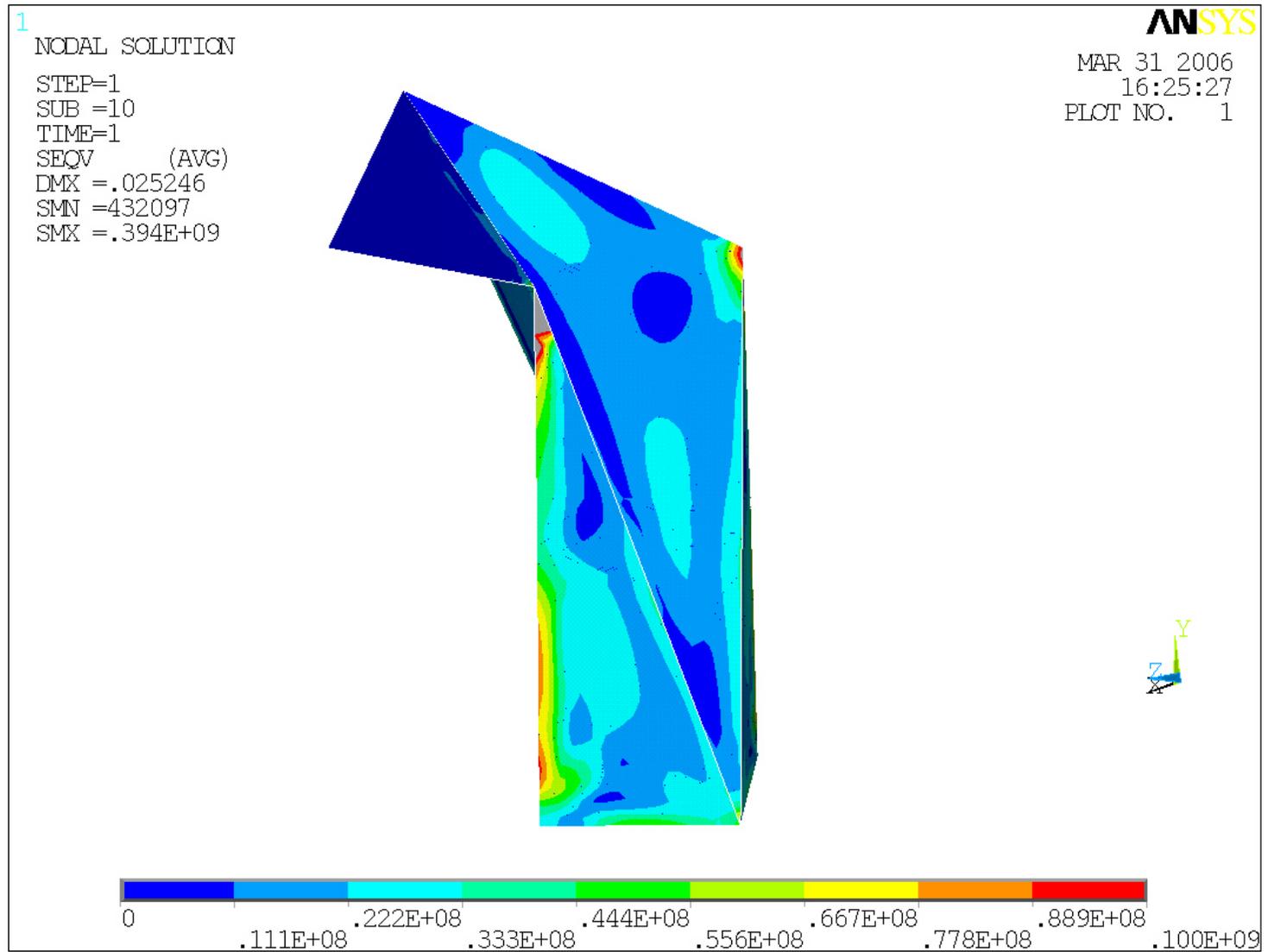


Image FEM, Diagramme des efforts, Variante Métal, Elément intégré dans l'ensemble, Vue 2

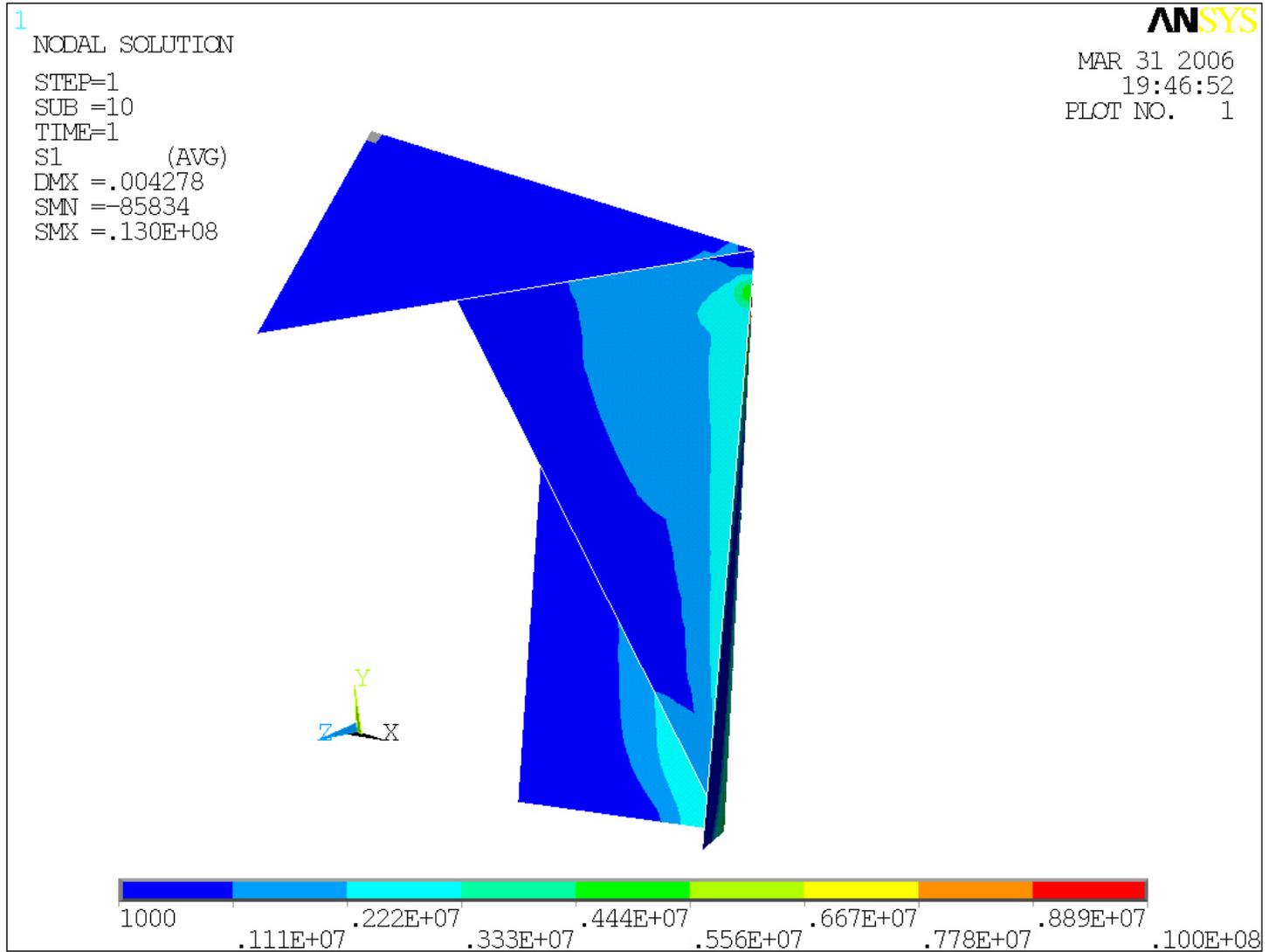


Image FEM, Diagramme des efforts, Variante BPR, Vue 1

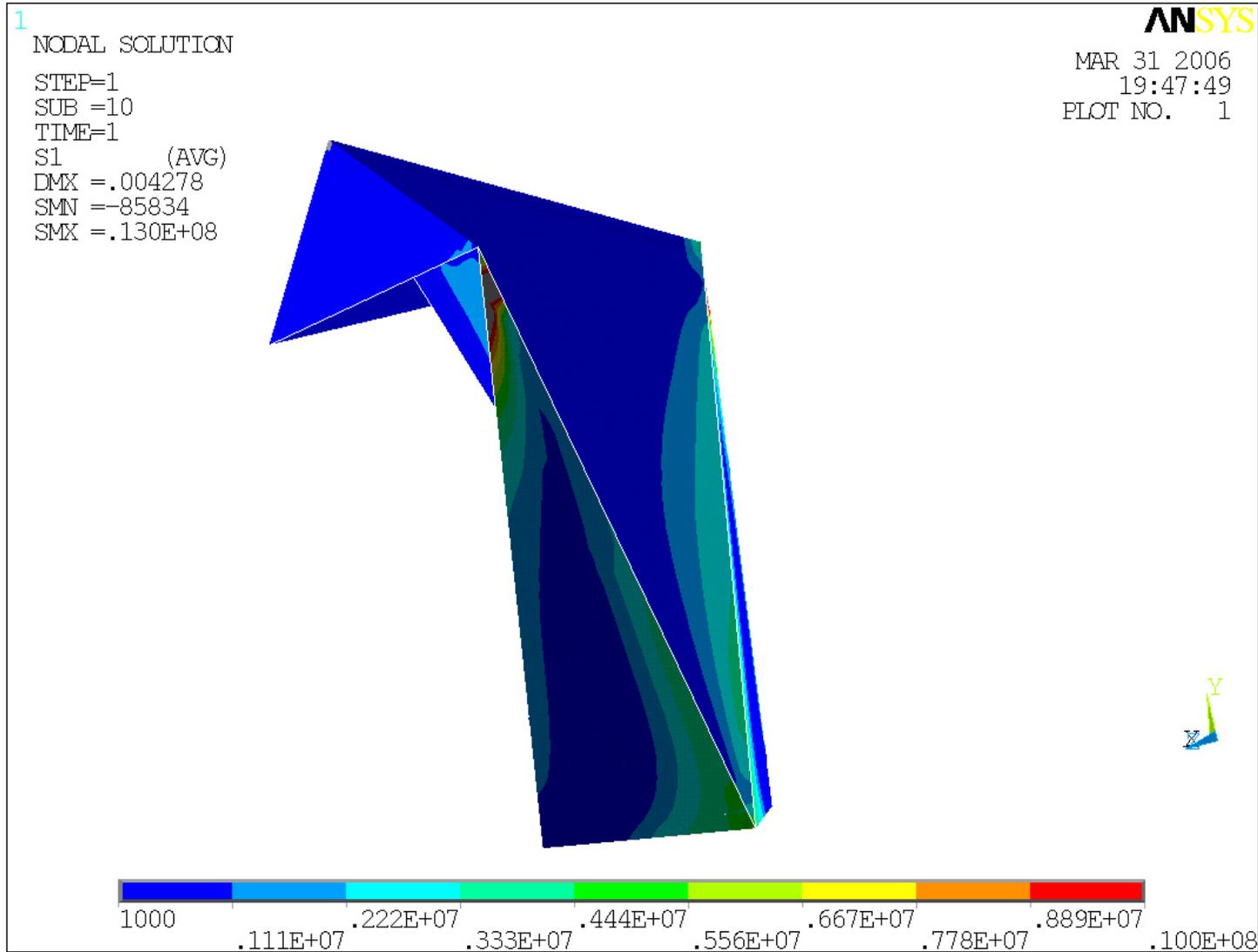


Image FEM, Diagramme des efforts, Variante BPR, Vue 2

Rappel – Principes d'un écran acoustique

1. LES 3 MODELES DE CONCEPT DESIGN DE PROTECTIONS ANTI-BRUIT

2. GEOMETRIE DU MODELE PROPOSE

- Ecran de hauteur variable
- Ecran non plan
- Inclinaison de l'ouvrage

3. EFFICACITE ACOUSTIQUE EN TRANSMISSION

- Les exigences réglementaires
- Efficacité intrinsèque en transmission des matériaux proposés
- Efficacité intrinsèque en transmission de l'ouvrage proposé

4. EFFICACITE ACOUSTIQUE EN ABSORPTION

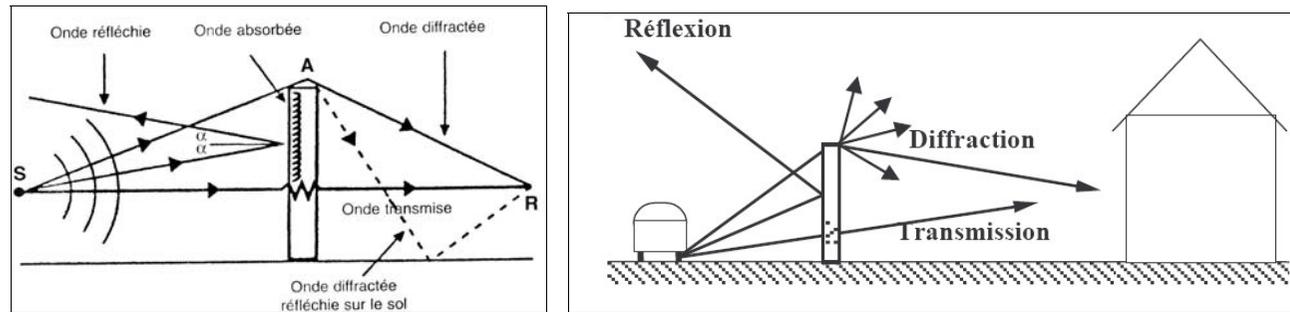
- Les exigences réglementaires
- Efficacité intrinsèque en absorption des matériaux envisagés
- Efficacité intrinsèque en absorption de l'ouvrage envisagé

5. SIMULATION PAR CALCUL

- Efficacité en transmission
- Efficacité en absorption

LES CONTRAINTES ACOUSTIQUES

Rappel Principe d'un écran acoustique



La source de bruit S émet une onde acoustique en direction de l'écran :

- On appelle onde réfléchi, l'onde qui est renvoyée par l'écran en tant qu'obstacle (phénomène physique de réflexion acoustique)
- On appelle onde absorbée, l'onde acoustique qui est absorbée par l'écran.
- On appelle onde diffractée, l'onde acoustique qui frappe l'arête supérieure de l'écran et qui est renvoyée atténuée immédiatement derrière celui-ci (phénomène physique de diffraction acoustique). L'amplitude de la diffraction dépend des dimensions de l'écran (plus il est grand, plus elle est faible).
- On appelle onde transmise, l'onde qui passe à travers l'écran. Son énergie est fortement diminuée par l'obstacle que constitue l'écran (transmission acoustique).

La réalisation d'un projet de protection acoustique en bordure d'une infrastructure se décompose comme suit :

A – conception d'un ouvrage intrinsèquement performant au niveau acoustique

Les points acoustiques fondamentaux sont :

- Choix d'un matériau principal pour l'efficacité de l'ouvrage en transmission
- Choix d'un matériau de parement pour l'efficacité de l'ouvrage en absorption
- Choix d'un matériau en couronnement pour l'efficacité de l'ouvrage en diffraction
- Définition des dimensions de chaque matériau suivant des contraintes de structure de l'ouvrage, d'efficacité acoustique et de production industrielle
- Assemblage des composantes séquentielles de l'ouvrage (module de production) de façon étanche d'un point de vue acoustique
- Etanchéité entre la partie inférieure de l'ouvrage et la semelle en béton (en général soubassement)

La performance intrinsèque de l'écran est conditionnée par le type de matériau utilisé.

B – Implantation d'un ouvrage dans des environnements différents pour diminuer les nuisances acoustiques sur des habitations individuelles ou des immeubles d'habitat collectif

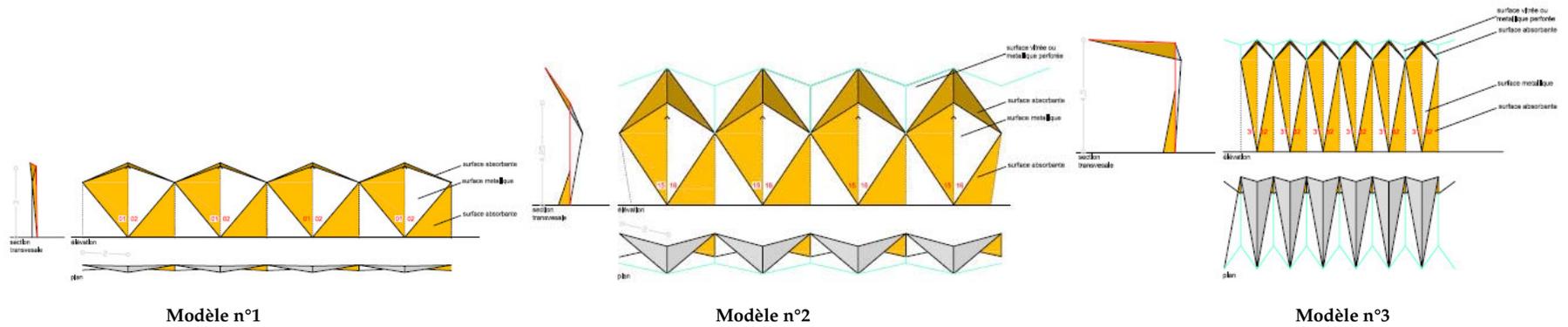
- Positionnement de l'ouvrage au plus près de l'infrastructure pour optimiser la protection (coût / efficacité)
- Dimensionnement de l'ouvrage en hauteur et en longueur (étude acoustique)
- Choix de l'inclinaison de l'ouvrage suivant des critères spécifiques (écrans transparents ou opaques, absorbant ou réfléchissant)
- Définition des performances de l'ouvrage en transmission (systématique), en absorption (en fonction du site) et en diffraction (en fonction du site et des contraintes techniques et financières)

La performance intrinsèque de l'ouvrage dans son environnement est conditionnée par son efficacité acoustique intrinsèque, mais aussi par les choix d'implantation et sa mise en œuvre lors de la construction.

L'étude pour l'élaboration d'un concept design de protections anti-bruit nous conduit donc à concevoir un modèle adapté à 2 niveaux :

- **Modèle présentant des performances acoustiques intrinsèques pouvant répondre aux contraintes acoustiques en transmission en absorption ou en diffraction**
- **Modèle performant dans les configurations environnementales de points noirs bruit très différentes que l'on trouve le long de l'A47, de l'A72, la RN88 et COSE.**

1. Les 3 modèles de concept design de protections anti-bruit



Le modèle n° 1 est un écran droit absorbant ou réfléchissant non plan – cet écran est un écran bas « classique » (2 à 3 m de hauteur) pouvant recevoir un couronnement absorbant

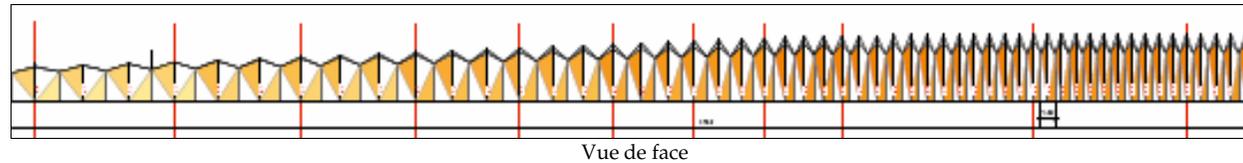
Le modèle n°2 est un écran incliné absorbant ou réfléchissant non plan – cet écran de grande hauteur (jusqu'à 4.5 m) est légèrement incliné vers l'infrastructure

Le modèle n°3 est un écran droit absorbant ou réfléchissant non plan – cet écran de grande hauteur (jusqu'à 4.5 m) possède une casquette de près de 4 m d'envergure

2 Géométrie du modèle proposé

Ecran de hauteur variable

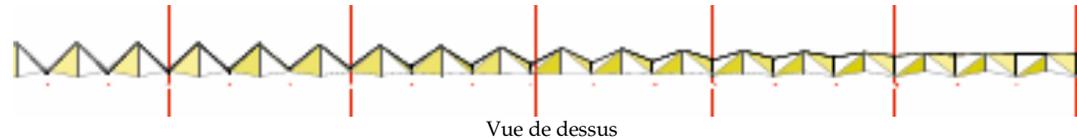
Suivant le profil en long de l'infrastructure et la position relative du bâti, il est important de proposer un modèle pouvant présenter des qualités acoustiques adaptées à chaque site. La hauteur de l'ouvrage peut varier de 2 m à 4.5 m de hauteur. Le caractère « évolutif » des dimensions de chaque module permet, pour un écran de grande longueur, de s'adapter à la configuration du bâti à protéger. Un ouvrage « bas » pourra par exemple protéger une série de maisons individuelles pour ensuite se transformer en écran plus haut, voire à « casquette » pour protéger un immeuble de grande hauteur.



Ecran non plan

Le modèle acoustique proposé est un écran non plan pour plusieurs raisons :

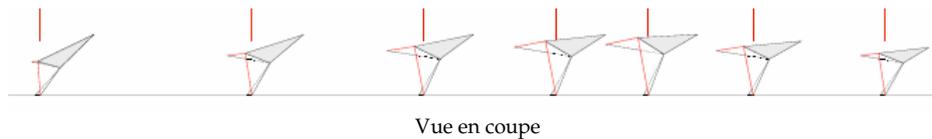
- structurelles (les épaisseurs innovantes des matériaux constitutifs nécessitent une série de contreventement pour la stabilité de l'ouvrage),
- acoustique (pas de façade plane réfléchissante – diffusion acoustique)
- design (esthétique)
- pratique (surfaces offertes aux tags limitées)



L'épaisseur de l'ouvrage peut également être adapté à l'emprise disponible en bordure de l'infrastructure. Le « pliage » du module de base permet en effet de disposer l'ouvrage sur une emprise plus ou moins large suivant les contraintes du site.

Inclinaison de l'ouvrage

La structure même de l'ouvrage fait que ce modèle d'écran est incliné du côté de l'infrastructure. Le rapprochement de l'arrête supérieure de l'écran de la source de bruit permet une efficacité supérieure par rapport à un ouvrage de même hauteur et droit.



3 Efficacité acoustique en transmission

Les exigences réglementaires

Spécifications relatives à l'isolation acoustique (normes NF EN 1793 et NFS 31-089) :

	Indice minimal d'évaluation de l'isolation DL_R en dB(A)	Catégorie d'isolation
Ecran	$DL_R \geq 25$ dB(A)	B3
Couverture partielle	$DL_R \geq 30$ dB(A)	B3 dont $DL_R \geq 30$ dB(A)
Couverture totale	$DL_R \geq 40$ dB(A)	B3 dont $DL_R \geq 40$ dB(A)

Spécification NF EN 1793 (en laboratoire) sur matériau

	Perte locale minimale d'énergie en Transmission TL_{LT} en dB(A)
Ecran	$TL_{LT} \geq 27$ dB(A)
Couverture partielle	$TL_{LT} \geq 30$ dB(A)
Couverture totale	$TL_{LT} \geq 40$ dB(A)

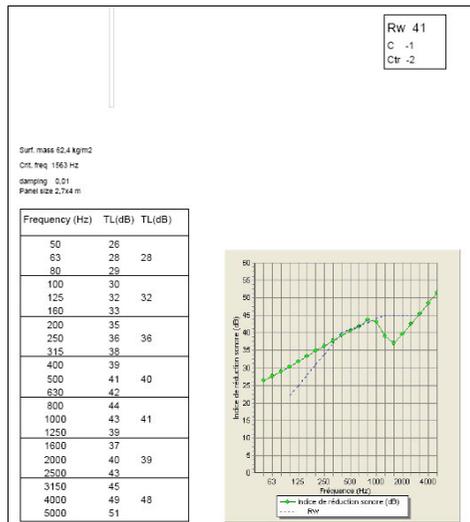
Spécification NF EN 31-089 (in situ) sur écran

Le modèle proposé se veut innovant dans les matériaux employés en limitant au maximum la matière présente dans l'ouvrage. Le poids de l'écran, sa stabilité structurelle et son coût sont dès lors également « optimisés ». Il est donc nécessaire de vérifier que les matériaux employés et l'ouvrage proposé répondent aux exigences des normes en vigueur en terme de transmission acoustique.

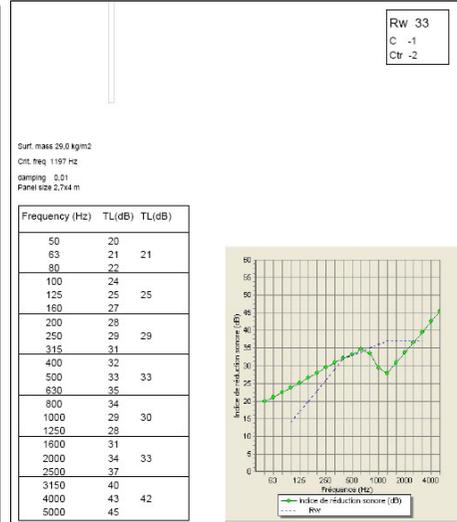
3.1 Efficacité intrinsèque en transmission des matériaux proposés

Les matériaux envisagés pour la réalisation du concept de protections anti-bruit sont de l'acier plié (tôle, aluminium) ou du béton moulé pour l'ouvrage et du méthacrylate pour la partie supérieure. A partir des épaisseurs minimales envisagées au niveau de la tenue de l'ouvrage en structure, nous avons calculé les indices d'affaiblissement acoustiques obtenus suivant la loi de masse :

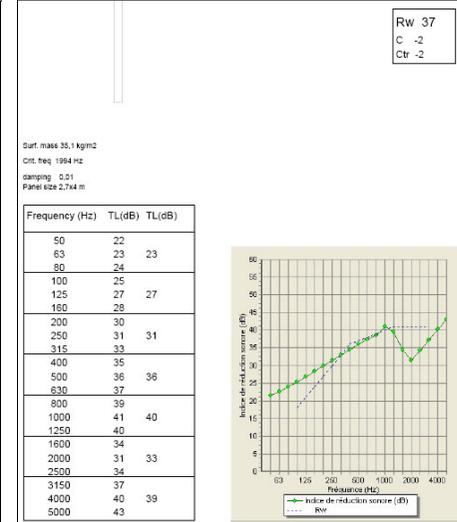
Matériau	Caractéristiques intrinsèques des matériaux						Caractéristiques du modèle		
	Masse volumique	Module d'élasticité instantané	Pertes internes en flexion	Fréquence critique pour une épaisseur d'1 cm	Célérité des ondes longitudinales	Coefficient de Poisson	Epaisseur minimum matériau (mm)	Masse surfacique kg/m ²	Indice d'affaiblissement acoustique Calculé (dB(A) route)
Acier	7800	2,1.10 ¹¹	2.10 ⁻³	1200	5200	0,43	8	62,4	39
Aluminium	2700	7,2.10 ¹⁰	1.10 ⁻⁴	1200	5200	0,34	10	29	31
béton	2300	2,3.10 ¹⁰	2.10 ⁻²	2000	3200	0,15	15	35	35
Méthacrylate	1200	3.10 ⁹	4.10 ⁻²	3000	2000	0,39	5	17	29



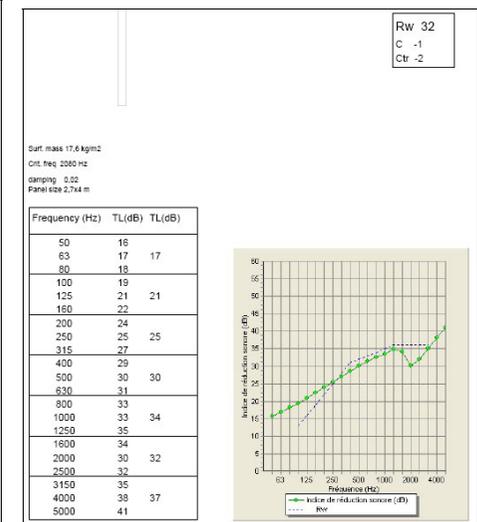
Acier



Aluminium



Béton



Méthacrylate

Pour les différentes épaisseurs minimales envisagées, on obtient des indices d'affaiblissement supérieurs aux valeurs limites (27 ou 30 dB (A) / TLR de la norme NFS31-089) généralement demandé. Comme souvent pour les écrans acoustiques, l'épaisseur des matériaux est dictée par les contraintes statiques de l'ouvrage ce qui constitue une sécurité pour la transmission acoustique.

3.2 Efficacité intrinsèque en transmission de l'ouvrage proposé

Fabrication des modules

Module en béton

Le module en béton sera réalisé à partir d'un procédé de coulage de béton à l'intérieur d'un moule délimité par des profilés en aluminium. La disposition des profilés dans le moule vise à permettre la réalisation de modules de dimensions différentes.

Suivant ce procédé, le module obtenu aura une étanchéité acoustique certaine

Module en acier (tôle, aluminium)

Suivant le principe de l'origami, le module en tôle est fabriqué par pliage d'une plaque de tôle uniforme. L'efficacité acoustique du module obtenu est donc liée à l'efficacité acoustique du matériau employé.

Assemblage des modules constitutifs de l'ouvrage.

La solution retenue pour le modèle présenté est l'aménagement de panneaux d'écrans sur une semelle superficielle filante : les modules préfabriqués en tôle ou en béton sont assemblés les uns aux autres et fondés dans une semelle en béton. Il n'y a pas de poteaux de maintien dans le modèle présenté, les efforts sont directement transmis à la semelle par la structure porteuse du panneau préfabriqué.

Les possibilités de pertes acoustiques se situent dès lors au niveau de la jointure entre 2 modules préfabriqués et dans une moindre mesure au niveau de la fixation au sol :

- Fixation des modules au niveau du sol

Les modules assemblés seront fixés directement dans la longrine filante en béton armé prévue tout le long de l'ouvrage (pas de soubassement prévu).

Pour les fondations de l'ouvrage, la nature de chaque sol dictera la nécessité de mettre en place des micros pieux ou plus simplement une semelle filante.

- Assemblage des modules entre eux

- Assemblage des modules préfabriqués

Le module type préfabriqué aura une largeur type de 2.3 m et une hauteur de 2.4 m. Suivant le concept proposé, ces dimensions varient légèrement d'un module à l'autre.

Chacun des côtés du panneau préfabriqué sera réalisé en offrant une surface plane et lisse sur laquelle un joint d'étanchéité viendra se loger. L'assemblage de 2 modules entre eux devra se faire avec écrasement du joint de façon à éviter des fuites acoustiques.

On utilisera un joint en élastomère adapté en milieu extérieur et présentant des caractéristiques suffisantes de gonflement à l'écrasement (joint de type Compriband d'au moins 3 cm de largeur)

La mise en place du joint sera faite sur le chantier et demandera comme pour tous les écrans une application soignée.

Après la pose du joint, les modules seront boulonnés entre eux suivant le principe du schéma ci-dessous :

Les points de fixation ne devront en aucun cas dégrader les performances acoustiques en transmission de l'ouvrage

- Assemblage de la partie supérieure transparente sur les modules préfabriqués

Des panneaux préfabriqués en méthacrylate seront fixés sur le module préfabriqué en plusieurs points d'appui (pas de prise en feuillure prévue). On prévoira une surface de recouvrement permettant à la fois la fixation de la plaque (prévoir la dilatation) et la mise en place d'un joint en élastomère (de 3 cm de largeur au moins).

Les points de fixation ne devront en aucun cas dégrader les performances acoustiques en transmission de l'ouvrage

4 Efficacité acoustique en absorption

Les exigences réglementaires

Spécifications relatives à l'absorption acoustique (normes NF EN 1793 et NFS 31-089)

	Indice minimal d'évaluation de l'absorption $DL\alpha$ en dB(A)	Catégorie d'isolation
Ecran ou paroi simple présentant des réflexions vers des zones non protégées	$DL\alpha \geq 4$ dB(A)	A2
Ecran parallèles, mur de trémie, tranchées...	$DL\alpha \geq 8$ dB(A)	A3 ou A4
Tunnel, couverture	$DL\alpha \geq 12$ dB(A) (ou $DL\alpha \geq 8$ dB(A) si justification particulière*)	A4 (ou A3 si justification particulière*)

Spécification NF EN 1793 (en laboratoire) sur matériau

	Perte locale minimale d'énergie en réflexion TL_R en dB(A) « route »
Ecran ou paroi simple présentant des réflexions vers des zones non protégées	$TL_R \geq 3$ dB(A)
Ecrans parallèles, mur de trémie, tranchée	$TL_R \geq 5$ dB(A)
Tunnel, couverture	$TL_R \geq 9$ dB(A) (ou $TL_R \geq 5$ dB(A) selon les configurations*)

Spécification NF EN 31-089 (in situ) sur écran

Le modèle proposé n'est pas un écran plan, à ce titre il déroge aux normes en vigueur. La face de l'ouvrage situé du côté de l'infrastructure présente plusieurs surfaces planes non parallèles et orientées différemment les unes des autres. La réflexion acoustique du bruit généré par l'infrastructure ne se fait donc pas de façon perpendiculaire à la route. La mise en place de matériaux absorbant sur certaines de ces surfaces donne un caractère absorbant et diffusant à l'ouvrage. Au final l'ouvrage préconisé a donc un rôle à la fois de diffusion et d'absorption acoustique, il devra donc être testé in situ suivant des critères de diffusion acoustique et pas suivant les critères d'absorption acoustique habituels.

Nota : On signale également la norme européenne CEN TS 1793-4 qui permet d'évaluer les performances acoustiques des couronnements absorbants.

4.1 Efficacité intrinsèque en absorption des matériaux envisagés

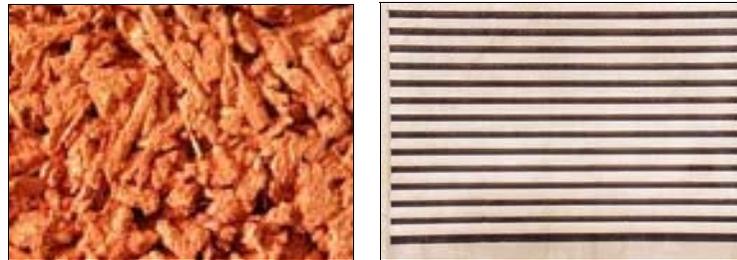
Deux matériaux absorbants sont adaptés suivant les 2 types de matériaux proposés pour les modules préfabriqués :

- Dalettes en béton de bois pour le module préfabriqué en béton
- Dalettes en aluminium ou mousse d'aluminium pour le module préfabriqué en tôle.

L'épaisseur des modules en béton ou en tôle étant différentes, il faut des matériaux adaptés à chacun des cas.

Dalettes en béton de bois ou béton de pouzzolane

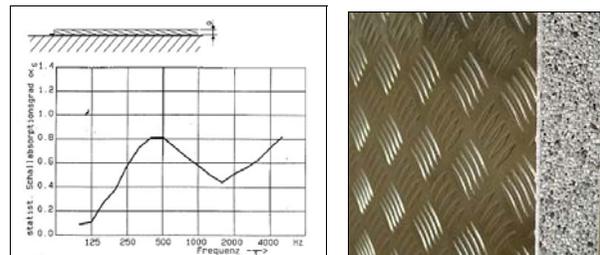
Les dalettes absorbantes type béton de bois présentent l'avantage d'être un des produits alliant efficacité acoustique et coût du matériau. Comme pour tous les écrans acoustiques le coût de l'absorbant ne sera loin d'être négligeable dans le coût de l'ouvrage.



Béton de bois

Dalettes en mousse d'aluminium

Le choix d'un module de base en tôle nous conduit à mettre en place un matériau absorbant d'épaisseur moins importante que des dalettes en béton de bois. Nous proposons donc la fixation de dalettes d'aluminium de type mousse d'aluminium. Ce système allemand a des performances acoustiques suffisantes et adaptées au modèle proposé.



Dalette 9 mm en mousse d'aluminium (Alporas)

4.2 Efficacité intrinsèque en absorption de l'ouvrage envisagé

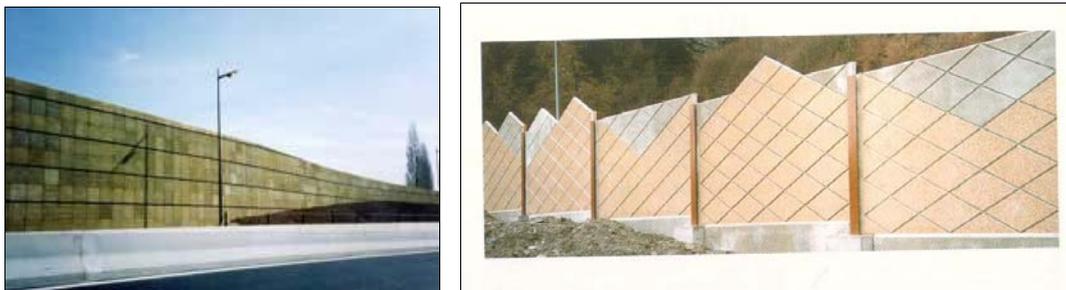
Ce modèle d'écran non plan se situe hors du domaine d'application de la norme NF EN1793-1, l'indice unique d'évaluation de l'absorption acoustique $DL\alpha$ n'est pas vérifiable

Matériau absorbant sur module préfabriqué en béton

Sur le modèle de base, les surfaces absorbantes ont des formes de « triangle ». Rendre ces parties absorbantes nécessite la mise en place d'un matériau pouvant être moulé avec le préfabriqué ou pouvant être « découpé » et appliqué facilement. L'emploi du béton nous conduit naturellement à préconiser la mise en place de dalettes absorbantes en béton de bois ou en béton de pouzzolane.

Ces dalettes, fournies généralement en plaque rectangulaire de 50 cm / 80 cm, auront au minimum une épaisseur de 5 cm. Afin de ne pas « rajouter » un matériau de cette épaisseur en parement du préfabriqué, il sera nécessaire de prévoir l'emplacement du matériau lors du moulage du préfabriqué. Les dalettes seront ensuite fixées sur le préfabriqué par une fixation mécanique n'altérant pas l'efficacité de l'ouvrage en transmission.

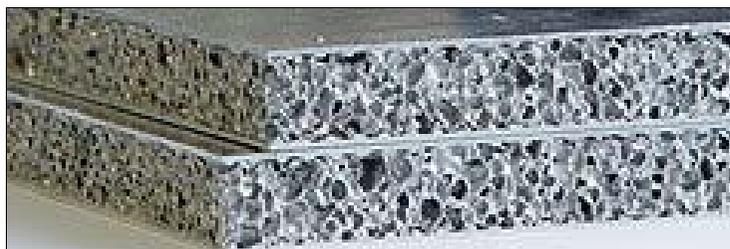
Leur mise en place de dalettes de 5 cm d'épaisseur permettra d'atteindre une classe d'efficacité au moins de niveau A2 pour les écrans bas et A3 pour les écrans de grande hauteur compte tenus de la configuration de l'écran. A noter que toutes la surface du modèle proposé pourrait éventuellement être équipé d'absorbant, ce qui devrait permettre d'accroître les performances.



Dalettes en béton de bois

Matériau absorbant sur module préfabriqué en tôle

Les dalettes de mousse d'aluminium peuvent être fixé directement sur une surface plane réfléchissante et offrir une efficacité en absorption correcte. Dans le modèle proposé, celle-ci seront découpés et fixés sur le module préfabriqué en tôle. L'épaisseur minimale de ces dalles est de 9 mm, ce qui aura tendance à offrir une sorte d'effet de matriçage de la surface de l'écran.



Dalette 9 mm en mousse d'aluminium (Alporas)

Couronnement absorbant

Un couronnement absorbant doit impérativement être réalisé à l'aide d'un matériau absorbant.

Le modèle proposé dans sa configuration la moins haute est prévu avec la possibilité de mettre en place un couronnement absorbant. Ce procédé courant permet de limiter la hauteur d'un ouvrage (donc son coût au niveau de la matière employée et de ses fondations). Il est particulièrement adapté pour les zones où le bâti est proche des voies comme les points noirs bruit. L'efficacité maximale obtenue (de l'ordre de 2 dB(A)) se situe immédiatement derrière l'écran au niveau d'un rez de chaussée (« augmentation » de la zone d'ombre acoustique).

Pour être efficace un couronnement absorbant doit présenter une longueur continue et une largeur de l'ordre de 30 et 40 cm.

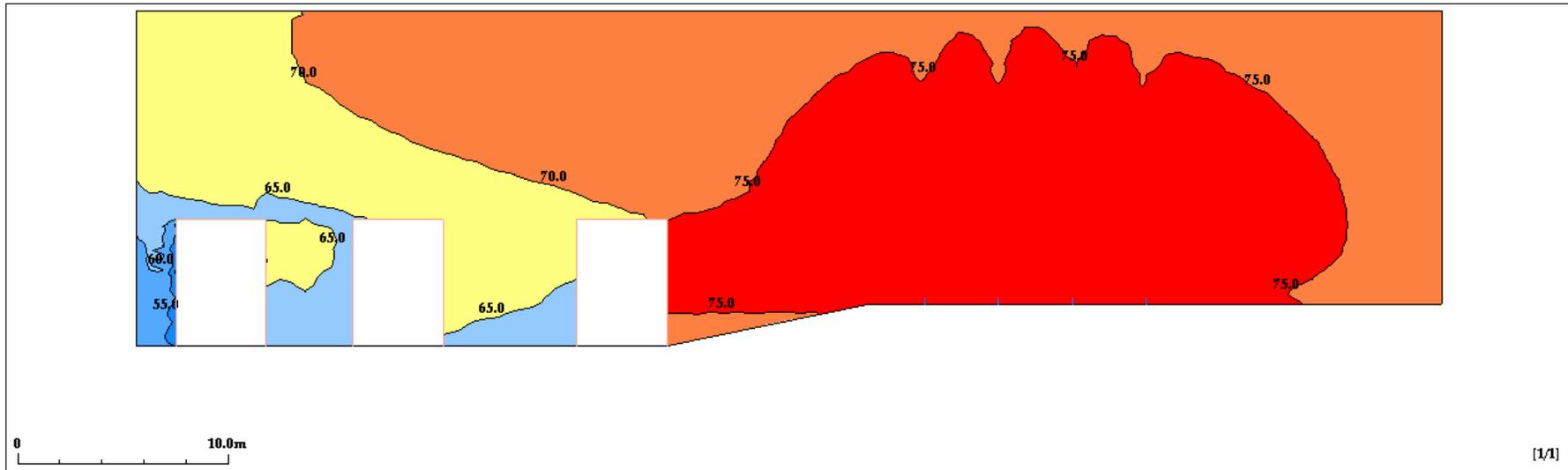
Conformément aux préconisations précédentes, deux types de couronnement sont à envisagés :

- Un couronnement en dalettes de béton de bois sur les modules d'écrans préfabriqués en béton. Celles-ci pourront être fixés sur l'ouvrage ou bien également préfabriqué par moulage. L'épaisseur de ces dalles sera également de 5 cm.
- Un couronnement en mousse d'aluminium sur les modules d'écrans préfabriqués en tôle. Celles-ci seront fixées sur l'ouvrage. Leur épaisseur pourra être optimisé.

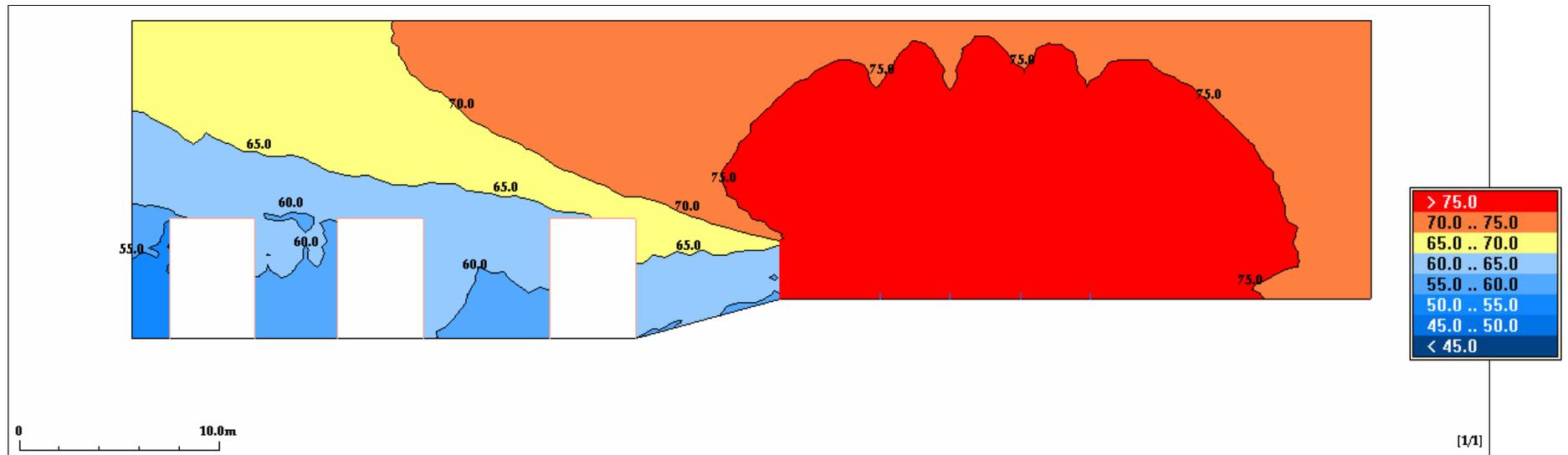
4 Simulation par calcul

4.1 Efficacité en transmission

Modèle n°1 – coupe de bruit verticale –(Logiciel Mithra)

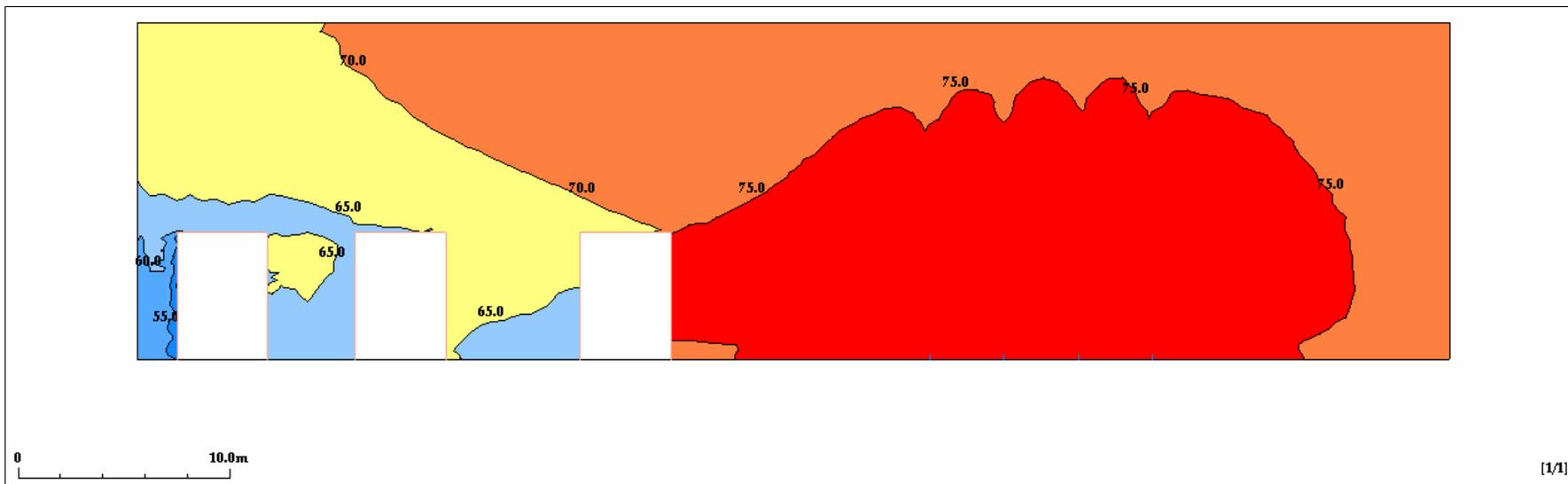


Situation sans protection

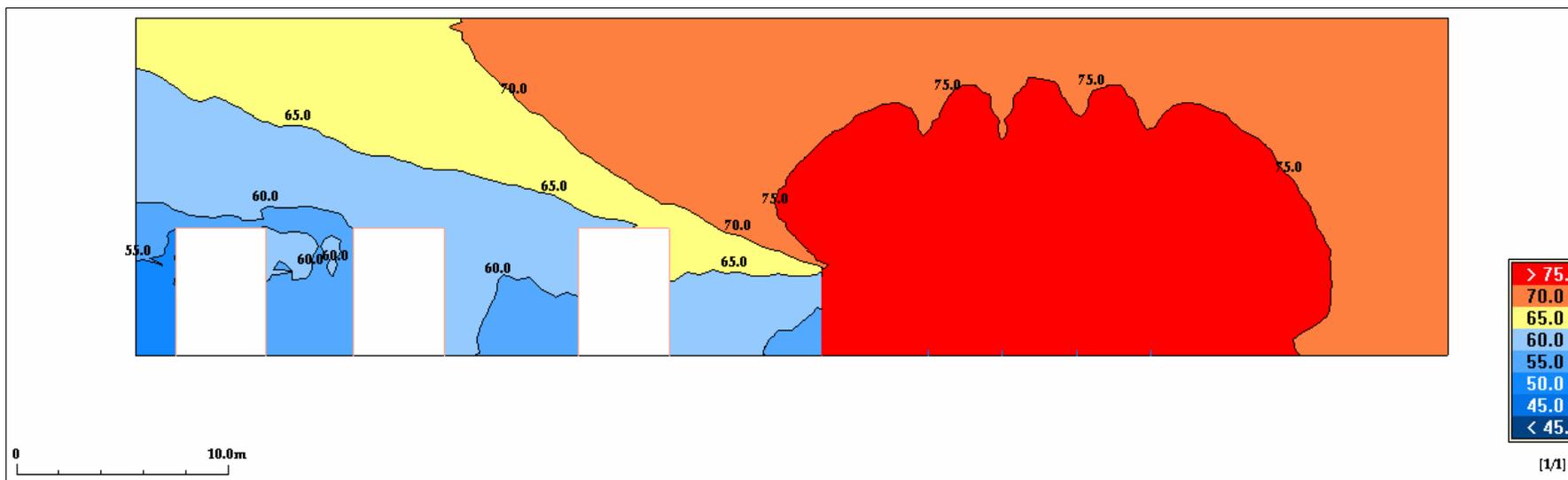


Situation avec protection

Modèle n°2 – coupe de bruit verticale – Logiciel Mithra



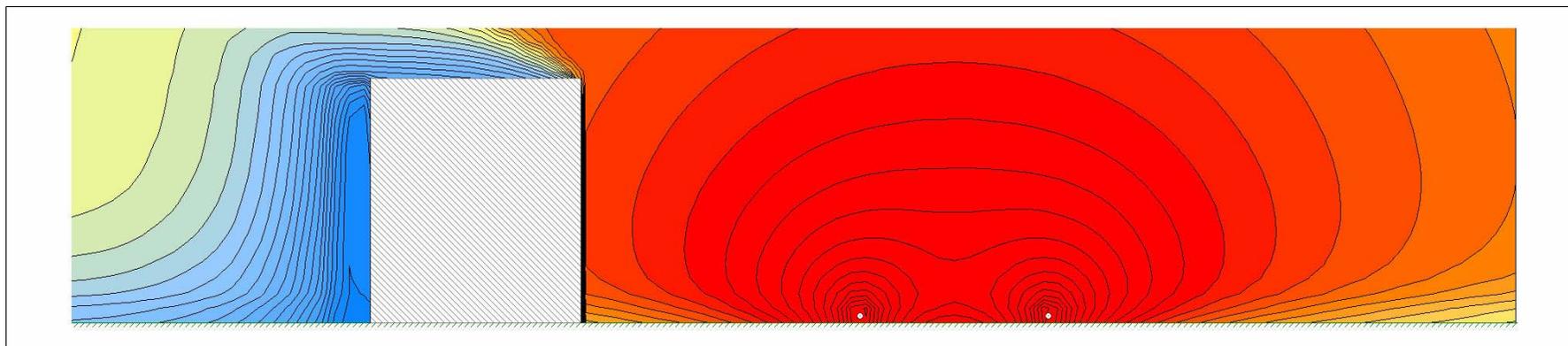
Situation sans protection



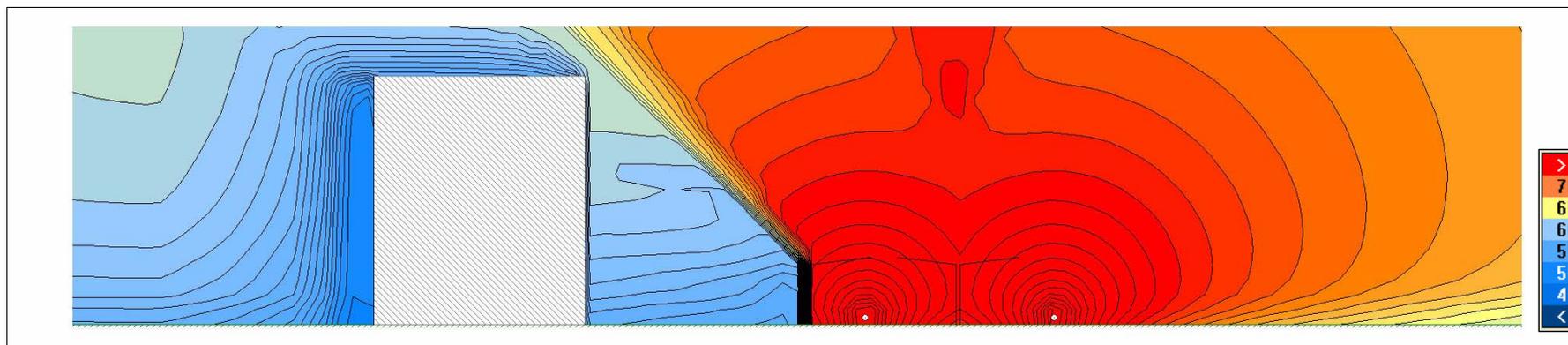
Situation avec protection



Modèle n°3 – coupe de bruit verticale –Logiciel Cadna)



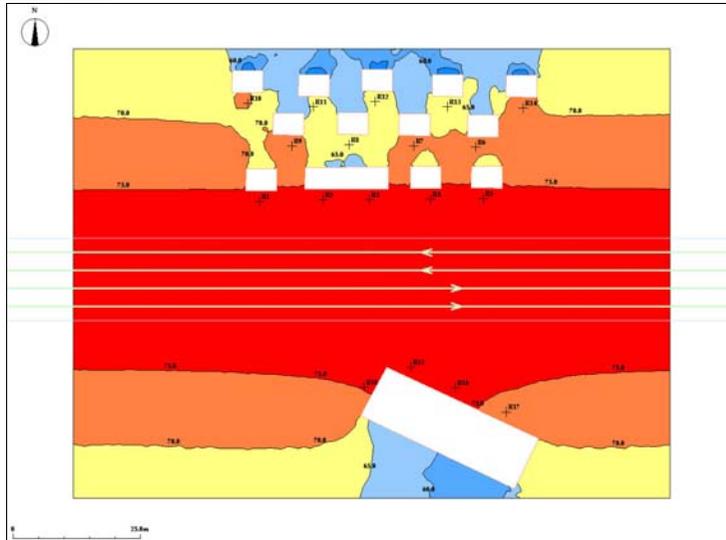
Situation sans protection



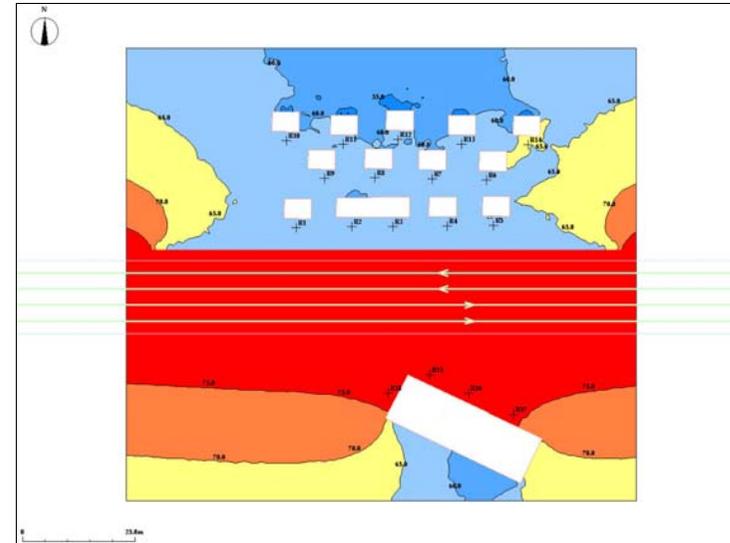
Situation avec protection



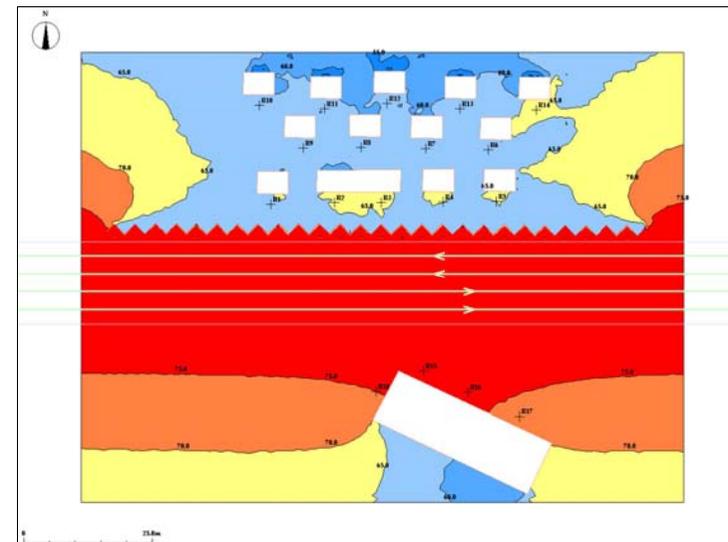
4.2 Efficacité en absorption



Situation sans protection



Situation avec écran droit absorbant « classique »



Situation avec modèle n°2



LUMIERES

Diagnostic visuel et stratégie visuelle

DIAGNOSTIC VISUEL

Ergonomie visuelle des murs de protection anti-bruit

Stratégies de la représentation et de la dissimulation

Stratégie de la disparition et de la dissimulation

Stratégie de l'interaction et de la transparence

STRATEGIES VISUELLES

Stratégie de mise en valeur des murs anti-bruit

Charte visuelle et graphique

Charte lumière

Charte chromatique

ERGONOMIE VISUELLE DES MURS DE PROTECTION ANTI BRUITS

Les infrastructures, les ouvrages d'arts, comme en particulier, les murs de protections anti-bruit s'intègrent à un environnement spatial, urbain, rural ou paysager qu'il y a lieu de prendre en compte dans l'organisation des informations visuelles liées aux activités des usagers, comme dans une certaine mesure des riverains, de jour comme de nuit.

Hormis les tunnels où l'éclairage artificiel procède d'une nécessité autant diurne que nocturne, en règle générale les ouvrages d'art des infrastructures routières, et les voies rapides Sud Loire ne font pas exception, n'ont qu'une *existence diurne*. L'absence *d'existence et d'expression nocturne* des infrastructures est significative de la pensée *exclusivement diurne* des aménagements.

En règle générale, les ouvrages d'art sont conçus selon trois modes ou stratégies d'expressions visuelles diurnes :

- . La stratégie de l'**apparition** et de la **représentation** visuelle de l'ouvrage, en contraste spectaculaire avec le paysage,
- . La stratégie de la **disparition** et de la **dissimulation** ou *camouflage* de l'ouvrage se fondant dans le paysage,
- . La stratégie de l'**interaction** et de la **transparence** avec les abords et ...réciproquement (?). Et on peut distinguer *transparences partielles et continues*.

OUVRAGE D'ART
VISION DIURNE
Point de vue intérieur usager

Stratégie de la « représentation »
Surfaces peintes et clarté réfléchissantes



L'ouvrage se distingue et s'affirme dans le paysage (et en concurrence de la signalétique).

OUVRAGE D'ART
VISION DIURNE
Point de vue intérieur usager

Stratégie de la « dissimulation »
Surfaces grises et absorbantes



L'ouvrage s'efface et se fond dans le paysage.

MUR ANTI BRUIT**VISION DIURNE**

Point de vue intérieur usager

Stratégie de la « représentation »

Ouvrage d'art travaillé développant des formes architecturées remarquables. Jeu de surfaces visuellement réfléchissantes et absorbantes (Opacité visuelle).



L'ouvrage s'impose dans le paysage.

Le vis-à-vis et l'opacité de l'ouvrage introduit une sensation d'isolement et d'enfermement renforçant le sentiment de clausturation et l'affirmation de deux espaces, *deux mondes* : Le « monde intérieur »...

MUR ANTI BRUIT**VISION DIURNE**

Point de vue extérieur riverain

Stratégie de la « représentation ? »

L'envers (moins travaillé !) du *décor*...
Qui enferme qui ?



L'ouvrage s'impose aussi dans le paysage.

... Et le « monde extérieur » à l'infrastructure...

MUR ANTI BRUIT
VISION NOCTURNE
Point de vue intérieur usager

Stratégie de la « dissimulation »
Pas d'existence nocturne...
... ou fortuite.



De nuit, les murs passent nettement plus inaperçus et se fondent dans l'obscurité ambiante.

L'éclairage public (?*) de la voie lui donne une *présence*... fortuite mais pas construite.

(?*) Pourquoi la voie rapide n'est éclairée que partiellement ? Doit-on éclairer cette portion de la voie rapide Sud Loire ?

MUR ANTI BRUIT
VISION DIURNE LOINTAINE
Point de vue intérieur usager

Stratégie de la « dissimulation »

Surfaces sombres et absorbantes. Couleur camouflage



L'ouvrage s'efface et se fond dans le paysage

MUR ANTI BRUIT
VISION DIURNE RAPPROCHEE
Point de vue intérieur usager

Stratégie de la « dissimulation »

Surfaces sombres et absorbantes. Couleur et camouflage végétal



L'ouvrage s'efface et se fond toujours dans le paysage

MUR ANTI BRUIT
VISION DIURNE LATÉRALE
Point de vue intérieur usager



L'interaction de l'architecture de l'ouvrage, de la vitesse et de la vision latérale (celle ne rentrant pas dans le champ de la vision centrale de l'utilisateur conducteur), seule réservée aux passagers, offre une *animation visuelle aux vibrations cinétiques* qui reste peut exploitée, ni de jour ni de nuit.

L'ouvrage fait *écran visuel* mais aussi *écran d'animation visuelle*

MUR ANTI BRUIT

VISION DIURNE

Point de vue intérieur usager

Stratégie de la « transparence » continue
Surfaces grises réfléchissantes



L'ouvrage de franchissement offre une lisibilité des extérieurs qui diminue l'effet de claustration et favorise la relation visuelle aux abords, entre les deux « mondes ». Transparence visuelle relative mais physiquement et psychologiquement utile

MUR ANTI BRUIT

VISION DIURNE

Point de vue extérieur riverain

Stratégie de la « transparence »... partielle
Quels en sont les avantages ? et pour qui ?



Une « fenêtre visuelle » sur un monde... clos ?
Très relative transparence visuelle, physiquement et psychologiquement inutiles !

MUR ANTI BRUIT
VISION DIURNE
Point de vue extérieur riverain

Stratégie de la « transparence » continu
... et ... réciproquement...Pour qui ?



Cependant du point de vue de l'extérieur et des riverains, cette stratégie de la transparence peut s'avérer peu intéressante, voir même produire une nuisance visuelle.

MUR ANTI BRUIT
VISION NOCTURNE
Point de vue extérieur riverain

Stratégie de la « transparence » continu



De nuit, même si cette stratégie de la transparence offre une animation visuelle, quelques reflets et brillances fugitives. Cela ne produit finalement que des nuisances visuelles.

CONCLUSION DIAGNOSTIC VISUEL

Toute infrastructure, par essence et par nécessité, introduit à un sentiment d'insécurité. Du point de vue sensoriel, le mur anti-bruit introduit une sensation d'isolement et de clausturation qu'il y a lieu de compenser visuellement de jour comme de nuit.

De ces trois stratégies d'expressions visuelles, celle de l'*apparition* et de la *représentation* en contraste spectaculaire avec le paysage, est pour nous la plus franche, la plus cohérente et lisible. Les murs anti-bruits n'ont pas à se dissimuler, c'est dans l'expression et l'affirmation de leur existence autant diurne que nocturne qu'ils prendront leur pertinence, s'intégreront à l'environnement et atténueront la nuisance.

STRATEGIE DE MISE EN VALEUR DES MURS ANTI BRUITS

Les murs de protections anti-bruit s'intègrent à un environnement spatial, urbain, rural ou paysager qui fait partie intégrante de la l'organisation des informations visuelles liées aux activités des usagers.

Ils sont conçus selon la stratégie de l'*apparition* et de la *représentation visuelle* de l'ouvrage, en contraste spectaculaire avec le paysage.

Les murs anti-bruits ont une existence et une expression autant diurne que nocturne.

Le mur s'affirme comme une œuvre, un ouvrage d'art à part entière : il est *visible* et *animé* :

1. ***Visible pour le monde intérieur de l'usager*** mais aussi ***visible pour le monde extérieur du riverain***
2. ***Visible de jour comme de nuit***
3. ***Animé dans le temps*** par l'activité routière.
4. ***Animé dans l'espace*** par l'action des phares sur l'architecture du mur. Il devient un élément d'animation pour les automobilistes
5. ***Animé par le pli vibrant de l'ombre et de la lumière.***

Le mur de protection anti-bruit est fondé sur une charte visuelle graphique, sur une charte couleur et sur une charte lumière qui en orientent et dirigent les applications.

Charte visuelle et graphique

Principe de construction de l'information visuelle

La lisibilité et la cohérence visuelle des murs anti-bruit, leur mise en valeur est organisée selon une hiérarchie qui distingue les visions diurnes et nocturnes qui conditionnent leur perception photopique ou scotopique ; les visions intérieures, en mouvement, des usagers et les visions extérieures, statiques, des riverains ; les visions lointaines, rapprochées et latérales.

Les murs anti-bruits développent un jeu de formes architectoniques structurées autour du **pli** et de **faces** se déployant dans l'espace. Cette structure est fondée sur un graphisme **bi plans, bi plis, bi faces unies**.

Vision diurne

De jour, ils seront animés par le jeu de faces absorbantes ou réfléchissantes et blanches ou colorées :

- . Une face absorbante et réceptrice exposée à l'automobiliste
- . Une face réfléchissante et réflective cachée à l'automobiliste

Vision nocturne

Les murs anti-bruits ne sont pas éclairés, ils sont animés par le jeu des formes et des faces qui seront absorbantes ou réfléchissantes et blanches ou colorées. Ils seront également animés par le jeu d'une signalétique réfléchissante et colorée, activée par les phares des usagers.

Visions intérieures, en mouvement, de l'usager

Pour le point de vue de l'usager, l'interaction de la forme architecturale de l'ouvrage et de la vitesse crée une *animation visuelle aux vibrations cinétiques* qui sera exploitée de jour comme de nuit.

Vision lointaine :

L'interaction de la forme architecturale, de la vitesse et la vision centrale de l'usager conducteur, crée une *signalétique visuelle* qui peut entrer dans le registre de la *signalisation routière* : seule les faces *réceptrices* sont exposées à la vision centrale, en mouvement, du conducteur et signalent les formes architectoniques de l'ouvrage.

- . Une face réceptrice est exposée à l'automobiliste : blanche et balisée
- . La face réflective est cachée en vision lointaine

Vision rapprochée :

Les phares des automobiles ont une émission périphérique, comme le champ visuel du conducteur à une perception périphérique, qui agissent pour l'un sur l'espace et les abords, pour l'autre sur l'information visuelle. L'interaction de la forme architecturale, de la vitesse et la vision rapprochée de l'usager conducteur, crée une *signalétique visuelle* qui entre encore dans le registre de la *signalisation routière* : seule les faces *réceptrices* sont encore exposées à la vision périphérique, en mouvement, du conducteur et signalent les formes architectoniques de l'ouvrage.

- . Une face réceptrice exposée à l'automobiliste : blanche et balisée
- . Une face réflective se révèle en vision rapprochée : en réflexion colorée

Vision latérale nocturne

L'interaction de la forme architecturale, de la vitesse et de la vision latérale (celle ne rentrant pas dans le champ de la vision centrale de l'usager conducteur), seule réservée aux passagers, crée une *animation visuelle aux vibrations cinétiques* qui sera exploitée de jour comme de nuit : les deux faces *réceptrice* et *réflective* sont exposées à la vision latérale, en mouvement, du passager.

Vision extérieure, statique, du riverain

Les formes et faces extérieures des murs anti-bruits peuvent être parfois animés et mis en valeur par la lumière pour les riverains, mais uniquement en zone urbaine, et jamais en zone rurale.

Charte lumière

Principes de construction lumière

Le traitement des murs est fondé sur l'exploitation visuelle des caractéristiques optiques des matériaux et des revêtements utilisés. De jour comme de nuit, ce sont les surfaces qui font la lumière.

Point de vue intérieur, en mouvement, de l'utilisateur :

Pour le point de vue de l'utilisateur, l'interaction de la forme architecturale de l'ouvrage, de la vitesse et de la signalétique rétro réfléchissante créent une *animation visuelle aux vibrations cinétiques* qui sera exploitée de jour comme de nuit.

Les murs anti-bruits ne sont pas éclairés. Ils ne sont jamais éclairés pour le point de vue intérieur des usagers.

Les murs anti-bruits sont animés. Par l'interaction de l'éclairage des automobiles sur les formes, les plis et les faces absorbantes ou réfléchissantes et blanches ou colorées du mur.

Ils sont animés par l'interaction de l'éclairage des automobiles sur une trame de surfaces ou balises rétro réfléchissantes, intégrées aux plis et aux faces du mur.

Cette trame de balises rétro - réfléchissantes marque tous les angles constructifs du jeu de plis, à savoir : la base, le sommet et l'extrémité du bec.

Ces balises rétro réfléchissantes sont blanches et colorées, elles suivent la bi-chromie de la charte couleur : elles sont blanche pour la face réceptrice et Jaune pour la face réflective...

Point de vue extérieur, statique, du riverain :

Les formes et faces extérieures des murs anti-bruits peuvent être parfois animés et mis en valeur par la lumière pour les riverains, mais uniquement en zone urbaine, et jamais en zone rurale.

Les niveaux d'Eclairage verticaux ne devront pas dépasser 50 Lux et les niveaux de Luminance 200 cd/m² sur le sujet.

Charte chromatique

Principe de composition chromatique

La composition chromatique est fondée sur une **bi-chromie** appliquée au jeu de plans, de plis et de faces du mur :

- . Une face blanche réceptrice exposée au champ visuel de l'automobiliste
- . Une face colorée réflective cachée au champ visuel de l'automobiliste

Cette bi-chromie peut se décliner selon deux ou trois nuances de couleurs :

- . **Jaune et Blanc** (selon la nouvelle charte couleur de la métropole)

ou

- . **Vert et blanc** (selon l'ancienne charte couleur de la métropole)

ou

- . **Vert et Bleu** (selon la charte couleur de Saint Etienne Métropole)

VISION DIURNE

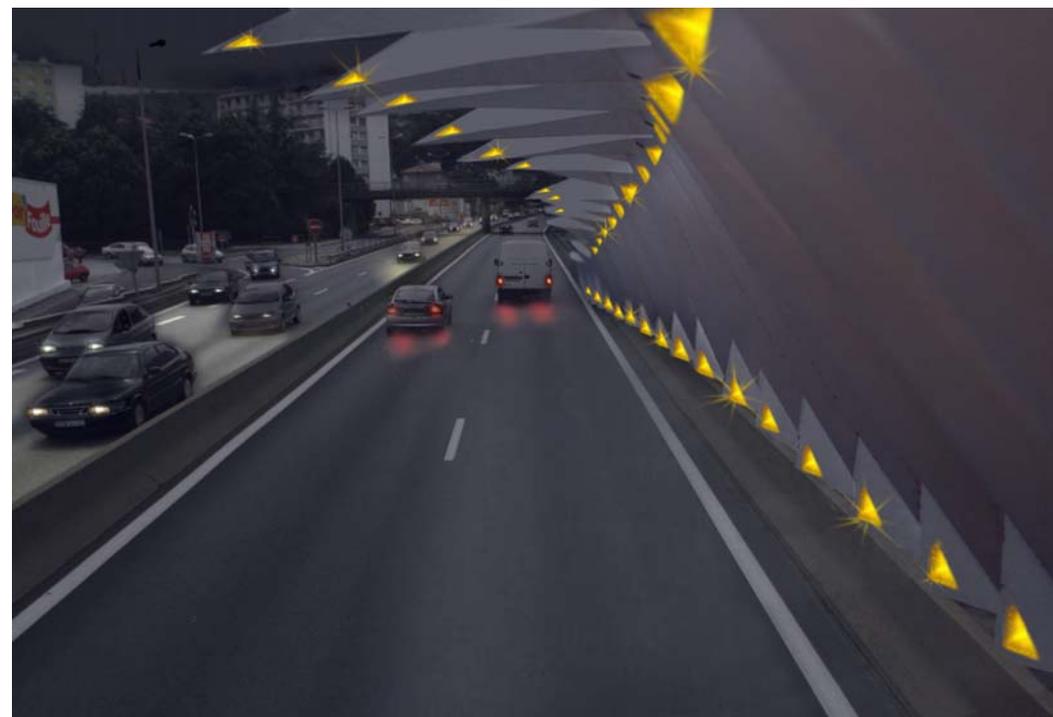
Point de vue intérieur de l'utilisateur



De jour, c'est le jeu des surfaces blanches réceptrices et des surfaces colorées sous l'effet de la lumière naturelle

VISION NOCTURNE

Point de vue intérieur de l'utilisateur



De nuit, les balises rétro réfléchissantes sont activées par les codes ou les phares des automobiles

VISION DIURNE

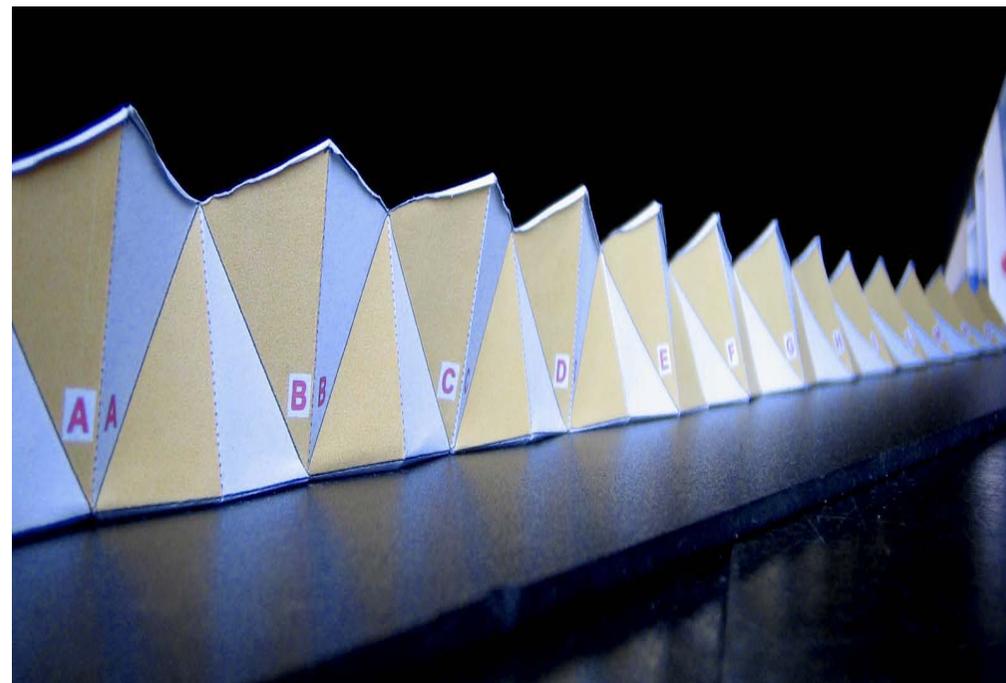
Point de vue Faces exposées A

VISION DIURNE

Point de vue Faces cachées A'

Les **faces blanches** sont **orientées dans le sens de la circulation** et exposées au champ visuel du conducteur

Les **faces colorées** sont **orientées dans le sens *inverse*** de la circulation et cachées au champ visuel du conducteur



VISION NOCTURNE

Mouvement 1

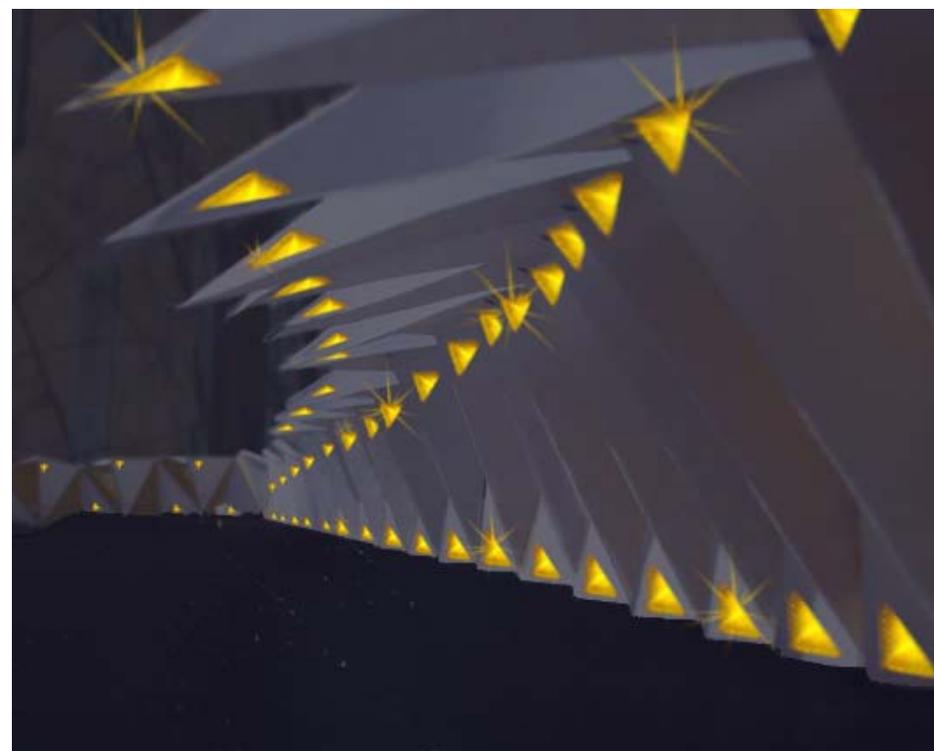
Les **balises rétro réfléchissantes** sont activées par les codes ou les phares des automobiles



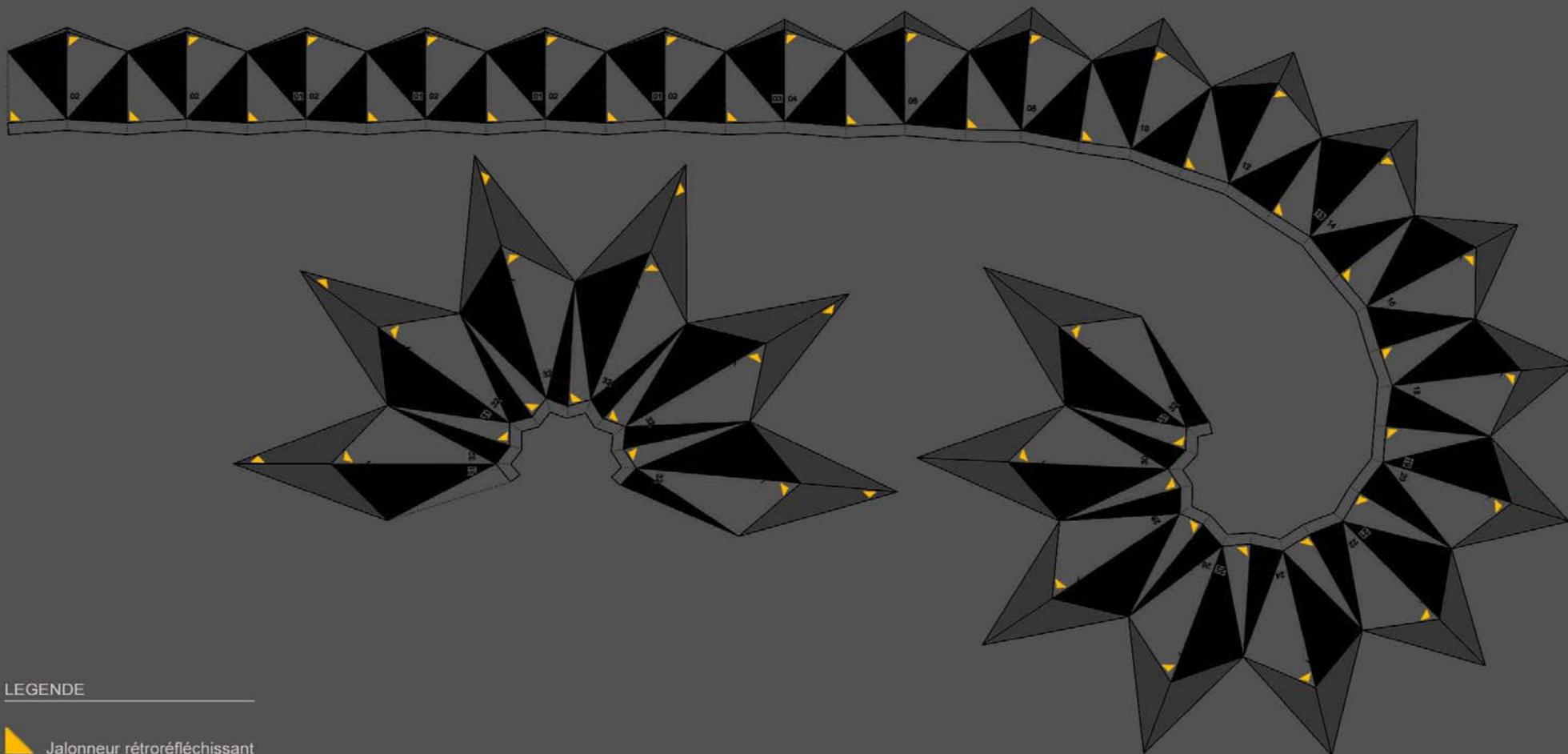
VISION NOCTURNE

Mouvement 3

Les **balises rétro réfléchissantes** sont activées par les codes ou les phares des automobiles



SIGNALETIQUE DYNAMIQUE
PLAN D'IMPLANTATION DES BALISES RETRO-REFLECHISSANTES

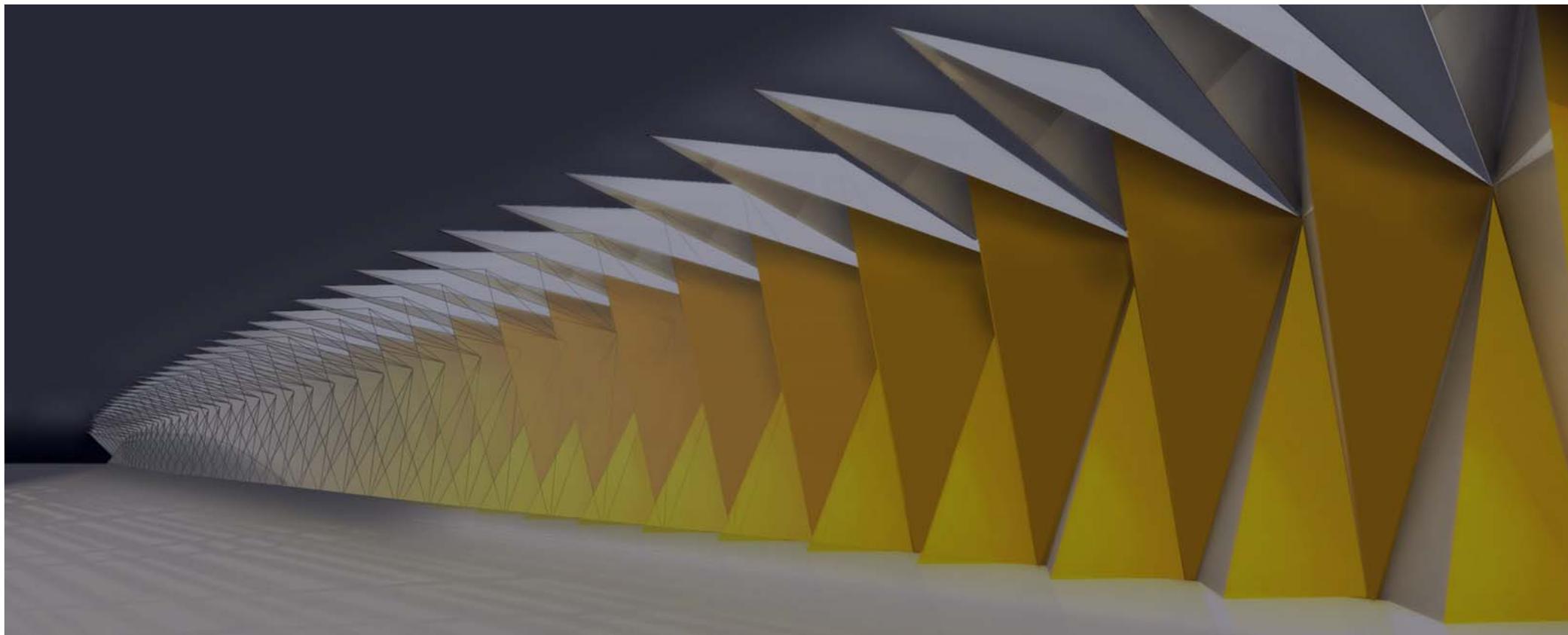


LEGENDE

 Jalonneur rétro-réfléchissant

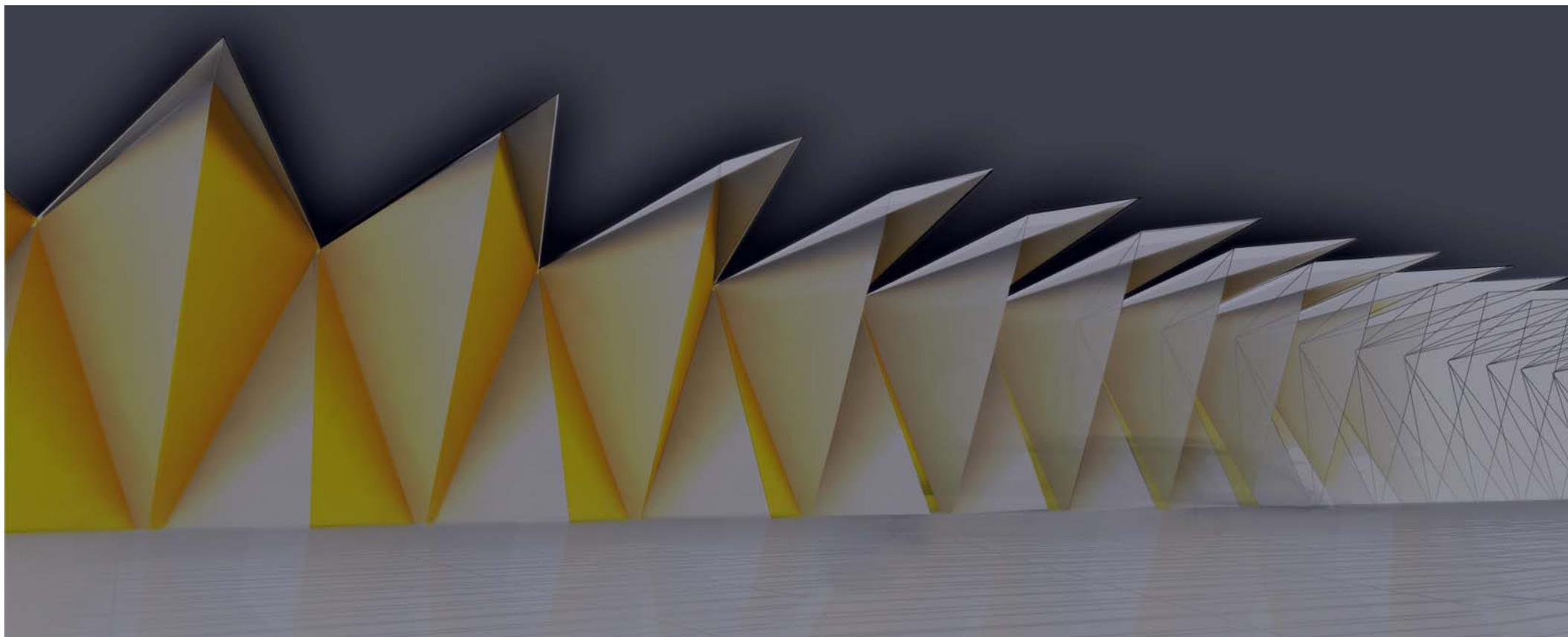
VISION NOCTURNE

Mouvement 3



VISION NOCTURNE

Mouvement 3



FICHE INSTRUMENT ECLAIRAGE PUBLIC

PROPOSITIONS RELATIVES À LA SIGNALÉTIQUE DES MURS ANTIBRUIT

FAMILLE

SIGNALÉTIQUE

FICHE
MATÉRIEL

LIEUX D'IMPLANTATION : MURS ANTIBRUIT

Voies rapides Sud Loire

INSTRUMENT TYPE :

MARQUE :

RÉFÉRENCE :

DÉSIGNATION : Jalonneur rétro-réfléchissant.

DESCRIPTION : Jalonneur composé d'un réflecteur fixé sur une plaque de PVC.

Dimensions : 110mm x70mm.

1- Couleur : Jaune et blanc.

2- Couleur : Vert et blanc

3- Couleur : Bleu et Vert.

SOURCES : Sans.

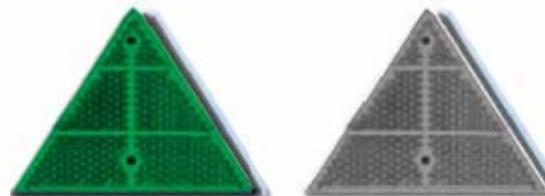
OPTIQUE : Prismatique rétro-réfléchissant.

SUPPORT : Sur panneaux de protection antibruit.

1



2



3



ESTIMATION des prix de construction d'assemblage et de pose

Matière	Densité ρ Kg/m3	Module élastique E GPa=109 N/m2	Type k	Dimensions		Épaisseur structurelle mm	Coût au Kg			Prix au mètre linéaire structure: Cs(k)		Prix au mètre lin.fondation		Prix au mètre lin.montage		Prix total au mètre lin. € /m.lin.	Prix total au m2 sans TVA €/ m2	
				hauteur m.	largeur mm		taux d'échanges SFr/Kg	SFr. 1.55 = 1 € total	€/Kg total	module type k	€/m.lin.	€/m.lin. L: 1.50 m H: 0.40+0.10 m	€/m.lin.	€/m.lin. prix struct.+ prix pan. au 15%				
Acier Fe	7800	210	5	3	3	matière	1.5	0.97		5	1467	340	410	3484	1161			
				10	4.5	3	fabrication	2	1.29		10	1703	340	476	3993	887		
				15	5.2	3	traitement surface	0.5	4	0.32	2.58	15	1767	340	565	4670	898	
Aluminium Al	2700	69	5	3	3	matière	4.5	2.90		5	900	340	325	2832	944			
				10	4.5	3	fabrication	2	1.29		10	1038	340	377	3228	717		
				15	5.2	3	traitement surface	0.2	6.7	0.13	4.32	15	1083	340	462	3883	747	
Béton HR BPR	2600	50-60	5	3	20	béton (SFr 1000/m3)	0.38	0.25		5	475	45	520	480	268	2535	845	
				10	4.5	20	profilés alu	7	4.52		10	550	68	618	480	314	2885	641
				15	5.2	20	avec utilisation de 10-15-20 m selon module k par m.lin.				15	572	90	662	480	399	3539	681

Surface au mètre linéaire: As(k)		Surface au mètre linéaire panneaux absorbant		Prix au mètre linéaire panneaux absorbant	
module				Prix au m2	€ 106 SFr. 165
type k	m2 /m.lin.	en % sur tot.	m2 /m.lin.	€/m.lin.	
5	23.9	50%	11.95	1266.7	
10	27.8	50%	13.9	1473.4	
15	29	65%	18.85	1998.1	

prix avec transport Japon-Europe compris

Table des matières

Composition de l'équipe	3
Avertissement	4
Titre: Runninghami	4
Hypothèse: De la protection acoustique a la requalification sonore du territoire	4
Enjeu paradoxal:Qu'un écran puisse servir à autre chose qu'à ce à quoi il sert	5
Présentation de la charte: Trois dossiers pour fonder une opération singulière	5
ADAPTABILITE, SIMPLICITE, EFFICACITE	
Dossier de définition technique d'une opération type	8
CONSTRUCTION Matériaux et procédés de fabrication	9
Variante métallique	9
Variante béton BPR (Béton Poudre Réactive)	10
Fondations	11
Montage et pose du système	12
Durabilité et entretien de la structure	12
STATIQUE Dimensionnement, Acier, Aluminium et BPR	14
Dimensionnement statique	14
Acier ou aluminium	14
Béton à haute résistance	15
Conclusion	16
ACOUSTIQUE Contraintes et performances	22
1. Les 3 modèles de concept design de protections anti-bruit	25
2. Géométrie du modèle proposé	22
3. Efficacité acoustique en transmission	22
4. Efficacité acoustique en absorption	30
5. Simulation par calcul	34
LUMIERES Diagnostic visuel et stratégie visuelle	35
Diagnostic visuel	36
Stratégies visuelles	45
ESTIMATION des prix de construction d'assemblage et de pose	55
Table des matières	56