Livre-blanc_Silence-Chantier

Roland Cahen, Bertrand Masson, Gaël Hiétin

To cite this version:

Roland Cahen, Bertrand Masson, Gaël Hiétin. Livre-blanc_Silence-Chantier. 2018. ⟨hal-04879242⟩

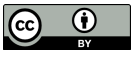
HAL Id: hal-04879242

https://hal.science/hal-04879242v1

Submitted on 10 Jan 2025

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons CC BY 4.0 - Attribution - International License

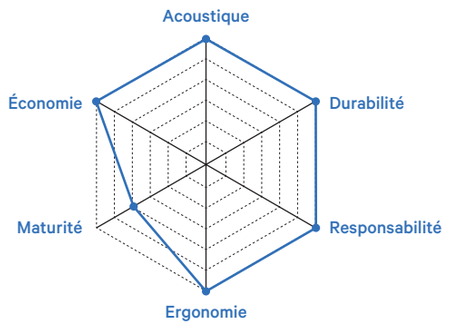
LIVRE BLANC SILENCE CHAN-TIER

Check list

Pour un chantier « silencieux »

Cette liste concerne l'ensemble des acteurs (MOA, MOE et EGC...). Chaque point renvoie aux méthodes et solutions développées dans le Livre Blanc *Silence Chantier*.

ÉVALUATION



Acoustique : qualité et performance acoustique.
Économie : critères de coût et modèle économique.

Maturité : disponible sur le marché, en cours de développement, innovation, prospectif.
Ergonomie : facilité d'usage et de déploiement.

Responsabilité : écologique, civique, sociale, éthique.
Durabilité : pérennité pendant et après le chantier.

☐ 1. ÉTUDIER

- ☐ Connaitre l'état acoustique initial de chaque site-chantier et sa sensibilité au bruit
- ☐ Réaliser une étude d'impact acoustique des différentes phases de chaque chantier
  - ☐ Optimiser les sources de bruit nécessaires et les flux de circulations
  - ☐ Planifier l'organisation du chantier (baraquements, stockages, écrans)
- ☐ Envisager les critères de labellisation et prendre des *Engagements de Garantie*
- ☐ Attribuer les *Points Bruit* pour chaque site/chantier
- ☐ Rédiger/prendre en compte le cahier des charges (NRE) adapté aux enjeux

☐ 2. ANTICIPER ET COMMUNIQUER

- ☐ Contacter les autorités locales et valider le dossier bruit
- ☐ Attribuer les responsabilités et fixer les délais de mise en place des protections acoustiques
- ☐ Diffuser le *Kit Riverain*
- ☐ Informer les riverains de chaque phase bruyante
  - ☐ avant
  - ☐ pendant
- ☐ Former les compagnons et les riverains au bruit

☐ 3. ORGANISER ET METTRE EN ŒUVRE

- ☐ Désigner les contacts in situ (agent de proximité, chuteur, maison du chantier)
- ☐ Déterminer les critères, modes de surveillance et procédures de corrections acoustiques
- ☐ Prendre en compte les mesures correctives prévues lors de l'étude d'impact
- ☐ Gérer les *Points Bruit*

☐ 4. AGIR ET RECUEILLIR

- ☐ Mettre en place les protections acoustiques avant le chantier (écrans, distances, choix des engins et procédés...)
- ☐ Mettre en place les protections acoustiques pendant le chantier (capotages, écrans, distances, organisation, horaires...)
- ☐ Surveiller le bruit, analyser communiquer les alertes aux décideurs
- ☐ Afficher et publier les données de bruit
- ☐ Mettre en œuvre les procédures de correction en cas d'alerte
- ☐ Recueillir les plaintes des riverains, y répondre et agir
- ☐ Récompenser les chantiers les moins bruyants en remettant le prix Silence Chantier

SILENCE CHANTIER

CARTOGRAPHIE

SILENCE CHANTIER Groupement — Société du Grand Paris — Grand Paris express

1 Checklist

2 Conception juridique – Points Bruit → II. B. ❶ 1.

3 Prix Silence Chantier → II. B. ❷ 3.

4 Formation pour les riverains et les compagnons → II. D. 1.

5 Kit riverain → II. D. 2.

6 Électrification → III. C. ❶ 1.

7 Powerstation fixe → III. C. ❶ 3.

8 Powerstation mobile → III. C. ❶ 3.

9 Powerpack mobile → III. C. ❶ 3.

10 Véhicule électrique → III. C. ❶ 1.

11 La Méduse de Bruitparif → II. C. 2.

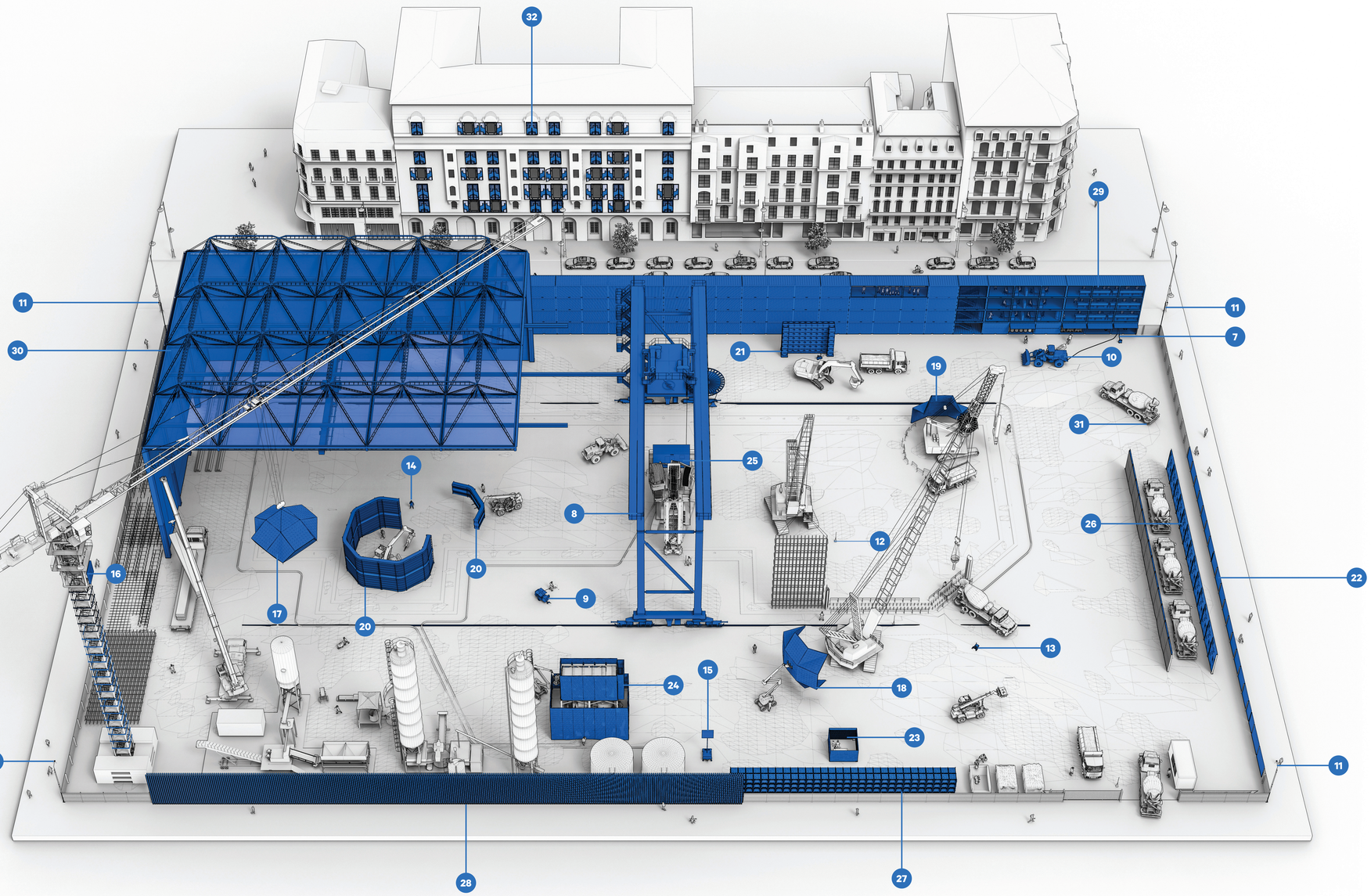
12 Les Acousticks → II. C. 5.

13 La Sentinelle → II. C. 4.

14 Le Chuteur → II. C. 3. b.

15 Le Chuteur « Bob le smiley » → II. C. 3. a.

16 L'équaligrue → II. C. 3. c.



34 Radio Chantier → III. C. ❷ 5.

33 Paravent acoustique → III. C. ❷ 4.

32 Volet acoustique et survitrage provisoire → III. C. ❷ 2.

31 Pschtt Pschtt — PSHTT-pshtt → IV.

30 Encoffrement complet du chantier → III. B. ❷ 3.

29 Conteneurs → III. C. ❷ 1.

28 Cristaux soniques et métamatériaux → III. C. ❷ 3.

27 Big Bags → III. C. ❷ 4.

26 Corridors acoustiques → III. C. ❷ 2. d.

25 Habillage des Powerpacks → III. C. ❷ 2. a.

24 Habillage des centrales à boue → III. C. ❷ 2. a.

23 Cloisonement temporaire → III. C. ❷ 2. c.

22 Habillage des palissade en périphérie de chantier → III. C. ❷ 2. b.

21 Pouf → III. C. ❷ 6.

20 Bouclier mobile soufflet → III. C. ❷ 5.

19 Bouclier mobile cloison → III. C. ❷ 5.

18 Bouclier mobile aérien → III. C. ❷ 5.

17 Bouclier mobile cloche → III. C. ❷ 5.

Sommaire graphique d'un chantier type : une illustration figurative et non exhaustive d'un chantier apaisé. Emplacements des matériels volontairement non réalistes pour rassembler sur une même image l'essentiel des propositions du LBSC.

Sommaire

I. BRUITS DE CHANTIERS – ENTRÉE EN MATIÈRE

- A. Bestiaire graphique des bruits de chantier – index
- B. Acoustique pour tous
- C. Point réglementaire
- D. Revue Internationale
- E. Les actions en cours menées par la SGP
- F. Paroles de riverains et agent de proximité

II. MÉTHODES ET SOLUTIONS TRANSVERSALES

- A. Bonnes pratiques
- B. Pistes de développement – méthodologie des chantiers
  - 1 Évolutions contractuelles
  - 2 Noise labels et Prix du Silence
  - 3 Modélisation, BIM, IA et robotisation
- C. Monitoring et participation
- D. Communication, médiation et pédagogie

III. MÉTHODES ET SOLUTIONS PENDANT LE CHANTIER

A. Bonnes pratiques

B. Solutions existantes

1 À la source du bruit

2 À la transmission du bruit

3 À la réception du bruit

C. Solutions innovantes à développer

1 À la source du bruit

2 À la transmission du bruit

3 À la réception du bruit

IV. ÉTUDE – ENSCI

Acoustique Grande Échelle

Écoutes tes bruits du chantier

Modulo

Poncho

Terre Isolante

PSHTT Pshtt

Ensemble Contre le Bruit

V. Interviews

PYC Média

ACNUSA

Philharmonie de Paris

Laboratoire d'Acoustique de l'Université du Maine (LAUM)

VI. Conclusion

Groupement Silence Chantier

Remerciements

VII. Annexes

Références bibliographiques

Mentions légales

Préface

Au regard de l'ampleur des travaux à réaliser, qui sont concentrés dans l'espace et dans le temps, le projet Grand Paris Express ne peut pas ignorer l'impact de ses chantiers sur leur environnement. La maîtrise des impacts, un des grands enjeux du projet, constitue l'un des critères d'acceptation du projet dans son ensemble.

Il s'agit d'un défi permanent pour les acteurs en charge de la réalisation de ce projet, en particulier la Société du Grand Paris, mais aussi ses maîtres d'œuvre et les entreprises de travaux. En tant que Maître d'Ouvrage de ce projet unique en Europe avec près de 300 chantiers d'ici 2030, la SGP adopte une posture volontaire et proactive en matière de recherche de solutions nouvelles pour limiter autant que possible les externalités négatives causées par ses chantiers. Cela peut porter sur différents sujets : mobilité autour des chantiers, recréation d'activité économique au service des acteurs économiques aux abords des chantiers, poussières, etc.

En concertation avec les collectivités, les associations de riverains et finalement l'ensemble du territoire, nombre de solutions et précautions sont d'ores et déjà prises à tous les stades du cycle de vie du projet,

en conformité avec le cadre réglementaire et les standards les plus avancés du secteur. Or, la SGP souhaite aller plus loin pour explorer de nouvelles solutions, ce qui a fait naître le projet « Silence Chantier ».

Nous voulons par ce livre blanc contribuer à la réflexion sur les nuisances sonores et pensons qu'une démarche collective soutenue par la SGP contribuera à faire évoluer le secteur des travaux publics. Nous sommes convaincus qu'une démarche ouverte, laissant place à l'innovation se révélera génératrice de nouvelles pratiques sur les chantiers ; des pratiques qui amélioreront l'acceptation du chantier dans son environnement sans en impacter l'activité et la performance.

Je suis reconnaissant à l'ensemble des contributeurs de ce livre blanc, et souhaite que la démarche puisse continuer de prospérer chez les différents acteurs du secteur, aussi bien maîtrises d'ouvrages, que maîtres d'œuvres ou entreprises de travaux publics.

Bernard Cathelain
Membre du Directoire

Société du Grand Paris

Introduction

Est-ce de la science-fiction de supposer qu'un jour viendra où les chantiers seront silencieux ? Depuis quelques années déjà, plusieurs éléments concourent à réduire leur bruit. L'évolution des règlements, la prise de conscience des acteurs et les progrès technologiques permettent de minorer la nuisance sonore. Toutefois le bruit reste très présent, ne serait-ce que parce que l'extension des zones urbaines s'accompagne d'une multiplication des chantiers.

Le projet du Grand Paris Express est concerné par la densification des chantiers, signature des grands projets d'infrastructure. Cela signifie-t-il qu'il n'échappera pas à ce bruit qui constituerait un mal nécessaire ? Après tout, ne faudrait-il pas s'en accommoder puisque, *in fine*, les riverains seront les bénéficiaires de ces aménagements ?

Nous sommes convaincus pour notre part qu'il est possible de réaliser des chantiers « Sans Bruit » et ce, dès le Grand Paris. C'est ce que le Livre Blanc Silence Chantier entend démontrer, en présentant des réflexions stratégiques, esquissant des pistes, des méthodes, et en proposant des solutions innovantes, par une approche interdisciplinaire. Certaines existent déjà, d'autres ne demandent qu'à émerger.

LE BRUIT

C'est la part du son qui ne contient pas d'information utile, masque les alertes, affecte la communication sur le chantier, accroît les risques, le stress et la fatigue, pour le personnel comme pour les riverains.

Produire moins de bruit c'est :

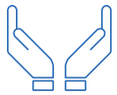
Réconcilier les riverains
avec le chantier – en rendant ce dernier plus acceptable – et en conséquence réduire les risques d'obstruction

Améliorer les conditions de travail
sur les chantiers, le quotidien et l'image des métiers de la construction pour les compagnons.

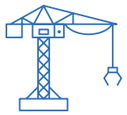
Améliorer la communication
orale sur le chantier

Réduire les risques
sur et aux abords des chantiers, en réduisant les bruits masquants (voir LBSC : I. B. 2 « Effet de masque ».)

Construire sur un support différenciant pour **gagner en compétitivité** sur le marché international de la construction.



Avancer dans la **transition écologique,** parce que le bruit est souvent associé à d'autres émissions nuisibles, notamment de pollution atmosphérique.



Et, qui sait, des chantiers mieux acceptés dans leur environnement urbain, ouvriront peut-être la porte à de nouveaux projets de construction.

1. Les enjeux de la réduction du bruit sur chantier

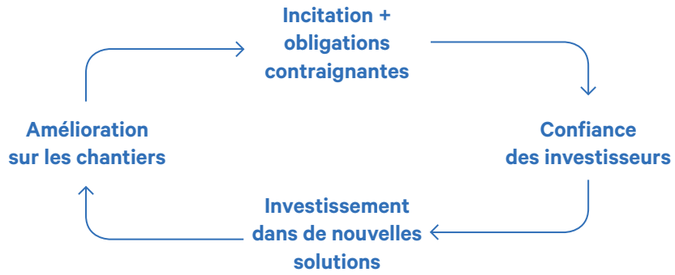
Une bonne solution rapporte de l'argent ou n'entraîne pas de coût complémentaire

Pour les entreprises de Génie Civil, savoir réduire le bruit des chantiers constitue déjà un avantage compétitif auquel les maîtrises d'ouvrage sont de plus en plus sensibles. Loin d'être une mode, ce mouvement devrait s'amplifier et les exigences pourraient s'accroitre dans les prochaines années ; l'acceptabilité des grands chantiers sera à ce prix, les marchés aussi.

Moins de bruit génère des gains de productivité et donc des économies. Certes les solutions ont un coût, mais il faut les considérer comme un investissement, d'autant que des aides et des subventions peuvent être obtenues. Les maîtrises d'ouvrage, les bureaux d'études et les entreprises de construction doivent prendre conscience qu'investir dans les procédés de réduction des nuisances sonores générera des plus-values. Avec l'avènement des nouvelles technologies, plus intelligentes et plus sûres, seront accessibles :

→ des systèmes mieux ajustés,
→ des dispositifs asservis et robotisés,
→ des matériaux acoustiques plus performants,
→ des nouvelles méthodes de contrôle du bruit.

S'engager dans les solutions de réduction du bruit sur les chantiers c'est être « créateur d'avenir », visionnaire et moteur de la transformation. Le projet du Grand Paris Express peut être un phare et jouer un rôle majeur et innovant de l'accélération du processus de conversion vers des chantiers moins-nuisants, il devrait donner confiance aux investisseurs et ainsi alimenter un cercle vertueux.



C'est en affichant ensemble leur volonté de soutenir les initiatives de réduction des bruits de chantiers par des engagements forts, que les Maîtres d'Ouvrage, les Maîtres d'Œuvre, les Entreprises de Génie Civil et les pouvoirs publics pourront faire pencher la balance et ouvrir la page des chantiers moins nuisants.

2. Un problème mondialisé

La problématique des bruits de chantier en zones urbaines se retrouve dans tous les pays du monde et les obligations des chantiers comme les tentatives de solutions sont disparates. La France est plutôt en retard sur les solutions apportées au bruit des grands chantiers urbains par rapport à d'autres pays comme Royaume-Uni, Allemagne, Suisse, Pays Bas, Amérique du nord et Japon entre autres – où les riverains sont plutôt mieux protégés... D'un pays à l'autre, y compris en Europe, les contraintes et les habitudes de travail sont différentes, même quand les entreprises sont les mêmes.

3. À un problème multifactoriel des solutions multiples et adaptées

Il arrive même que des compagnies internationales françaises n'appliquent pas les mêmes règles de réduction de bruit selon qu'elles construisent dans un pays
ou un autre !

↓

Un remède unique ne peut exister pour contrer le bruit car problèmes et solutions sont multiples.

La source sonore peut être en mouvement ou non, transmise directement ou pas dans les habitations, par voie solidienne[1] ou voie aérienne, produite de jour ou de nuit, l'étendue de sa surface peut être variable, ainsi que son intensité, son contenu fréquentiel, sa fréquence d'apparition... etc.

Les solutions pour chaque problème seront différentes à chaque fois et chacune d'entre elle qu'une efficacité partielle. Il faudra donc combiner les solutions entre elles pour répondre à toutes les particularités. C'est par une bonne préparation de chantier et une meilleure anticipation des nuisances – permettant de mettre des solutions correctives en place le plus tôt possible – que les projets de constructions pourront maximiser les effets positifs.

1. Transmission solidienne = via un solide (mur, dalle...).

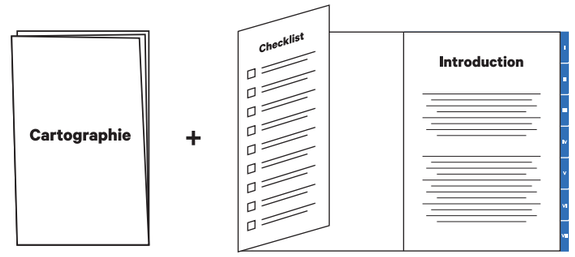
4. Objectif du Livre Blanc Silence Chantier

Nous nous attachons dans ce Livre Blanc à montrer que les chantiers moins bruyants sont non seulement possibles, mais qu'ils sont également réalistes dès aujourd'hui, en proposant des solutions innovantes permettant de déplacer le point de vue sur les nuisances sonores.

Pour que ces avantages se concrétisent, il est nécessaire de diversifier et de combiner les actions sur plusieurs aspects des projets de construction, et sur la propagation sonore qui est abordée entre sources, transmission et réception du bruit : via des techniques de construction moins bruyantes, des engins électriques silencieux, des batteries électriques échangeables et performantes, des matériaux acoustiques innovants, de nouvelles générations de systèmes d'alimentation de puissance, toutes sortes de silencieux, de boucliers, de barrières acoustiques, ainsi que des protections à la réception pour les riverains.

↓

Le Livre Blanc Silence Chantier : un Toolkit proposant un panel de solutions au bruit des chantiers.



Plusieurs méthodes complémentaires sont développées, notamment des plans d'actions qui proposent des méthodes de contrôle des nuisances sonores : innovations juridiques, modification des DCE pour des appels d'offres de marché, surveillance du bruit (monitoring), mesures et évaluation des nuisances sonores, électrification des engins, communication... sans omettre des solutions physiques déjà existantes, d'autres plus innovantes – en cours de développement ou des « design concepts » plus prospectifs – et enfin, des techniques plus transversales ou non conventionnelles.

5. Aspects juridiques

Pour obtenir moins de bruit, il est important de marier incitations et obligations. La législation actuelle est peu contraignante et peu appliquée. Les abus touchent souvent les plus démunis ; qui n'ont pas les moyens ni la force de se défendre. Il convient donc de les protéger. Les chantiers assument souvent à la marge leurs engagements en matière de bruit et ce sont finalement les Maîtres d'Ouvrages qui portent la responsabilité des nuisances produites par les premiers. Il serait possible de casser ce cercle vicieux et de le remplacer par un cercle vertueux, gagnant gagnant. L'entreprise s'engagerait et rendrait compte de ses engagements directement auprès des riverains et le Maître d'Ouvrage encadrerait la démarche.

6. Concrétiser et progresser sur la durée

Plusieurs actions combinées constituerait une approche constructive et efficace dès maintenant et dans les prochaines années :

- → Appliquer le même modèle de mesure et d'évaluation pour tous les chantiers.
- → Encourager la recherche et le développement de solutions ainsi que leur mise en application sur les chantiers.
- → Échelonner les exigences sur la durée, en réduisant chaque année les seuils de bruit autorisés, jusqu'à atteindre la qualité attendue.
- → Valoriser les progrès réalisés et pénaliser les abus.
- → Encourager les réparations plutôt que les sanctions.

Aujourd'hui si la réduction des bruits n'est pas toujours ni une priorité, ni une obligation, c'est avant tout dû à la prégnance des objectifs de coûts et de planning qui doivent être respectés. Toutefois il est possible de mettre en place des actions efficaces, sans entrer en contradiction avec ces objectifs.

↓

Le Livre Blanc Silence Chantier entend montrer que réduire le bruit n'est ni un problème technique – les produits sont disponibles ou peuvent l'être facilement – ni un problème de coût, car, *in fine*, il existe solutions moins coûteuses et d'autres pouvant apporter des économies à moyen terme. C'est donc une question de choix. Enfin ce Livre Blanc souhaite stimuler l'imagination et les initiatives de l'ensemble des acteurs du terrain ; les plus à même d'apporter les solutions les plus réalistes et éclairées.

7. Glossaire des abréviations utilisées dans le Livre Blanc Silence Chantier

ACNUSA → Autorité de Contrôle des Nuisances Aéroportuaires
BRH → Brise Roche Hydraulique
CCAP → Cahier des Clauses Administratives Particulières
CCTP → Cahier des Charges Techniques et Particulières
CE → Commission Européenne
CidB → Centre d'information du Bruit
CLB → Contrainte de Limitation de Bruit. Modèle de mesure et de limite à développer par des acousticiens (en intensité en durée et horaires, emplacements…).
CNB → Conseil National du Bruit
CNRS → Centre National de la Recherche Scientifique
CNSM → Conservatoire National Supérieur de Musique
dB → décibel (unité logarithmique de niveau de pression sonore)
dB(A) → décibel pondéré A (unité normalisée en acoustique de l'environnement)
DCE → Dossier de Consultation des Entreprises
DGAC → Direction Générale de l'Aviation Civile
DnT,A,tr → Isolement acoustique normalisé de façade contre les bruits extérieurs
EGC → Entreprise de Génie Civil
EXE → Marché d'exécution
GASEL → Grille d'Analyse des SEnsibilités Locales
GPE → Grand Paris Express
HQE → Haute Qualité Environnementale
ICPE → Installation Classée pour la Protection de l'Environnement
ICPE-A → ICPE soumise à Autorisation
LAeq(22h-7h) → Niveau sonore équivalent sur la période nocturne 22h-7h
LAeq(7h-22h) → Niveau sonore équivalent sur la période diurne 7h-22h
LBSC → Livre Blanc Silence Chantier
Ld ou Lday → Indice sonore européen du jour (période 6h-18h en France)
Lden → Indice sonore européen sur 24h « jour-soir-nuit »
Le ou Levening → Indice sonore européen du soir (période 18h-22h en France)
Ln ou Lnight → Indice sonore européen nocturne (période 22h-6h en France)
MOA → Maîtrise d'Ouvrage ou Maître d'ouvrage
MOE → Maîtrise d'Œuvre ou Maître d'œuvre
NRE → Notice de Respect de l'Environnement
OACI → Organisation de l'aviation civile internationale
PB → Point Bruit
PEB → Plan d'Exposition au Bruit (aéronefs)
PGS → Plan de Gêne Sonore (aéronefs)
PL → Poids-lourds
SGP → Société du Grand Paris
SOPRE → Schéma Organisationnel de Plan de Respect de l'Environnement
TNSA → Taxe sur les Nuisances Sonores Aéroportuaires
e.g. → *exempli gratia* : par exemple
i.e. → *id est* : dans le cas présent

Approche Silence Chantier

Le *Livre Blanc Silence Chantier* répond à une demande de la Société du Grand Paris. Il est réalisé par un groupement de concepteurs indépendants. Les propositions qui y sont présentées ont pour finalité d'atténuer les nuisances sonores des chantiers du Grand Paris Express, mais son objectif concerne plus largement tous les chantiers urbains. Des solutions de réduction du bruit existent. Les faire connaître, contribuer à leur mise en œuvre, en imaginer et en modéliser de nouvelles, tels sont les objectifs et l'ambition du Livre Blanc. Dans un but didactique et ergonomique, nous l'avons conçu comme une boîte à outils – un « toolkit » – sous forme de pistes de réflexions, de méthodes, d'esquisses et de solutions applicables.

Nos recommandations sont faites dans une approche de design ouvert, avec une conception aussi approfondie que possible dans le cadre de notre mission. À chaque acteur est donc libre de s'en inspirer s'il le souhaite et de s'en saisir pour les développer. Il saura trouver la forme et la mise en œuvre répondant au mieux au besoin de chaque contexte. Par voie de conséquence, ce travail pourra évoluer dans le temps. Sa base pourra s'enrichir de l'expertise et du regard des maîtres d'ouvrage, maîtres d'œuvre, entreprises de génie civil, collectivités et riverains, avec des ajouts et mises à jour, partielles ou complètes.

↓

Nous sommes convaincus que le bruit des chantiers n'est pas une fatalité. Il est possible et avantageux pour tous de le réduire. Les pistes de solutions existent et nous vous les présentons. De par leur contexte, leur nombre et leur durée, les chantiers du Grand Paris offrent l'occasion idéale pour progresser.

1. Des solutions sur mesure pour chaque acteur

Les principaux acteurs sont les Maîtres d'Ouvrage, les Maîtres d'Œuvre, les Entreprises de Travaux et de Génie Civil, les collectivités et les riverains.

Il s'agit de les inciter à progresser ensemble dans la réduction des nuisances sonores par :

- → Un travail de sensibilisation.
- → Un ensemble de préconisations et de bonnes pratiques.
- → Des méthodes confirmées.
- → Une documentation sur des solutions fonctionnelles.
- → Des techniques et des produits émergents.
- → Des idées, des pistes d'innovations, des suggestions d'amélioration techniques.
- → Des offres de partenariats.
- → Des (propositions de) dispositifs d'encouragement.
- → Des plans d'action innovants.

Les thèmes et actions proposés ne sont pas exhaustifs. Soulignons que c'est essentiellement le problème du bruit qui est traité ici, et non celui des vibrations à proprement parler : même si le bruit résulte d'une vibration des particules de l'air, les vibrations ne sont abordées que partiellement et comme source possible de bruit solidien.

2. Une approche progressive sur la durée

La première motivation pour les entreprises participant au projet est l'incitation à utiliser des solutions efficaces et pérennes. Elles ont tout à y gagner, aussi bien en termes d'image que de contrats à venir et d'économie réalisée. Les maîtres d'ouvrages, les collectivités et l'État se doivent aussi d'honorer leurs obligations en sanctionnant les abus encore trop fréquents.

Les incitations au changement doivent se concevoir dans le temps, avec un plan d'action débutant dès aujourd'hui pour progresser dans le temps. Dix ans pour réduire les bruits les plus handicapants sur les chantiers, c'est réaliste !

La première étape consistera à :

1. **Mettre en place des solutions techniques**
2. **Décliner des méthodes alternatives**
3. **Mieux partager la responsabilité entre les maîtres d'œuvre et les entreprises**
4. **Accompagner la mise en œuvre de nouveaux matériels, moins bruyants**

De manière concomitante des dispositifs de compensation pour les riverains et d'ajustements entre les présentes propositions et la réalité du terrain doivent être développés.

Comment ?

Les principes abordés pour régler les problèmes sont de :

- → Mieux les anticiper, en planifiant et en modélisant mieux les actions bruyantes.
- → Développer et utiliser des méthodes et du matériel de chantier moins bruyants.
- → Privilégier les solutions à la source aux remèdes symptomatiques.
- → Préférer une approche analytique et créative.
- → Imaginer des solutions non conventionnelles.
- → Documenter, faire la synthèse et une remise à jour des connaissances sur le sujet, analyser les spécificités et adapter les solutions au projet du Grand Paris Express.
- → Innover par le design, la conception et le développement de nouvelles méthodes.

↓

Nous n'avons pas la solution miracle, mais nous avons des pistes et nous vous les présentons !

Un toolkit fonctionnel à conserver a portée de la main

Le Livre Blanc Silence Chantier est conçu comme un outil synthétique, à garder sous la main. Un guide pratique facile à lire, conçu comme un outil efficace et adapté aux besoins de chacun.

Il comporte :

- → Des textes courts et synthétiques, accessibles à tous ; hommes et femmes de métiers comme non spécialistes.
- → Des textes plus développés pour comprendre et approfondir certains sujets.
- → Des visualisations de solutions design et innovantes.
- → Des schémas explicatifs et des illustrations.
- → Une navigation facile vers les solutions proposées.
- → Des références et des liens externes.

Une approche design

Notre approche s'est voulue enrichie :

- → d'une vision de concepteurs non spécialistes proposant des idées, des esquisses et des concepts les plus avancés possibles dans le cadre de la mission qui nous a été confiée.
- → d'une complémentarité des regards pour une mise en forme fonctionnelle : acoustique, design, recherche et éducation,
- → d'une approche transversale reliant analyse approfondie, innovation expérimentale, création fonctionnelle et expertise acoustique.

Le groupement Silence Chantier

Auteurs

Roland Cahen
Auteur et concepteur éditorial

Bertrand Masson
Auteur et expert acoustique

Gaël Hiétin
Auteur, conception et modélisation
des propositions design

Impédance ingénierie
www.impedance.fr
—
Groupements d'ingénieurs en acoustique, mécanique et vibrations
Bertrand Masson, Thomas Toulemonde, Wouter Reijnders, Camille Balançon

Atelier gh
www.ateliergh.com
—
Design
Gaël Hiétin

École Nationale Supérieure de Création Industrielle – les Ateliers
www.ensci.com
—
Studio Sonore
Roland Cahen
Les élèves du Studio Expérimental Moins Nuisants de l'ENSCi

Designer graphique pour la conception et la réalisation graphique du Livre Blanc
Caroline Fabès
www.carolinefabes.com

Partenaires référents à la SGP
John Tanguy, Guillaume Talandier, Héloïse Pontaud, Léo Kahn, Xiaoning Yang et Alexandre Di-Cocco

Relecteurs
Olivier Boudot, Ruth Sefton-Green, Tobias Cahen

Le Groupement Silence Chantier rassemble des auteurs, designers, acousticiens et chercheurs indépendant de la SGP, qui s'expriment librement dans le LBSC. Certains articles signalés comme tels sont écrits par la SGP qui apporte sa contribution et son expertise au projet. Le Grand Paris Express est le terrain de l'étude, mais le LBSC concerne tous les chantiers urbains.

I.

BRUITS DE CHANTIERS – ENTRÉE EN MATIÈRE

A. BESTIAIRE GRAPHIQUE DES BRUITS DE CHANTIER – INDEX

Bestiaire
Matériels de chantiers

Les sources de bruit principales de chantiers du Grand Paris Express ont été inventoriées et ordonnées dans un ordre chronologique des phases de travaux types du Grand Paris Express.

La puissance acoustique de ces sources est exprimée par l'indicateur LwA exprimé en dB(A) ; il permet de les hiérarchiser entre elles, mais il s'agit généralement de valeurs standards représentatives d'équipements caractérisés en laboratoire.

Les sources d'informations sur ces puissances sont multiples (bibliographies, retours d'expérience, documents de travail, etc.) c'est pourquoi les valeurs indiquées ici sont indicatives d'ordres de grandeur en vue de comparaisons entre engins.

Il faut aussi garder à l'esprit que ces puissances acoustiques varient en fonction des tâches réalisées au cours du chantier, de l'usure des équipements ; il s'agit ainsi a priori de valeurs couramment rencontrées ou bien issues de moyennes sur plusieurs engins, ceux rencontrés en surface.

La puissance acoustique d'un engin n'est par ailleurs pas le seul critère représentatif de la nuisance – même si c'en est le principal – d'autres caractéristiques du bruit entrent parfois en compte, comme le contenu fréquentiel (sons graves ou aigus, bruit large bande ou à tonalité marqué), les variations temporelles (bruits impulsifs, intermittents ou continus), la durée d'exposition, les émergences par rapport au bruit ambiant habituel…

La hiérarchie des sources de bruit est donnée par des indicateurs de bruyance, en gras figurent les engins très bruyants et potentiellement présents sur les chantiers de la SGP en surface. Cette liste n'est pas exhaustive.

TRÈS BRUYANT → 10

PEU BRUYANT → 1

Au-delà des engins listés ci-dessous, signalons des méthodes de travaux reconnues comme très bruyantes, celles-ci-dessous en gras sont potentiellement utilisés jusque-là sur les chantiers du GPE :

- → le battage de palplanches ou de pieux ;
- → les travaux avec des explosifs.
- → l'utilisation de machines et d'appareils très bruyants comme :
  - → les **coups provoqués par des foreuses à percussion** ou des pistolets à goujons, par exemple lors de la mise en place de fixations dans du métal ;
  - → les **chocs très bruyants**, par exemple lors de travaux avec des trépans-bennes (réverbération dans la cloche), des excavateurs à godets pour faire tomber des matériaux collés, le détachage de matériaux collés sur des engins de forage ; la démolition par marteau-piqueur, pneumatique ou hydraulique ;
  - → la démolition par marteau-piqueur, pneumatique ou hydraulique, par exemple de roches dures ou de béton[1] ;
  - → la **découpe par scies circulaires ou à rubans** ;
  - → le **décapage par fraisage, par nettoyage à haute pression, sablage ou meulage** ;
- → l'utilisation d'hélicoptères pour des travaux de construction.

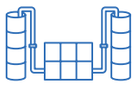
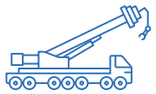
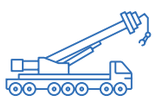
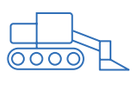
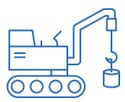
1. Rare et limité mais parfois incontournable.

I. Bruits de chantiers –
Entrée en matière

A. Bestiaire graphique des bruits de chantier — index

PHASE	ACTION		ENGIN	LWA	M/A*	HIÉRARCHIE	DESCRIPTION
1 **Installations provisoires chantier**			Groupe électrogène 150 kVA	91	M	→ 5	Alimentation en énergie des installations provisoires de chantier.
			Groupe électrogène 40 kVA	83	M	→ 4	
2 **Démolitions**	Destruction et évacuation		Pelle hydraulique, grignoteuse	99	M + A	→ 7	Parfois des démolitions d'ouvrages existants sont nécessaires avec déblaiement des gravats.
			Bulldozer	105	M + A	→ 8	
3 **Injections**	Forage		Foreuse injection	113	M	→ 9	Quand un renforcement du sol est nécessaire, un forage est effectué avant d'injecter en profondeur un coulis de renforcement.
			Station de traitement d'injection	100	M	→ 7	

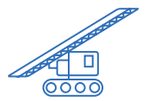
* Contribution sonore prépondérante : M = Moteur – A = Action

PHASE	ACTION		ENGIN	LWA	M/A*	HIÉRARCHIE	DESCRIPTION
4 Parois moulées	Forage		Hydrofraise	114	M	→ 10	L'hydrofraise et le trépan benne dégagent la terre. En même temps que la terre est enlevée, de la boue bentonitique est injectée dans le panneau de la paroi moulée. Une fois la cote atteinte, la boue bentonitique est substituée par une boue neuve et les grues mobiles à bras mettent en place la cage d'armature.
			Trépan benne	108	M	→ 9	
			Centrale à boue et équipements associés : centrale de dessablage, …	92	M	→ 5	
			Grue mobile (40m)	105	M	→ 8	
	Remplissage béton		Toupie béton	100	M	→ 7	Après pose de l'armature métallique, le béton est coulé dans le volume des parois moulées. Le bétonnage est effectué à l'aide de tubes plongeurs (immergés) depuis le fond de fouille jusqu'à la surface. Les grues mobiles manœuvrent les tubes.
			Grue mobile	105	M	→ 8	
			Centrale à béton et équipements associés	100	M	→ 7	
	Recépage		BRH (brise-roche hydraulique)	118	A	→ 10	L'usage du BRH est limité sur les chantiers de la SGP. Il s'agit d'éliminer le mauvais béton (murs emboués). La partie supérieure des parois moulées est aplanie avant la pose d'une poutre de couronnement.
			Autres technologies : découpe au vérin hydraulique, hydrodémolition	110	A	→ 9	
			Agents expansifs – Prérecépage	–	–	→ 1	

* Contribution sonore prépondérante : M = Moteur – A = Action

I. Bruits de chantiers –
Entrée en matière

A. Bestiaire graphique des bruits de chantier — index

PHASE	ACTION	ENGIN	LWA	M/A*	HIÉRARCHIE	DESCRIPTION
5 Terrassement	Terrassement à ciel ouvert ou sous dalle	Pelles à bras hydraulique	105	M + A	→ 8	
		Pelles tunnel	105	M + A	→ 8	Le volume de la gare est creusé à l'abri d'une dalle de couverture
		Chargeurs sur chenille	102	M + A	→ 7	
	Chargement des déblais	Camion à déblais	67/ml	M + A	→ 5	Les déblais excavés sont chargés sur des poids-lourds qui les acheminent vers les exutoires désignés.
	Évacuation des déblais	 Convoyeur à bande	86/ml	M + A	→ 7	Évacuation des déblais.

* Contribution sonore prépondérante : M = Moteur – A = Action

I. Bruits de chantiers –
Entrée en matière

A. Bestiaire graphique des bruits de chantier — index

PHASE	ACTION	ENGIN	LWA	M/A*	HIÉRARCHIE	DESCRIPTION
	Mouvement de poids lourds	Poids lourds	67/ml	M	→ 5	Les poids lourds acheminent et évacuent matériaux et déblais.
	Rotations et reculs d'engins	Engins en circulation et avertisseurs	97-120 dB(A)	M + A	→ 9	Les engins de chantier sont équipés de dispositifs sonores d'avertissement lorsque leur conducteur doit manœuvrer avec une visibilité réduite.
		Avertisseur « à fréquences mélangées » (type Smart BBS adaptable)	77-97	A	→ 7	
		Chariots élévateurs	87	A	→ 3	
6 Toutes phases	Équipements et engins	Pompes	90-105	M + A	→ 6	Lavage des roues des camions sortants Nettoyage régulier de la chaussée.
		Mini-pelle	95	M + A	→ 6	
	Entretien voirie	Jet d'eau sur pressé	75	A	→ 3	Lavage des roues des camions sortants Nettoyage régulier de la chaussée.
		Balayeuse	75	M	→ 3	
	Communication	Cris et voix des compagnons	80	A	→ 4	Lavage des roues des camions sortants Nettoyage régulier de la chaussée.

* Contribution sonore prépondérante : M = Moteur – A = Action

B. ACOUSTIQUE POUR TOUS

1. Comprendre le son, le bruit, la gêne, comment les combattre

a. Le son

Avant tout, le son sert à alerter du danger. L'écoute animale ou causale permet d'identifier l'origine d'un évènement 100 fois plus vite que la vue. L'oreille perçoit à 360° et reste active 24h/24. Le son permet de communiquer par la parole, mais aussi d'alerter, de transmettre des signaux parmi lesquels les silences. Le son est enfin le médium de l'affect.

↓

Le bruit est une alerte qui ne signale rien mais qui se répète tout le temps.

b. Le bruit

Le bruit est principalement un son non désiré qui n'apporte aucune information utile. Le langage sonore distingue les sons musicaux du bruit, autrement dit les sons toniques[1] des sons sans hauteur ou bruités, également appelés bruits blancs[2]. Mais cette terminologie n'a rien à voir avec les bruits gênants et dérangeants dont la qualification est principalement psychoacoustique ; au contraire, les bruits blancs sont souvent moins gênants et moins saillants que les sons toniques.

La chaîne du bruit : de l'émission à la réception

1. Les sons toniques comportent des composantes périodiques, ou fréquences, qui produisent la sensation de hauteur (de note).

2. Pierre Schaeffer. *Traité des objets musicaux*. Paris : Éditions du Seuil, 1977.

c. Comment agir sur le bruit ?

Le son est le fruit d'une chaîne d'étapes causales qui sont autant de possibilités d'intervenir pour le réduire. Plus on descend sur cette échelle de causalités, moins le traitement est efficace.

	CAUSE DU BRUIT OU DE LA GÊNE	ACTIONS CONTRE LE BRUIT	EFFICACITÉ
À LA SOURCE	La raison de faire du bruit	Travailler autrement, changer de méthode pour ne plus faire de bruit ou en produire moins.	👍👍👍👍👍 👍👍👍👍👍
	La situation : position, contexte, moment, usage	Déplacer la source, limiter dans le temps, modifier l'usage, le moment, le contexte ou le lieu.	👍👍👍👍👍 👍👍👍
	L'action : l'événement mécanique lui-même	Améliorer la mécanique, attaquer la cause du bruit à la source.	👍👍👍👍👍 👍👍
À LA TRANSMISSION	Le rayonnement de la source	Encoffrer la source, réduire le rayonnement du bruit.	👍👍👍👍👍 👍
	La transmission dans le milieu ambiant : aérien ou solidien[3]	Installer des barrières acoustiques, réduire le bruit transmis en dehors de la zone du chantier.	👍👍👍👍👍
À LA RÉCEPTION	L'environnement de réception : habitat	Aménager l'habitat, réduire le bruit reçu, atténuer les résonances, modifier les conditions de réception.	👍👍👍👍
	La perception physiologique : l'oreille	Porter des protections auditives, protéger les oreilles des riverains et des compagnons.	👍👍👍
	La perception psychologique : la sensation, le ressenti, l'acceptation	Écouter autrement, Changer la nature et le ressenti psychologique du bruit.	👍👍
	La cognition : l'interprétation, la compréhension	Raisonner, faire comprendre la raison et la fonction du bruit entendu.	👍

3. Transmission du son dans les matériaux solides par opposition aux gaz ou aux liquides.

↓

Comme en médecine, pour soigner il faut plusieurs actions conjointes et coordonnées.

Le problème du bruit est par essence multifactoriel ; matériel, psychologique, social, politique, physique, technique… Les solutions le sont également, comme en médecine, la « guérison » résultera d'une combinaison d'actions. Il convient d'agir à la fois sur les causes matérielles en priorité à la source, à défaut lors de la transmission, à la réception, et faute de mieux sur le plan psychologique et cognitif.

Contenir les symptômes est moins efficace que de soigner la cause du problème. Réduire le bruit à la source le réduit pour tous et en toute circonstance. En acoustique le traitement à la source est toujours la meilleure solution et *in fine* la moins coûteuse, mais elle implique souvent davantage d'acteurs, d'anticipation et d'action coordonnée.

d. La gêne

Son non reconnu = danger, stress, éveil

Son identifié = action immédiate ou son inoffensif

4. Mouvement artistique et musical Italien – L'Arte dei Rumori Luigi Russolo 1913.

Un bruit inhabituel ou inconnu provoque un réflexe de peur et la mise en alerte des sens. Identifié, s'il ne représente pas de menace immédiate pour notre intégrité corporelle, il devient négligeable et vite oublié. Mais tant que la cause n'est pas reconnue, mal comprise ou non maîtrisée, nous continuons à produire de l'adrénaline, le bruit continue à être ressenti comme une menace potentielle. Le ressenti du bruit est subjectif quand il demeure acceptable. Les bruits ne sont pas toujours synonymes de gêne. Ils peuvent avoir une vocation artistique comme ceux des Bruitistes[4], des bruiteurs, de la Noise Music, les petits bruits de tous les jours qu'on apprécie, ou pas, mais qui nous informent ou nous font rêver.

5. John Cage « about silence »
www.youtube.com/watch?v=pcHnL7aS64Y

Le bruit acceptable

« La musique que je préfère est le silence. Le silence aujourd'hui est le bruit de la circulation, chez moi sur la 10e avenue. La musique c'est toujours pareil alors que le son de la circulation change tout le temps.[5] »
John Cage

Le bruit désagréable

C'est le bruit non désiré : celui que certains ne supportent pas et que d'autres – par exemple amateurs de vieilles motos, « chignoleurs » du dimanche matin, grande-gueules ou amoureux de la Traviata – adorent. C'est le bruit qui réveille quelquefois la nuit, mais que l'on est contraint de supporter avec philosophie, parce qu'il est finalement acceptable. Et puis il y a l'inacceptable :

Le gros méchant bruit

Quand le bruit devient-il gros et méchant ?

Lorsqu'il perturbe la sécurité physique des personnes en masquant les alertes, qu'il brouille l'intelligibilité de la communication, la qualité des perceptions, le sommeil, affecte la santé physique et mentale.

Comment le reconnaitre ?

- → **Critères physiques** : Trop fort, trop longtemps, invariant ou erratique.
- → **Critères psychologiques** : imposé, incontournable, sans prévision, sans heure/date de fin annoncée, sans perspective de résolution, sans solution, sans refuge. Lorsqu'on ne peut rien faire pour s'en protéger, qu'on est soumis, assujetti, sans recours ; une situation psychologique proche du désespoir.

6. R. Murray Schäfer. Le paysage sonore, 1977-2010.
7. Voir LBSC : II. D. 1 « Formation pour les riverains et les compagnons », II. D. 2. « Kit Riverains », I. F. 1. « Agent de proximité et Paroles de riverains », IV. ENSCi « Ensemble Contre le Bruit ».

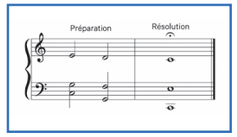
Cette sorte de bruit, imposée d'autorité, apparait du point de vue de celui qui le subit comme une violence arbitraire. Robert Murray Schäfer[6] l'appelle « The Sacred Noise », le bruit sacré : le tonnerre, les cloches des églises, les sirènes, les avions, la circulation des camions et motos et les chantiers.

Agresseurs et victimes : l'importance de la médiation

On désigne ceux qui subissent le bruit comme victimes. Se trouver seul face au bruit est plus aliénant que de le partager en groupe. L'échange direct et régulier entre victimes et agresseurs est une manière de réduire la gêne, de confronter le problème pour le résoudre ensemble.

↓

Réduire les bruits de chantier avec la participation des riverains = Rétablir la confiance des riverains grâce à une démarche responsable et moderne.[7]



En attendant la résolution

En musique on parle de résolution quand la tension harmonique, une sorte de déséquilibre proche du bruit, se détend sur l'accord de la tonique finale. C'est la fin du bruit, le retour à l'harmonie. Comme en musique, les riverains des chantiers attendent la résolution.

La première cause de la nuisance sonore est la déperdition d'information

Dans notre monde contemporain où les machines sont omniprésentes, le son n'a souvent aucune fonction ; aucun dessein. Il est le plus souvent le fruit arbitraire d'une mécanique mal maîtrisée.

Un son qui n'apporte aucune information aux personnes qui le côtoient, utilisateurs ou riverains, est donc légitimement ressenti comme du bruit. La VMC (Ventilation Mécanique Contrôlée) en est un bon exemple : sa fonction est de faire circuler l'air, mais le son qu'elle produit, se comporte comme s'il nous rappelait à tout moment du jour comme de la nuit, qu'elle est en marche et consomme de l'électricité.

La légitimité des bruits de chantier serait d'informer les ouvriers des risques et dangers auxquels ils sont exposés ; or ce n'est pas toujours le cas. Souvent le son des machines n'est ni produit au moment opportun, ni dirigé vers les personnes exposées au risque, ni ne qualifie les actions selon le danger. Au contraire il masque les dangers.

Les bruits de chantiers

Ils sont principalement de deux types :

1

Les bruits mécaniques ; continus et redondants :
e.g. moteurs…

↓

Le bruit continu des moteurs constitue la nuisance principale. Il est possible de le réduire, voire de le supprimer. Les techniques sont disponibles : électrification, isolants acoustiques, silencieux…

2

Les sons d'actions :
percussions, impacts, grattements, frottement, écoulements et fluides

↓

Le bruit d'actions reste difficile à empêcher, mais on peut le réduire avec des techniques d'amortissement, de barrières acoustiques ou en modifiant les actions elles-mêmes.

Vers un design sonore des bruits de chantiers

La première étape possible serait de supprimer ou d'atténuer autant que possible les bruits mécaniques continus : moteurs, ventilation, transmissions mécaniques, frottements…

Dans un second temps, il faudrait limiter autant que possible les bruits d'actions agressifs et redondants en sélectionnant les sons utiles (bips de reculs par exemple) pour les améliorer, en les rendant à la fois plus informatifs et plus acceptables. En réduisant le bruit inutile et en développant les sons utiles ainsi que des dispositifs de signalisation adéquats, il serait possible de réduire à la fois les risques auxquels sont exposés les compagnons sur les chantiers et les nuisances sonores envers les riverains[7].

7. Voir LBSC : IV. ENSCi, projet « PSHHT Pshht » de Rémi Taulemesse.

Traiter les effets ou la cause du bruit

Les nuisances sonores affectent sensiblement le personnel travaillant sur le chantier. Les compagnons sont les premières victimes du bruit et une cause majeure de problèmes de santé : surdité, stress, perte de vigilance et fatigue[8]. C'est la raison pour laquelle la législation impose le port de Protections Individuelles Contre le Bruit (PICB)[9]. Il en existe de différentes sortes mais la majorité des personnes exposées à des doses[10] dangereuses de bruit, soit ne les utilisent pas ou mal, soit n'ont pas accès aux protections les mieux adaptées ni les plus performantes[11].

8. Augmentation de la fatigue due à l'exposition au bruit : www.inrs.fr/risques/bruit/effets-sante.html

9. Choisir un protecteur individuel contre le bruit : Gwenolé Nexer www.hearingprotech.com/pdf/Dossier-Choisir-un-PICB.pdf

10. La mesure de la dose d'exposition au bruit est appelée dosimétrie. Elle est mesurée grâce à des dosimètres sonores et réglementée.

11. Voir LBSC : III. B. ❸ 1. « Protecteurs Individuels Contre le Bruit (PICB) ».

Au-delà des questions de santé, le bruit augmente le risque professionnel, la qualité des relations de travail, la communication interpersonnelle et professionnelle, et par conséquent, l'efficacité des chantiers.

Pour dire les choses simplement, plus le contexte est bruyant, plus le travail est dangereux et moins il est efficace.

Les PICB ne font que traiter les symptômes du mal au lieu de s'attaquer à sa cause. Au-delà de la gêne physique ressentie par les utilisateurs, les protections individuelles empêchent l'oreille de faire son travail naturel de vigie du danger en obstruant le champ auditif.

C'est la raison pour laquelle il est préférable de privilégier toujours le traitement le plus en amont possible : techniques moins bruyantes ou traitement à la source.[12]

12. Voir LBSC : I. B. 1. c. « Comment agir sur le bruit ? » (tableau).

↓

D'une pierre deux coups, réduire le bruit à la source[13] améliore et la vie du chantier et celle des riverains

13. Voir LBSC : III. B. 1. « À la source du bruit ».

Dimension sociale et politique

Les riverains ne sont pas assez sensibilisés au déroulement des actions et échangent rarement avec les compagnons et les responsables du chantier. L'incompréhension de l'acoustique, parfois complexe, coté riverains comme acteurs, peut produire de l'incompréhension, ayant comme effet d'attiser les conflits. Certes, beaucoup de solutions déjà connues amélioreraient considérablement le problème si elles étaient appliquées, mais voilà :

- → Elles sont loin d'être parfaites : mal comprises, c'est à dire mise en œuvre de façon souvent approximative et peu efficaces, elles sont également souvent coûteuses, contraignantes pour les Entreprises de TP et GC (dans un contexte de marchés publics concurrentiels où seulement les entreprises les plus économiques sont retenues) Elles posent donc des questions d'information, de compétence, d'optimisation, de coût.
- → Leur mise en œuvre est rarement obligatoire, encore moins souvent surveillée et les infractions ne sont quasiment jamais sanctionnées.
- → Les riverains sont rarement au centre du débat public, contrairement à ce qui devrait en être, ne sont pas partie prenante des décisions, ce qui les met par conséquent dans une position d'incapacité, voire de victime. Les échanges directs, la collaboration et la contribution sont donc une clé pour débloquer les situations sans issue.
- → Enfin, une seule solution est insuffisante car elle ne résout le problème que dans certaines situations. Il est préférable de combiner les remèdes pour soigner le mal.

Jusqu'à présent, on assiste trop souvent à un jeu de chat et de souris entre les Maîtres d'Ouvrages, les Maîtres d'Œuvre, les constructeurs, les collectivités locales et les riverains, sous le regard d'un observateur souvent déçu, l'acousticien.

e. Rôle de l'acousticien pour la réduction du bruit des chantier

Anticiper les bruits

La connaissance des sources de bruit est indispensable, il ne s'agit pas seulement de puissances acoustiques[14], mais aussi de caractéristiques de tailles (dimensions), de fréquences émises et de directivité. Il est important d'anticiper leurs positions, leurs durées de fonctionnement et leurs mouvements éventuels.

14. Voir LBSC : I. A. « Bestiaire matériels de chantiers ».

Des mesures acoustiques associées à des modélisations numériques 3D permettent de représenter les contributions sonores des différentes sources sonores d'un chantier en un emplacement d'observation. Cela passe par la connaissance de l'environnement du site : sa géométrie 3D, les obstacles (ouvrages, bâtiments, murs, écrans), les caractéristiques réfléchissantes/absorbantes des surfaces et du sol, les conditions météorologiques, etc.

Évaluer la gêne

Des seuils de bruits, des limites temporelles et des restrictions de type de matériel doivent être fixés pour le respect des riverains ; il s'agit souvent de seuils réglementaires. Mais dans le cas de la réglementation des bruits d'engins de chantiers[15], seuls des seuils indicatifs seront indiqués aux entreprises pour limiter les nuisances[16]. On distingue les seuils sur les périodes du jour et de nuit. La nuit, la sensibilité au bruit est beaucoup plus grande et les seuils doivent être beaucoup plus bas.

Le seuil limite doit prendre en compte l'ambiance sonore préexistante du site sans les travaux (bruit de fond). Il est important de connaître ces niveaux sonores initiaux avant le démarrage du chantier pour pouvoir prédire l'émergence des bruits du chantier par rapport au bruit de fond. Cela se fait grâce à des campagnes de mesurages acoustiques de longue durée et/ou au monitoring des stations de surveillance du chantier déjà en place en amont des travaux. L'acousticien peut alors évaluer précisément les contributions sonores du chantier sur les propriétés riveraines sensibles (habitations, équipements de santé ou d'enseignement).

Apporter les meilleures solutions : connaissance des solutions efficaces, produits existants…

En fonction de l'impact sonore du chantier et selon ses différentes phases, des solutions doivent être apportées pour limiter les nuisances. Les solutions les plus efficaces se trouvent au plus près de la source de bruit : elles permettent de réduire le bruit avant transmission (sa propagation) dans l'environnement, elles protègent également les compagnons qui travaillent sur le site.[17]

Ces solutions à mettre en œuvre en amont du démarrage du chantier[18] concernent également des actions de type organisationnelles : localisation des sources de bruit, organisation des flux de véhicules sur le site et ses abords, bonnes pratiques des compagnons.

Quand les solutions envisageables à la source ont été prises en compte dans le projet (et la modélisation acoustique correspondante), l'acousticien propose alors des solutions intermédiaires sur le chemin de propagation du son (voies de transmission). Cela consiste typiquement à mettre en place des surfaces acoustiques efficaces surfaces absorbantes (au sol et sur des écrans), obstacles faisant barrage à la propagation du son (écrans, cabanes de chantiers, espaces de stockages[19]).

↓

À défaut de solutions suffisamment efficaces à la source ou sur le chemin de propagation, des solutions à la réception seront retenues, en complément des précédentes.[20]

15. Voir LBSC : I. C. « Point Réglementaire ».
16. Voir LBSC : II. B. ❶ 2. « Améliorations dossier Bruit ».
17. Voir LBSC : III. B. ❶ « Solutions existantes – À la source du bruit ».
18. Voir LBSC : II. A. « Bonnes pratiques ».
19. Voir LBSC : III. C. ❶ « Solutions innovantes à développer – À la source du bruit ».
20. Voir LBSC : III. B. ❸ « Solutions existantes – À la réception du bruit ».

Extrait de *Spirou et Fantasio*, n° 32, Les faiseurs de silence par Nic et Cauvin où un appareil magique « l'aspison » créé une bulle de silence.

Évaluer l'efficacité des solutions

L'efficacité des solutions retenues est contrôlée à l'aide de campagnes de mesurages acoustiques spécifiques réalisées in situ, auprès des sources de bruit et/ou en façades des riverains et grâce aux stations de monitoring en place.[21] En cas de non-respect des seuils de bruit objectifs, des actions (complémentaires voire supplémentaires) sont mises en place pour la réduction des nuisances : nouveaux procédés, nouvelles solutions, changements d'horaires, etc.

↓

À défaut d'action pour résoudre le problème, des poursuites peuvent être engagées et des pénalités imposées.

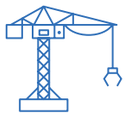
Le coût des solutions

Beaucoup de solutions permettent de réduire les coûts à moyen et long terme, bien qu'au moment des choix, il apparaît difficile, par exemple de comptabiliser les coûts du carburant diesel, de la maintenance des appareils à moteur thermique, et d'y ajouter celui des risques lié au bruit : santé des compagnons et des riverains, tensions et conflits avec les riverains et collectivités locales, interruptions de chantier et retards provoqués par ces complications. C'est pourtant cette somme qu'il faudrait mettre en regard de l'achat d'engins à motorisation électrique.

Les chantiers du Grand Paris offrent pourtant une opportunité unique à saisir pour faire progresser le silence sur les chantiers. Des centaines de chantiers répartis sur une durée de plus de dix ans permettent de mettre en place dès aujourd'hui des méthodes d'amélioration incrémentales.
Les chantiers du Grand Paris offrent également des particularités différenciantes pour les nuisances sonores, qui constituent autant de leviers pour réduire les interventions aux actions les plus pertinentes.
Ces spécificités sont notamment :

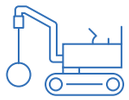
1

Le contexte urbain : tissu urbain dense, proximités d'habitations, de transports, de lieux publics



2

Les types de chantier : démolition, terrassement, creusement de tunnels, construction de gares



3

Les engins et procédés utilisés

21. Voir LBSC : II. C. 1. « Monitoring et participation ».

4

Les méthodes de réduction du bruit et d'information sur les nuisances sonores présentes et à venir

5

Le phasage et les plannings des chantiers

Le rôle des concepteurs/designers

Les designers, créateurs, peuvent nous être utiles, mais leur rôle n'est pas facile à définir. Quelles approches du design sont ici concernées ? Design des organisations, design social, design sonore, design d'équipement et de matériel de chantier, celui de dispositifs acoustiques physique, d'outils immatériels, de méthodes, de communication graphique ? Leur travail se situe trop en amont pour convaincre les industriels et faciliter la mise en œuvre de solutions pérennes. Ils travaillent à l'écart du chantier où souvent priment les contraintes et les habitudes. Mais des concepteurs compétents sur ces questions, expérimentés et présents sur les chantiers pourraient apporter des réponses adaptées au cas par cas.

Comment rendre les solutions effectives et en faciliter la mise en œuvre

Les chapitres II et II du LBSC proposent des approches, méthodes et solutions existantes ou à développer. Leur mise en œuvre implique le plus souvent plusieurs acteurs. Si la décision et le management doit venir des Maîtres d'Ouvrages, l'initiative peut venir de tous et aura d'autant plus de chance d'aboutir qu'elle fédérera les acteurs concernés.
Le suivi, l'évaluation et l'amélioration itérative sont aussi les conditions sinéquanones du progrès.

2. Bruits sur les chantiers

Les sources de bruit principales de chantiers sont liées aux activités et déplacements sur un site, elles sont décrites et hiérarchisées[1], on peut distinguer trois grandes familles de bruits :

- → **Circulations de poids-lourds.**
- → **Moteurs des engins et des équipements : bruits continus et de longues durées.**
- → **Actions : percussions, frottement et raclements, bruits de fluides (gaz et liquides).**

1. Voir LBSC : I. A. « Bestiaire graphique des bruits de chantier – index ».

a. Fausses bonnes idées

Pour éviter de prendre sérieusement la contrainte acoustique, on rencontre souvent des idées reçues et de contournements, involontaires ou non. Les bonnes solutions ne sont pas toujours intuitives.

Par exemple, un bon isolant est nécessairement lourd et occlusif (boite fermée en béton ou en plomb). Un bon absorbant est épais et dense (par exemple laine minérale)[2]. Il faut souvent cumuler les deux. Mais bien évidemment dans les faits, personne n'aime ou ne souhaite installer des murs de béton fermés et des absorbants épais. On trouve donc de fausses bonnes solutions relevant plus de l'apparence que de l'efficience ou d'autres dont le remède est pire que le mal.

2. Isoler consiste à empêcher le son de passer à l'aide d'un obstacle. Absorber consiste à empêcher le son de se réfléchir à l'aide de matériaux poreux.

Exemples de fausses bonnes idées :

- → Proposer une modélisation de bruits de travaux en omettant des tâches bruyantes : une étude théorique irréprochable, mais sa mise en œuvre sur le chantier ne suit pas.
- → Négliger le bruit produit par transmission solidienne[3] ; par exemple : capotage d'un poste de travaux au BRH sur une dalle béton.
- → Poser des écrans (murs antibruit) bas alors que les immeubles riverains surplombent la zone de travaux.
- → Poser des écrans (murs antibruit) sans absorbant côté chantier alors que les immeubles riverains surplombent la zone de travaux.
- → Poser des soi-disant écrans, qui ne sont que de simples palissades ou de simples bâches « publicitaires » légères, en supposant qu'ils vont faire écran à tous les bruits de chantier.

3. La transmission solidienne est la transmission du son dans les solides (murs, sol…), par opposition à la transmission aérienne (dans l'air).

- → Positionner les équipements fixes et bruyants (groupes électrogènes, centrales à béton, compresseurs, extracteurs) à proximité des riverains et/ou près de surfaces réfléchissantes[4], accentuant leur directivité vers le voisinage.
- → Marteler les toupies ou les banches pour nettoyer le béton est une méthode qui produit du bruit et abîme le matériel. Il est préférable de rincer avant que le béton sèche.
- → Choisir une isolation thermique dans l'habitat pour s'isoler acoustiquement : les contraintes acoustiques peuvent être différentes (les isolants thermiques ne sont pas des isolants acoustiques).[5]

4. Les surfaces réfléchissantes ou miroirs acoustiques sont généralement des parois rigides et lisses : murs de béton, planches métalliques, vitrage.
5. Voir LBSC : III. B. ❸ « Solutions existantes – À la réception du bruit ».

b. Idées reçues

Plus généralement, de fausses interprétations circulent parfois sur le bruit et sur les moyens de l'empêcher ; voici à ce sujet quelques idées reçues suivies de réponses justifiées :

On s'habitue au bruit

↓

NON

Les effets sur la santé sont cumulatifs. Ils sont, notamment sur la fatigue et le stress pour les bruits de chantiers. Les effets ne sont par ailleurs pas toujours ressentis directement qu'il s'agisse de bruits plus (surdité partielle) ou moins forts (fatigue).

Il existe un niveau sonore limite à respecter pour les chantiers vis-à-vis du voisinage

↓

NON

Pas réglementairement ; la notion du respect du voisinage est plutôt qualitative ; les travaux sont conditionnés par la fourniture d'un dossier Bruit à la Préfecture, précisant les mesures prises pour limiter et réduire le bruit. Il revient donc aux responsables des chantiers de réduire leurs nuisances pour une meilleure acceptation.

Les travaux sont de plus en plus bruyants

↓

OUI ET NON

Des équipements de moins en moins bruyants sont utilisés, mais on rencontre souvent des interventions continues qui se poursuivent parfois même la nuit. Les zones urbaines s'étendent et se complexifient. Par conséquent, le nombre, la taille et la fréquence des chantiers croissent.

La haie/la clôture me protège du bruit

↓

OUI ET NON

De simples palissades (panneaux) ne sont pas des murs antibruits (qui eux sont lourds et absorbants pour atténuer la propagation des sons). Ils peuvent avoir en revanche un intérêt psychologique en masquant visuellement les sources de bruit.

On se moque de nous, on ne s'occupe pas du bruit du chantier vers le voisinage

↓

NON

Les réglementations en vigueur (bruits des équipements) et la sensibilité des entreprises sont de plus en plus fortes ; en effet, cette sensibilité commence par la protection des compagnons qui travaillent sur le site.

Une fois les travaux engagés, l'entreprise est reine et fait le bruit qu'elle veut

↓

NON

Une insuffisance de moyens pour réduire le bruit des travaux est passible de sanctions pénales (contravention de 5ème classe) et administratives, notamment la suspension d'activité jusqu'à l'exécution des mesures prescrites. Sur les chantiers du GPE, un agent de proximité est par ailleurs à l'écoute des riverains pour répondre aux problèmes occasionnés par le chantier.

Le bruit monte

↓

NON

Le bruit se propage dans toutes les directions. Divers paramètres de l'environnement urbain peuvent influer sur la direction de propagation : objets réfléchissants (façades ou écrans), angles de bâtiments (sommet d'une palissade ou d'un immeuble), conditions météorologiques, etc.

L'émergence du bruit de chantier est caractéristique de la gêne

↓

OUI

Un bruit non souhaité sera d'autant plus gênant qu'il émerge du bruit ambiant habituel d'un lieu ; un bruit de même niveau sonore est souvent plus gênant en milieu rural calme qu'en pleine ville.

Les écrans arrêtent le bruit

↓

OUI ET NON

Seulement si les contraintes pour son efficacité sont bien prises en compte : dimensionnement (position, longueur, hauteur), étanchéité, caractéristiques acoustiques en termes de transmission et d'absorption. Malgré tout, le son n'est pas complètement arrêté (voir plus loin).

Le dB(A) est l'indicateur de la gêne sonore

↓

OUI ET NON

Cette unité tient compte de l'intensité des sons (dB) et de la sensibilité de l'oreille aux différentes fréquences (pondération A). Néanmoins les bruits varient constamment dans l'espace, en fréquence, dans le temps… le dB(A) n'en est donc qu'une représentation réduite de la gêne, qui elle-même est influencée par des facteurs personnels de perception (conditions physiques et psychologiques, milieu socio-culturel, aspects cognitifs, historiques, etc.).

c. Physique du son

Les unités

Il existe des unités de mesure instantanées, moyennées sur une période de temps, d'autres prennent en compte les particularités de l'audition humaine ou permettent d'évaluer le bruit produit par une source sonore.

La pression acoustique

C'est la quantité physique du son. Le bruit est dû à une variation rapide de la pression régnant dans l'atmosphère. La pression acoustique est la différence entre la pression instantanée et la pression atmosphérique (notre oreille n'est pas sensible aux variations de la pression atmosphérique, qui se produisent trop lentement).

La pression acoustique s'exprime en Pa (Pascal) et on la note « p ».

Le décibel : dB

La sensation auditive de bruit est liée physiologiquement au logarithme de la pression acoustique « p ». De manière à caractériser le niveau sonore d'un bruit, on utilise une unité basée sur le logarithme : le décibel, noté dB.

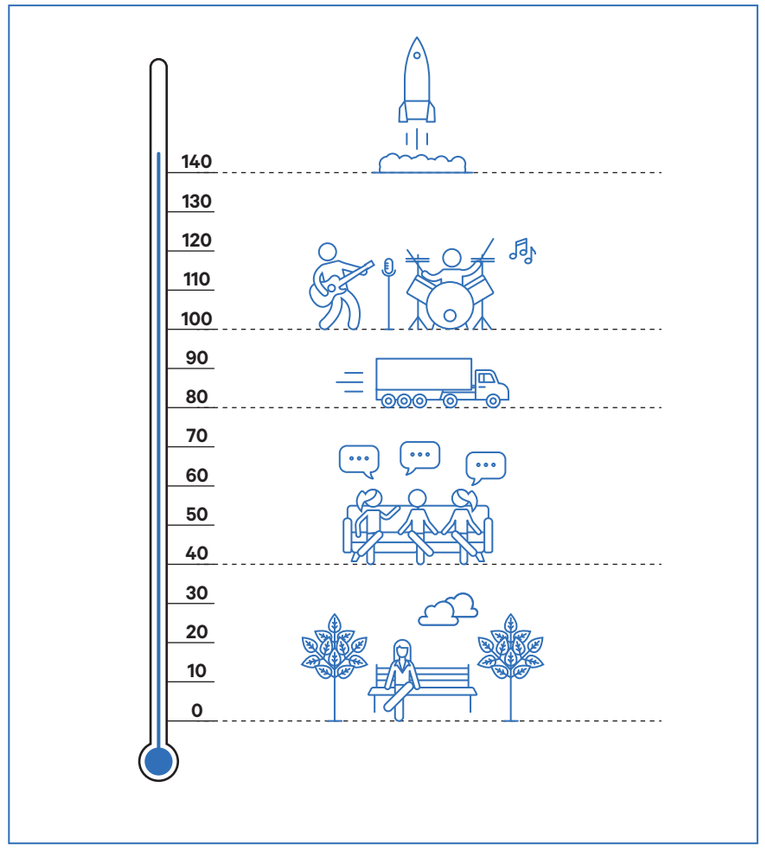
Le niveau de pression acoustique L_p se déduit donc de la relation suivante :

$$Lp = 10 \times Log\left(\frac{p^2}{p_0^2}\right)$$

p : La pression acoustique en Pa
p_0 : La pression acoustique de référence dans l'air, soit 20 µPa (micro pascal)

Dans la réalité, l'échelle de niveaux sonores auxquels nous pouvons être exposés varie de 10 à 140 dB(A). Nous en donnons quelques exemples ci-dessous.

Exemples de niveaux sonores variant de 10 à 140 dB(A).



En milieu urbain, en particulier pour des bruits de chantiers, on sera particulièrement attentifs aux niveaux les plus élevés. Par exemple le compagnon sur le site est parfois exposé à des niveau supérieurs à 80 dB(A) voire à plus de 100 dB(A).

Les façades des habitations riveraines peuvent être couramment exposées à des niveaux sonores de 70/75 dB(A)[4]. La nuit, le bruit produit par les activités, à savoir les chantiers, doit être moins fort. Le bruit de fond de la ville est réduit, les habitants ont besoin de silence. On estime que le bruit à l'intérieur de la chambre ne devrait pas dépasser 30 dB(A).[5]

4. Voir LBSC : II. A. 2. « Dossier Bruit ».
5. Voir LBSC : I. C. « Point réglementaire ».

La pondération A : correction pour la sensibilité de l'oreille humaine

Pour mesurer la gêne de manière pertinente, on doit mesurer non pas le bruit global produit par la source, mais le bruit effectivement entendu. Comme l'oreille humaine est plus sensible à certaines fréquences du bruit (notamment entre 1 000 Hz et 4 000 Hz), on utilise une « courbe de pondération A » qui donne un niveau sonore en dB(A) représentatif de la sensation auditive humaine.

Le dB(A) est l'unité la plus fréquemment utilisée en ce qui concerne la caractérisation des bruits dans l'environnement.

Niveaux sonores et indicateurs

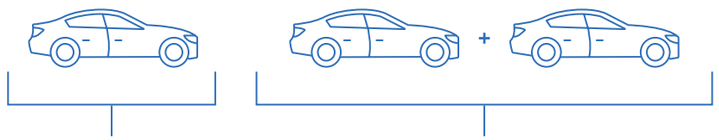
Les lois physiques et physiologiques liées au bruit imposent une arithmétique particulière. En effet, l'addition de deux niveaux sonores ne se fait pas du tout de la même manière que l'addition de deux nombres classiques : 60 dB + 60 dB ne font pas 120 dB !

Pour simplifier, nous ne rappellerons ici que les règles de base qui illustrent l'addition des niveaux sonores.

Doublement de la puissance

60 dB + 60 dB = 63 dB

Quand on additionne deux sources de même niveau, le résultat global augmente de 3 dB. Par exemple, le doublement du trafic routier correspond à une augmentation du niveau sonore de 3 dB (toutes choses restant égales par ailleurs : proportion de poids-lourds, vitesses, fluidité…)



Effet de masque

L'effet de masque est un phénomène très important pour les nuisances sonores sur les chantiers. En effet sur le chantier et à proximité, les bruits les plus forts masquent les sons plus faibles. Ce qui peut causer des problèmes de communication et des risques d'accident.

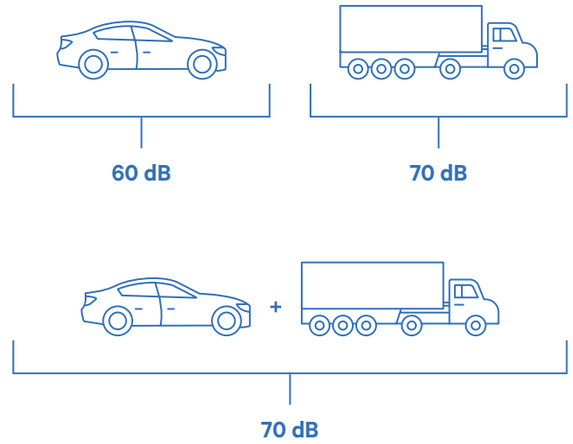
Si deux niveaux de bruit sont émis simultanément par deux sources sonores, et si le premier est au moins supérieur de 10 dB par rapport au second, le niveau sonore résultant est au plus grand des deux. Le bruit le plus faible est alors masqué par le plus fort.

Les bruits forts masquent les bruits faibles, ce qui signifie qu'en présence d'un bruit fort, les bruits plus faibles sont inaudibles. C'est ce qui se passe sur les chantiers quand un bruit d'engin masque les paroles des ouvriers. Cela peut être une des causes d'accident mais aussi de stress et de fatigue sur les chantiers.

60 dB + 70 dB = 70 dB

et par conséquent

70 dB – 60 dB = 70 dB !



Le niveau de pression acoustique continu équivalent

La plupart du temps, les bruits auxquels nous sommes soumis ne sont pas stables, leur niveau varie rapidement avec le temps : ce sont des bruits fluctuants (le bruit routier est en un exemple).

Il n'est alors plus possible de caractériser un tel bruit par son niveau sonore instantané. On utilise donc dans ce cas un indicateur appelé « niveau sonore (énergétique) continu équivalent » et noté $L_{eq,T}$ ou $L_{Aeq,T}$ (pour les bruits exprimés en dB(A)), T étant la période de temps sur laquelle on détermine cet indice.

Sur une période déterminée T, le L_{eq} est le niveau de bruit constant (stable dans le temps) qui aurait la même énergie que le bruit fluctuant considéré. Ce niveau continu équivalent constitue en quelque sorte une moyenne énergétique des niveaux de bruit.

Les indicateurs statistiques

Dans certaines situations sonores, le L_{Aeq} n'est pas suffisant pour l'appréciation des effets du bruit. On effectue également des analyses statistiques de L_{Aeq} courts qui permettent de déterminer les niveaux fractiles : $L_{N\%}$, c'est-à-dire les niveaux atteints ou dépassés pendant N% de la durée d'observation.

Ces situations se caractérisent par la présence de bruits intermittents, porteurs de beaucoup d'énergie mais qui ont une durée d'apparition suffisamment faible pour ne pas présenter, à l'oreille, d'effet de masque du bruit de l'installation. Une telle situation se rencontre notamment lorsqu'il existe un bruit de circulation discontinu (survol d'avion, passage de trains, de véhicules…).

Ainsi :

- → Le niveau L_{10}, atteint ou dépassé pendant 10 % du temps, représente le bruit de crête.
- → Le niveau L_{50}, médiane statistique, représente un bruit moyen.
- → Le niveau L_{90}, représente un bruit de fond.

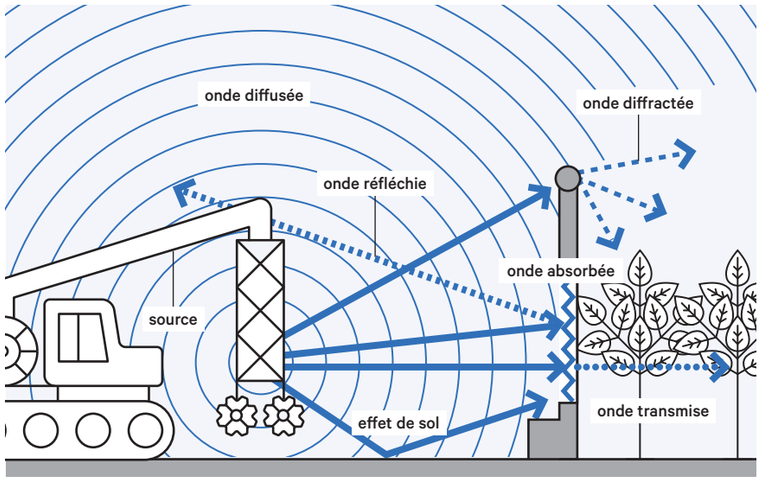
d. La propagation sonore et obstacles

Une source de bruit rayonne dans toutes les directions et le meilleur moyen d'arrêter le bruit se trouve au plus près de sa source ; on peut encoffrer la source dans une boîte épaisse et bien fermée, mais c'est rarement possible et souvent contre-productif sur un chantier.

Lorsque l'onde sonore rencontre un « écran » qui lui fait obstacle, une partie de l'énergie acoustique :

- → est transmise par l'écran,
- → est absorbée par l'écran,
- → est réfléchie par l'écran,
- → est diffractée sur les arêtes de l'écran.

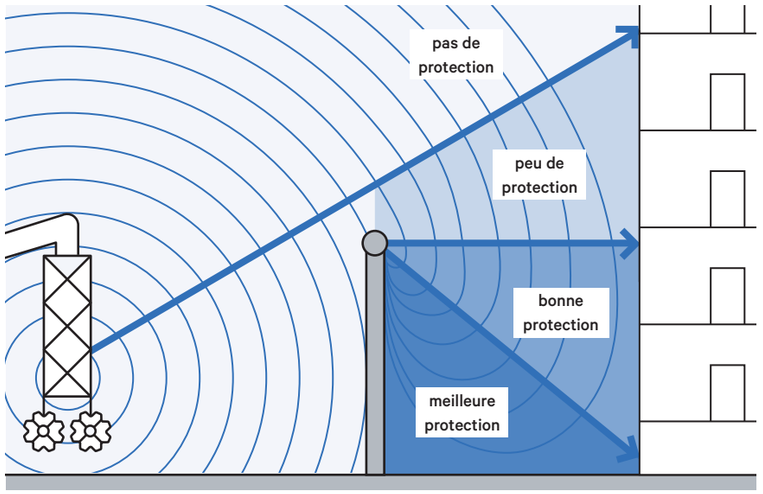
Phénomènes de propagation sonore.



La diffraction

La diffraction fonctionne comme pour un écran lumineux où l'énergie sur les arêtes de l'écran se rediffuse de manière atténuée : atténuation la plus forte juste derrière l'écran (on l'appelle la « zone d'ombre ») et atténuation de moins en moins forte avec la hauteur par rapport à l'arête horizontale.

Propagation des ondes sonores diffractée.



Ce phénomène de diffraction se produit également sur les arêtes verticales (extrémités du mur). L'écran antibruit se doit donc d'être suffisamment long et « imperméable » (sans fuite).

Pour réduire cet effet de diffraction et augmenter l'atténuation du bruit au sommet de l'écran, on pourra agir par :
- → augmentation de la hauteur d'écran ;
- → mise en place d'un couronnement au sommet (pièce en T par exemple).

La transmission

Une partie du son est transmis au travers de l'écran. Afin de réduire au maximum cet effet de transmission, deux principes s'appliquent :
- → ajouter de la masse à l'écran ;
- → associer des matériaux hétérogènes dans l'épaisseur du mur.

La réflexion

Le son peut être réfléchi : notamment sur les faces de l'écran et au sol. La réflexion sonore peut ainsi induire une augmentation des niveaux sonores du côté source sonore si l'écran ou le sol sont réfléchissants, et aussi du côté riverain si le sol y est réfléchissant. Il y a deux méthodes principales pour réduire cette augmentation :
- → rendre la surface et le sol absorbants (voir plus loin) ;
- → réfléchir le son de manière diffusive en ajoutant des irrégularités de surface.

L'absorption

L'absorption de matériaux ou du sol transforment l'énergie sonore en chaleur via un phénomène des particules ou matériaux qui entrent en vibration. L'absorption peut être augmentée en appliquant de la laine minérale côté source du mur antibruit, ou en travaillant sur un sol de terre plutôt que bétonné.

Le principe d'absorption peut rendre un écran antibruit significativement plus efficace et il empêchera un accroissement global des niveaux sonores émis.

Efficacité des écrans

L'utilisabilité acoustique des écrans peut être limitée et leur efficacité aussi ; par exemple par des effets tels que la diffraction, ou par l'influence de l'environnement comme la différence de hauteur entre chantier et façades riveraines.

Pour le bruit routier par exemple, une réduction du niveau sonore significative de 6 à 13 dB(A) est typiquement réalisable. Pour optimiser l'efficacité des écrans il faudra veiller au respect des principes suivants :
- → Hauteur et largeur suffisantes (pas de ligne de vue entre la source et le récepteur).
- → Doublage avec un matériau absorbant côté source de bruit.
- → Masse suffisante du mur pour réduire l'effet de transmission (> 15 à 25 kg/m² ou un indice d'affaiblissement acoustique d'environ 20/30 dB)
- → Pas d'ouverture ou de fuite dans le mur (on peut créer une chicane pour un passage par exemple).
- → Éventuel couronnement pour réduire l'effet de la diffraction.

e. Bruits solidiens et bruits aériens

Les bruits aériens sont ceux rencontrés à l'extérieur du chantier, générés par des sources directement dans l'air : les vibrations sonores naissent dans l'air et se propagent dans l'air. Ce sont les bruits les plus courants.

À l'intérieur des logements, il peut arriver que des bruits solidiens soient générés par ces mêmes sources de bruit – ou d'autres – lorsqu'elles ont un contact avec les structures (sol dur, bâtiment) : la vibration ou le choc générés par la source mettent en vibration la structure du bâtiment qui provoque un bruit solidien dans le logement.

Prenons par exemple le cas d'une foreuse : son moteur va générer un bruit aérien dans l'environnement extérieur et la fraise en rotation va générer des vibrations dans le sol, qui peuvent se transmettre dans le bâtiment voisin et y produire un bruit solidien.

Ainsi à l'intérieur de logements, il arrive que l'on soit confronté aux deux types de bruits aériens et solidiens : les premiers sont transmis au travers de la façade du logement, les seconds sont générés par la mise en vibration de sa structure.

C. POINT RÉGLEMEN-TAIRE

1. La réglementation française du bruit des chantiers : un outil évolutif

La loi ne fixe pas de références absolues en matière d'émissions sonores maximum acceptables (valeur, durée ni types de sons), ni de moyens à mettre en œuvre ou de sanctions applicables. En revanche, la réglementation pousse les maîtres d'ouvrage et les entreprises à respecter la tranquillité. du voisinage.

Cette faiblesse dans la réglementation et sa mise en œuvre[1] favorisent la finalisation des projets de construction contre la gêne du voisinage. Aujourd'hui, alors que les chantiers se multiplient, les solutions techniques permettant de réduire le bruit à la source existent. Réduire le bruit ne constitue donc plus un empêchement de finalisation. Des obligations plus contraignantes assorties de véritables sanctions favoriseraient donc la réduction du bruit des chantiers pour le voisinage comme pour les compagnons, sans les ralentir, ni les rendre plus coûteux.

Le progrès dans la résolution des problèmes de bruit est toutefois soumis à un biais problématique : Les Entreprises de Génie Civil s'engagent avant le démarrage du chantier à réduire leurs nuisances sonores, mais en cas de plaintes des riverains ou des collectivités locales, c'est le Maître d'Ouvrage qui doit assumer le plus souvent la responsabilité des nuisances. Il arrive que l'entreprise privilégie d'autres critères prioritaires que le bruit (simplicité, efficacité, coût…). Pour autant, quand les nuisances deviennent inacceptables et que la collectivité demande l'arrêt du chantier, l'entreprise se retrouve face à ses responsabilités. Il arrive que des entreprises revoient à la baisse leurs engagements une fois le chantier démarré, ou que l'obligation de réduire les nuisances soit invoquée comme une cause des retards du chantier.

Non, faire moins de bruit n'oblige pas à travailler plus lentement !
Les principales causes des retards sont liées à l'organisation des travaux ; la complexité plus grande que prévue et la sous-évaluation des risques imprévus. Le bruit n'y est pour rien. Au contraire, lorsque qu'il y a moins de bruit sur un chantier, on s'entend mieux, on peut travailler plus vite, assouplir les horaires, et donc gagner du temps.

Le suivi et le respect des engagements contractuels et la contrainte éventuelle en cas de dépassement des limites d'émission sonore sont donc impératifs pour progresser.

1. Les plaintes sont rarement suivi d'effet, les sanctions et compensations rares. Voir analyse de la jurisprudence Séminaire Silence Chantier (prof. Suzanne Carval)
https://drive.google.com/file/d/1PLDlLeSe22hOZEEXrOvkEOYxIHxSZSAf/view (time 2h03)
https://design-en-seminaire.ensci.com/thematiques/design-multi-sensoriel/silence-chantier#seminaire_silence_chantier

2. Les règles

La réglementation ne prévoit pas de seuils acoustiques absolus à respecter par tous les chantiers.

Les obligations du Maître d'Ouvrage sont d'être attentif à réduire la quantité de bruit généré par ses chantiers et concernent également la conformité des équipements de travaux utilisés ; en termes de gêne, on se réfère au décret n° 2006-1099 du 31 août 2006 relatif à la lutte contre les bruits de voisinage et modifiant le code de la santé publique [R12). Celui-ci indique :

> *Article R 1336-5 du Code de la santé publique [R16]*
> *Aucun bruit particulier ne doit, par sa durée, sa répétition ou son intensité, porter atteinte à la tranquillité du voisinage ou à la santé de l'homme, dans un lieu public ou privé, qu'une personne en soit elle-même à l'origine ou que ce soit par l'intermédiaire d'une personne, d'une chose dont elle a la garde ou d'un animal placé sous sa responsabilité.*

La gêne n'est donc pas une affaire de niveau sonore global et la réglementation tient effectivement compte des dimensions principales des signaux sonores émis : « durée », « répétition », « intensité » ; auxquelles on pourrait ajouter la « tonalité marquée » de certains bruits (fréquences particulières émergentes du bruit de fond) qui peut être à l'origine de plaintes.

Vis-à-vis du bruit des chantiers, le décret précise les contraintes et prévoit des sanctions en cas de non-respect (consignation, paiement, amende, arrêt des activités…) :

> *Article R 1336-10 du Code de la santé publique [R16]*
> *Si le bruit mentionné à l'article R. 1336-5 a pour origine un chantier de travaux publics ou privés, ou des travaux intéressant les bâtiments et leurs équipements soumis à une procédure de déclaration ou d'autorisation, l'atteinte à la tranquillité du voisinage ou à la santé de l'homme est caractérisée par l'une des circonstances suivantes :*
>
> > *1 – Le non-respect des conditions fixées par les autorités compétentes en ce qui concerne soit la réalisation des travaux, soit l'utilisation ou l'exploitation de matériels ou d'équipements ;*

> > *2 – L'insuffisance de précautions appropriées pour limiter ce bruit ;*
> > *3 – Un comportement anormalement bruyant.*
>
> *Article R 1336-11 du Code de la santé publique [R16]*
> *Lorsqu'elle a constaté l'inobservation des dispositions prévues aux articles R. 1336-6 à R. 1336-10, l'autorité administrative compétente peut prendre une ou plusieurs des mesures prévues à l'article L-171-8 du code de l'environnement.*

En particulier, le maître d'ouvrage se doit de respecter les arrêtés préfectoraux et/ou municipaux en vigueur : arrêté préfectoral limitant les horaires pour la réalisation de travaux bruyants par exemple.
Concernant les sanctions (voir le paragraphe « Jurisprudence » plus loin) l'Article L171-8 du code de l'environnement [R 5] indique :

> *I. – Indépendamment des poursuites pénales qui peuvent être exercées, en cas d'inobservation des prescriptions applicables en vertu du présent code aux installations, ouvrages, travaux, aménagements, opérations, objets, dispositifs et activités, l'autorité administrative compétente met en demeure la personne à laquelle incombe l'obligation d'y satisfaire dans un délai qu'elle détermine. En cas d'urgence, elle fixe les mesures nécessaires pour prévenir les dangers graves et imminents pour la santé, la sécurité publique ou l'environnement.*
>
> *II. – Si, à l'expiration du délai imparti, il n'a pas été déféré à la mise en demeure, l'autorité administrative compétente peut arrêter une ou plusieurs des sanctions administratives suivantes :*
>
> > *1° L'obliger à consigner entre les mains d'un comptable public avant une date qu'elle détermine une somme correspondant au montant des travaux ou opérations à réaliser. La somme consignée est restituée au fur et à mesure de l'exécution des travaux ou opérations.*
> > *Cette somme bénéficie d'un privilège de même rang que celui prévu à l'article 1920 du code général des impôts. Il est procédé à son recouvrement comme en matière de créances de l'État étrangères à l'impôt et au domaine. Le comptable peut engager la procédure d'avis à tiers détenteur prévue par l'article L. 263 du livre des procédures fiscales. L'opposition à l'état exécutoire pris en application d'une mesure de consignation ordonnée par l'autorité administrative devant le juge administratif n'a pas de caractère suspensif ;*

2° Faire procéder d'office, en lieu et place de la personne mise en demeure et à ses frais, à l'exécution des mesures prescrites ; les sommes consignées en application du 1° sont utilisées pour régler les dépenses ainsi engagées ;

3° Suspendre le fonctionnement des installations et ouvrages, la réalisation des travaux et des opérations ou l'exercice des activités jusqu'à l'exécution complète des conditions imposées et prendre les mesures conservatoires nécessaires, aux frais de la personne mise en demeure ;

4° Ordonner le paiement d'une amende au plus égale à 15 000 € et une astreinte journalière au plus égale à 1 500 € applicable à partir de la notification de la décision la fixant et jusqu'à satisfaction de la mise en demeure. Les dispositions des deuxième et troisième alinéas du 1° s'appliquent à l'astreinte.

Les amendes et les astreintes sont proportionnées à la gravité des manquements constatés et tiennent compte notamment de l'importance du trouble causé à l'environnement.

L'amende ne peut être prononcée au-delà d'un délai de trois ans à compter de la constatation des manquements.
Les mesures prévues aux 1°, 2° 3° et 4° ci-dessus sont prises après avoir informé l'intéressé de la possibilité de présenter ses observations dans un délai déterminé.

3. Obligations pour les travaux

Le décret applicable pour les bruits de chantiers des infrastructures de transports est le n° 95-22 du 9 janvier 1995, relatif à la limitation du bruit des aménagements et infrastructures de transports terrestres [R2] que l'on retrouve à l'article R. 571-50 du code de l'environnement.

L'article 8 du décret prévoit l'obligation pour les Maîtres d'Ouvrages de prendre en compte ces nuisances dans l'organisation d'un chantier, et d'informer les autorités et le public par un dossier contenant les mesures adoptées pour les réduire :

Art. 8. – Préalablement au démarrage d'un chantier de construction, de modification ou de transformation significative d'une infrastructure de transports terrestres, le maître d'ouvrage fournit au préfet de chacun des départements concernés et aux maires des communes sur le territoire desquelles sont prévus les travaux et les installations de chantier les éléments d'information utiles sur la nature du chantier, sa durée prévisible, les nuisances sonores attendues ainsi que les mesures prises pour limiter ces nuisances.

Ces éléments doivent parvenir aux autorités concernées un mois au moins avant le démarrage du chantier.
Au vu de ces éléments le préfet peut, lorsqu'il estime que les nuisances sonores attendues sont de nature à causer un trouble excessif aux personnes, prescrire par un arrêté motivé, pris après avis des maires des communes concernées et du maître d'ouvrage, des mesures particulières de fonctionnement du chantier, notamment en ce qui concerne ses accès et ses horaires.

Faute de réponse dans le délai de quinze jours suivant la demande du préfet, cet avis est réputé favorable.
Lorsque les travaux concernent plusieurs départements, l'arrêté est pris conjointement par les préfets de ces départements.

Le maître d'ouvrage informe le public de ces éléments par tout moyen approprié.

Certains travaux ne peuvent se réaliser sans bruit, et des dérogations exceptionnelles[2] peuvent être obtenues auprès des autorités compétentes (préfecture, municipalité) pour la réalisation de phases bruyantes à certains horaires et/ou à proximité d'établissements sensibles (hôpitaux, crèches, maisons de retraite, établissements d'enseignement, etc.).

2. Ces dérogations dites exceptionnelles sont souvent nécessaires et font l'objet de discussions entre le MOA, les collectivités (mairie, préfecture) et l'état qui peut intervenir en dernier recours. Des engagements de garantie acoustiques tels que ceux proposés dans le LBSC II. B. 1. pourraient faciliter ces échanges.

4. Conformité des engins

Les textes réglementaires français relatifs à l'insonorisation des matériels et engins de chantier sont les suivants :

- Décret n° 69-380 du 18 avril 1969 [R1] relatif à l'insonorisation des engins de chantiers : Ce texte a été modifié par le décret n° 93-726 du 29 mars 1993 et en partie abrogé par le décret n° 95-79 du 23 janvier 1995, pris pour l'application de l'article 2 de la loi Bruit n° 92-1444 du 31 décembre 1992.
- Arrêté du 12 mai 1997 [R5] abrogeant les dispositions de l'arrêté du 2 janvier 1986 fixant les dispositions communes applicables aux matériels et engins de chantier ainsi que les arrêtés de la même date fixant :
  - les procédures d'homologations des matériels et engins de chantier,
  - les niveaux maxima d'émission sonore autorisés par catégories d'engins (moto-compresseurs, moteurs à explosion ou à combustion interne, groupes électrogènes, ...).
- Arrêté du 18 mars 2002 [R6] relatif aux émissions sonores dans l'environnement des matériels destinés à être utilisés à l'extérieur des bâtiments.
- Arrêté du 21 janvier 2004 [R8] relatif au régime des émissions sonores des matériels destinés à être utilisés à l'extérieur
- Arrêté du 22 mai 2006 [R11] modifiant le tableau figurant à l'article 5 de l'arrêté du 18 mars 2002 susvisé.

Ces derniers arrêtés résultent de la transposition de directives européennes depuis 2002 :

- Directive 2000/14/CE du 8 mai 2000 relative aux émissions sonores dans l'environnement des matériels utilisés en extérieur.
- Directive 2005/88/CE du 14 décembre 2005 [R9] modifiant la directive 2000/14/CE concernant le rapprochement des législations des États membres relatives aux émissions sonores dans l'environnement des matériels destinés à être utilisés à l'extérieur des bâtiments
- Directive 2006/42/CE du 17 mai 2006 [R10] relative aux machines et modifiant la directive 95/16/CE.

En résumé, ils fixent les conditions d'utilisation d'engins sur les chantiers avec 63 catégories d'engins concernées :

- dont 22 catégories qui sont soumises à un étiquetage et une limitation du niveau de puissance acoustique (motocompresseurs, brise-béton et marteaux-piqueurs à main, grues mobiles, groupes électrogènes de puissance < 400 kW...).
- dont 41 catégories qui sont soumises uniquement à un étiquetage du niveau de puissance acoustique (malaxeurs à béton ou à mortier, treuils de chantier à moteur électrique, appareils de forage, brise-roche hydrauliques, groupes électrogènes de puissance ≥ 400 kW...).

Chaque engin doit être marqué du marquage « CE » et de l'indication du niveau de puissance acoustique garanti.

5. Les Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE) soumises à Autorisation

Il existe sur les chantiers des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE) soumises à Autorisation[3] , le plus souvent à cause de risques de pollutions (stockage de produits à risque et/ou de déchets). C'est le cas par exemple de certaines centrales à boue/béton de chantiers du GPE (cas assez rare).

Ces installations se voient alors soumises à une législation propre qui est relativement contraignante d'un point de vue acoustique, c'est l'arrêté du 23 janvier 1997 [R4] qui fixe les dispositions applicables aux installations nouvelles soumises à autorisation ainsi qu'aux installations existantes faisant l'objet d'une modification autorisée.

En résumé, les émissions sonores de l'installation ne doivent pas engendrer une émergence, dans les zones où celle-ci est réglementée, supérieure à des valeurs définies en fonction de la période considérée (diurne et nocturne) et également du niveau de bruit ambiant.

L'émergence est notamment réglementée à l'intérieur des immeubles habités ou occupés par des tiers, existant à la date de l'arrêté d'autorisation de l'installation et leurs parties extérieures éventuelles les plus proches (cour, jardin terrasse), ainsi que pour les terrains constructibles. Les valeurs admissibles de l'émergence sont rappelées dans le tableau ci-dessous :

Niveau de bruit ambiant existant dans les zones à émergence réglementée (incluant le bruit de l'établissement)	**Émergence admissible pour la période diurne** (7h-22h), sauf dimanches et jours fériés	**Émergence admissible pour la période nocturne** (22h-7h), ainsi que dimanches et jours fériés
> 35 dB(A) et ≤ à 45 dB(A)	6 dB(A)	4 dB(A)
> 45 dB(A)	6 dB(A)	3 dB(A)

3. La réglementation relative aux ICPE soumises à Autorisation est bien plus contraignante en termes d'émissions sonores que pour les ICPE soumises à Enregistrement ou soumises à Déclaration (ces dernières ICPE sont les plus courantes sur les chantiers, en tout cas pour ceux de la SGP).

Par ailleurs, il est précisé à l'article 3 de l'arrêté que :

> *« [...] L'arrêté préfectoral d'autorisation fixe, pour chacune des périodes de la journée (diurne et nocturne), les niveaux de bruit à ne pas dépasser en limite de propriété de l'établissement, déterminés de manière à assurer le respect des valeurs d'émergence admissibles. Les valeurs fixées par l'arrêté d'autorisation ne peuvent excéder 70 dB(A) pour la période de jour et 60 dB(A) pour la période de nuit, sauf si le bruit résiduel pour la période considérée est supérieur à cette limite [...] »*

Précisons que le respect des valeurs de 70 et 60 dB(A) ne garantissent pas obligatoirement le respect des émergences dans les zones à émergence réglementée, ce dernier représentant une condition plus contraignante à respecter.

6. Jurisprudence

Les informations présentées ci-dessous sont extraites du site internet du CIDB.

Les nuisances sonores peuvent être contrôlées par le juge (pénal, civil ou administratif selon les cas) en termes de réglementations relatives à :
- → leur prévention ;
- → leur répression ;
- → l'indemnisation des préjudices correspondants.

Par ailleurs, lorsque l'auteur du dommage est une personne publique ou que le dommage résulte de travaux publics ou d'ouvrages publics, la responsabilité de la puissance publique peut être retenue.

En termes de prévention, les nuisances peuvent être limitées par l'autorité compétente en termes d'horaires et périodes de travaux :
par exemple, arrêté d'interdiction de travaux en été dans une station balnéaire.

Le maire d'une commune balnéaire avait, par arrêté, interdit, sur toute l'étendue de la commune, entre le 1er juillet et le 31 août, les travaux de construction. Cet arrêté a été considéré comme légal par la Cour de cassation au motif que des travaux pouvaient être réglementés « dès lors qu'ils nuisent à l'environnement par le bruit, les poussières (...) » L'arrêt d'appel a précisé que pouvaient constituer de telles nuisances, les bruits importants causés par le fonctionnement d'une grue, d'une pelleteuse ou le déchargement de camions (Cour d'appel de Caen, 1er juin 1995, n° 049318 ; Cour de cassation, 3e chambre civile, 10 mars 1993, n° 447D, pourvoi n° 90-19.405/B).

Néanmoins, l'autorisation accordée par le maire ne dégage pas l'auteur du bruit de toute responsabilité. Ainsi, l'arrêt en appel a condamné le responsable d'une activité autorisée par le maire à indemniser les riverains pour le préjudice subi, en raison des nuisances sonores générées (Cour d'appel d'Aix-en-Provence, 11 mai 1988, Juris-Data n° 04729).

En termes de répression, ce sont les chantiers de travaux publics ou privés soumis à autorisation ou déclaration qui sont visés, en cas de non-conformité à l'article R. 1336-10 du code de la santé publique.

En termes d'indemnisation des préjudices, la jurisprudence a admis certains troubles de voisinage et en a exclu d'autres.

Des exemples de préjudices établis peuvent être constitués sur :
- → Une durée excessive des travaux : C.A. de Paris, 10 mai 1989, Reza contre Delorme, Juris-Data n° 022117 ; C.A. de Rennes, 21 mai 2013, Sté la Petite Fourchette EURL contre Sté Kaufman & Broad, Juris-Data n° 015289 ; C.A. de Rouen, 13 mars 2013, SAS Le Fol TP contre SNC Immo Mousquetaires Régin parisienne et autres, Juris-Data n° 008708.
- → Des travaux de construction entrepris par deux sociétés sur des terrains jouxtant un camping : C.A. de Bastia, 10 avril 2013, M. Raymond Egéa contre Mme Antoinette de la Rossat, Juris-Data n° 2013-012275.
- → Des travaux caractérisés pat d'importantes nuisances auditives et olfactives produites de manière continue : C.A. de Versailles, 29 septembre 2011, Mme Joenta Lachacka Bozenna épouse Kowalczyk et autre contre SARL Constructeurs parisiens et autres, req. n° 10/00303.

Des exemples de jurisprudence ne retenant pas systématiquement la gêne occasionnée peuvent se fonder sur :
- → La base légale ; article 1242 du code civil[3] ne peut permettre réparation du préjudice causé par un chantier dans la mesure où la personne qui a les pouvoirs d'usage, de direction et de contrôle d'une chose est responsable des dommages causés par cette chose. Or la jurisprudence (C.A. de Paris, 7 mai 1988, Galuz contre SNC université foncière, Juris-Data n° 021025) ne considère pas un chantier comme une chose.
- → Le fait que les troubles sont inévitables ; c'est le cas par exemple de la proximité d'un chantier nécessaire à la démolition de l'immeuble voisin (C.A. de Besançon, 20 janvier 1987, Syndicat des copropriétaires conte Strachhi, Juris-Data n° 040740).
- → Du lieu ; les troubles ne dépassent pas les bruits entendus en ville (C.A. de Paris, 27 janvier 1989, SCI du 12 rue de l'Abbé de l'Epée contre Maret, Juris-Data n° 024657).
- → De la personne ; un syndicat de copropriété (personne morale) n'est pas recevable à demander la réparation des troubles de voisinage perçus par des personnes physiques (C.A. de Paris, 12 avril 1991, Syndicat des copropriétaires 14 rue de l'Abbé de l'Epée Paris 5 contre SCI du 12 rue de l'Abbé de l'Epée, Juris-Data n° 021113).

3. « La responsabilité du fait des choses » n° 1242 depuis l'ordonnance du 10 février 2016 ; anciennement article 1384.

7. Références réglementaires

[R 1] Décret nº 69-380 du 18 avril 1969 relatif à l'insonorisation des engins de chantiers : Ce texte a été modifié par le décret nº 93-726 du 29 mars 1993 et en partie abrogé par le décret nº 95-79 du 23 janvier 1995, pris pour l'application de l'article 2 de la loi Bruit nº 92-1444 du 31 décembre 1992.

[R 2] Décret nº 95-22 du 9 janvier 1995, relatif à la limitation du bruit des aménagements et infrastructures de transports terrestres.

[R 3] Décret nº 95-79 du 23 janvier 1995 fixant les prescriptions prévues par l'article 2 de la loi nº 2-1444 du 31 décembre 1992 et relatives aux objets bruyants et aux dispositifs d'insonorisation.

[R 4] Arrêté du 23 janvier 1997 relatif à la limitation des bruits émis dans l'environnement par les ICPE.

[R 5] Arrêté du 12 mai 1997 relatif aux émissions sonores des engins de chantier.

[R 6] Arrêté du 18 mars 2002 relatif aux émissions sonores dans l'environnement des matériels destinés à être utilisés à l'extérieur des bâtiments.

[R 7] Directive 2002/49/CE du 25 juin 2002 relative à l'évaluation et à la gestion du bruit dans l'environnement.

[R 8] Arrêté du 21 janvier 2004 relatif au régime des émissions sonores des matériels destinés à être utilisés à l'extérieur.

[R 9] Directive 2005/88/CE du 14 décembre 2005 modifiant la directive 2000/14/CE concernant le rapprochement des législations des États membres relatives aux émissions sonores dans l'environnement des matériels destinés à être utilisés à l'extérieur des bâtiments.

[R 10] Directive 2006/42/CE du 17 mai 2006 relative aux machines et modifiant la directive 95/16/CE.

[R 11] Arrêté du 22 mai 2006 modifiant le tableau figurant à l'article 5 de l'arrêté du 18 mars 2002 susvisé.

[R 12] Décret nº 2006-1099 du 31 août 2006 relatif à la lutte contre les bruits de voisinage.

[R 13] Code de l'environnement (Chapitre I – Lutte contre le bruit : Aménagements, infrastructures et matériels de transports terrestres – articles L571-9 et R571-44 à R571-52).

[R 14] Code de l'environnement (Chapitre I – Lutte contre le bruit : Activités bruyantes – articles L571-6 à L571-8, R571-25 à R571-30 et R571-92 à R571-96).

[R 15] Code de l'environnement (Chapitre II – Évaluation, prévention et réduction du bruit dans l'environnement – articles L572-1 à L572-11 ; Titre VII Article L171-8 modifié par la loi nº 2017-227 du 24 février 2017 – art. 20).

[R 16] Code de la santé publique (articles modifiés par le décret nº 2017-1244 du 7 août 2017 – art.1).

D. REVUE INTERNATIONALE

I. D.

Bruits de construction en Europe : extensions des lignes de métro, solutions et labels de qualité

La construction des nouvelles stations de métro est une cause importante de nuisances sonores, notamment lorsque les chantiers sont à proximité de zones sensibles aux bruits, avec habitations, écoles, hôpitaux, maternités, crèches, commerces… Les mêmes causes produisent les mêmes effets en France comme ailleurs dans le monde. Par ailleurs, lorsque l'auteur du dommage est une personne publique ou que le dommage résulte de travaux publics ou d'ouvrages publics, la responsabilité de la puissance publique peut être retenue.

Une sélection de dispositifs déjà existant dans d'autres pays européens sont présentées ici puis développées dans la suite du Libre Blanc Silence Chantier.

Les nuisances sonores étant un problème de santé publique tangible : réduction de la concentration, accroissement des hormones de stress, privation de sommeil, réduction des performances humaines… ayant même parfois des conséquences graves ; l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS[1]) a publié des recommandations à ce sujet :

« WHO Guidelines for Community Noise » (2009)[2]

« WHO Night Noise Guidelines for Europe » (2009)[3]

« Occupational exposure to noise – evaluation, prevention and control. »[4]

1. OMS = World Health Organisation (WHO).
2. apps.who.int/iris/bitstream/10665/66217/1/a68672.pdf
3. www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0017/43316/E92845.pdf?ua=1
4. www.who.int/occupational_health/publications/noise.pdf?ua=1

Dans l'Union Européenne (UE) ces recommandations de l'OMS ont été transposées sous la forme de deux directives :

- Les directives « machines » 2000/14/CE 2005/88/CE 2006/42/CE qui régulent les émissions de bruit des équipements extérieurs[5].
- La Directive « bruit dans l'environnement » 2002/49/CE[6] relative à l'évaluation et la gestion du bruit dans l'environnement. Cette directive est le principal instrument permettant de mesurer le niveau de pollution sonore et de déclencher les actions nécessaires au niveau de chaque État Membre et à l'échelle communautaire.

En application de ces deux directives, les états membres de l'Union Européenne ont l'obligation d'adapter les standards de protection de leurs habitants vis-à-vis de niveaux excessifs de bruit. Mais, la mise en œuvre pertinente de la directive du bruit dans l'environnement reste difficile pour les chantiers, car elle concerne principalement le bruit des transports. Quant à la réglementation pour les émissions sonores des machines dans l'environnement, elle a pour principal objectif de protéger les personnes au travail vis-à-vis de de la perte d'audition.

Actuellement, il n'existe finalement pas de directive pour le bruit des chantiers de construction en Europe. Si l'on met en regard de cela l'échelle des extensions de métropoles et de leurs réseaux de transports, le nombre et la durée des chantiers nécessaires, il apparait que la loi fait défaut et qu'aujourd'hui la créativité est requise pour protéger les riverains.

Aujourd'hui, même si le projet du Grand Paris Express est le plus grand en Europe, la métropole du Grand Paris n'est pas la seule à étendre son réseau ni à faire-face à la gêne de ses habitants[7], par exemple : Copenhague qui étend actuellement son métro avec la nouvelle ligne CityRingen : 17 nouvelles stations et 16 km de voies souterraines. À Amsterdam, la Noord-zuidlijn (ligne nord-sud) est presque achevée avec 5 nouvelles stations et 7km de tunnel ferroviaire. L'Underground londonien s'étend également avec le projet Crossrail, soit 10 nouvelles stations au centre de Londres et 30 nouvelles à l'ouest et à l'est du Grand Londres. Des exemples sur ces projets peuvent être retenus pour maîtriser la pollution sonore.

À Copenhague,
une loi est passée pour permettre aux habitants de réclamer des compensations si le bruit dépasse un certain seuil.

À Londres,
le *Noise Insulation Package* permet à des riverains éligibles, de bénéficier d'un traitement acoustique de leur façade ou d'un relogement temporaire.

5. eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32000L0014
6. eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32002L0049

7. Voir développement LBSC : III. B. ❸ 2. « International compensation et isolation riverains ».

En parallèle des démarches légales menées à Copenhague[8] et à Londres, l'ingénierie permet d'apporter des solutions, par exemple les stations de métro construites au centre d'Amsterdam sont entièrement réalisées sous terre. Ainsi, dès que la première phase de creusement initiale est achevée, les travaux ne produisent plus de bruit à la surface ; une configuration que l'on retrouve d'ailleurs sur certains chantiers de la ligne 15 Sud du GPE. Bien entendu, cela ne résout pas les problèmes de bruit dus aux circulations, par exemple à l'évacuation de la terre.

Une autre facette intéressante des chantiers à Amsterdam concerne la réglementation des bruits émis. En application de la circulaire *bouwlawaai* (2010), la production de bruit autour des chantiers de construction est limitée.[9]

De nombreuses études montrent que les bruits de chantiers constituent une des principales causes de nuisance sonore en Europe. Mais les raisons pour lesquelles le problème du bruit des chantiers n'a pas encore disparu proviennent du manque de communication entre les constructeurs et les résidents, les constructeurs se comportant comme des voisins non concernés. Il existe pourtant des plateformes d'échanges, comme *Considerate Constructors* au Royaume-Uni et *bewuste bouwers* en Hollande, permettant un meilleur partage d'information et une plus grande solidarité entre les constructeurs et les citoyens[10]. Les entreprises des chantiers peuvent en être membres et montrer leur attention à l'environnement. Ces plateformes publient les bonnes pratiques et un code général de bonne conduite pour réduire les nuisances des chantiers. Par exemple, Crossrail oblige les constructeurs à être membres de la plateforme *Considerate Constructors*.[11]

Dans d'autres secteurs, les méthodes de réduction des nuisances sonores ont pris la forme de labels de qualité environnementale. En Europe, tous les produits doivent porter le label CE qui indique qu'ils remplissent les conditions légales pour la santé, la sécurité et respectent l'ensemble des règles environnementales de l'UE, y compris concernant la production de bruit.[12] Un projet de certification pour le niveau de bruit des livraisons de nuit a été initié par la Hollande, la certification « Piek », qui comme son nom le suggère indique la limite du niveau sonore maximum ou en crête (peak) ; cette certification a été adopté par plusieurs pays membres de l'UE (UK, France, DE, Belgique)[13].

En France, le label de qualité Certibruit[14] porte lui sur l'ensemble de la chaine de livraison, incluant par exemple l'éducation des conducteurs. Les règlements du bruit dans d'autres pays ne sont pas toujours applicables en France car les systèmes juridiques sont différents. Si d'autres pays ont mieux réussi à réduire les bruits des chantiers, c'est souvent parce que la législation les a aidés. Mais c'est aussi et surtout grâce à une prise de conscience et un activisme communautaire plus dynamique (« grassroots movements » par exemple).

8. Voir développement LBSC : III. B. ❷ 1. d. « Écrans et projet artistique à Copenhague (DK) ».

9. Voir développement LBSC : III. B. ❷ 2. b. « Creusement en souterrain : technique de murs-plafond ».

10. Voir développement LBSC : II. B. ❷ 2. « Déontologie professionnelle, conventions, collectives, certifications et labels ».
11. www.ccscheme.org.uk

12. Voir LBSC : II. B. ❶ 1. « Conception juridique – Points Bruit ».
13. www.piek-international.com/france

14. www.certibruit.fr

E.
LES ACTIONS EN COURS MENÉES PAR LA SGP

Pour la Société du Grand Paris, limiter l'impact de ses travaux sur leur environnement est un enjeu majeur dans la réussite globale de son projet. Les caractéristiques du Grand Paris Express font en effet de sa réalisation un processus très impactant pour les riverains et les collectivités concernées, en raison notamment :

→ D'un projet défini pour desservir des milieux urbains déjà denses en Petite Couronne, ce qui implique des chantiers à proximité immédiate des habitations, des commerces et des bureaux.
→ De chantiers qui se multiplient, car la réglementation impose de construire un ouvrage d'évacuation (puits/ouvrages annexes aux gares) tous les 800m de tunnel ; les riverains et les collectivités sont par conséquent impactés de façons multiples sur leur territoire.
→ De chantiers qui se déploient sur des durées très longues (6-7 ans pour construire une gare).

Dans ce cadre, la Société du Grand Paris – consciente que ses chantiers sont et seront une source importante de nuisances, notamment sonores, pour son environnement immédiat – s'est fixée l'objectif de limiter au maximum leur impact sur les riverains au sens large (habitants, commerces, entreprises, etc.), afin de garantir l'acceptabilité de ses chantiers dans la durée.

1. Avant les travaux : anticiper les nuisances sonores

En amont des chantiers, la Société du Grand Paris a souhaité se doter des outils pour maîtriser les nuisances sonores générées par ses travaux, ce qui passait (a) par une connaissance fine de ses sites d'intervention afin d'évaluer leur sensibilité, (b) par la prise en compte du bruit dans la définition des méthodes constructives et (c) par l'instauration de leviers contractuels lui permettant d'agir une fois les entreprises de travaux désignées :

(a) La SGP a piloté une campagne de diagnostics initiaux, réalisés par des bureaux d'études spécialisés en environnement pour l'ensemble des sites concernés par les travaux du GPE. L'objectif était d'identifier les sites les plus sensibles, afin anticiper les mesures spécifiques d'atténuation du bruit.

Les entreprises de travaux ont eu par la suite à charge d'établir une nouvelle version de cet « état zéro » afin de servir de base à l'établissement des seuils acoustiques tolérables pour les riverains.

(b) Pour chaque ouvrage du Grand Paris Express (gares et ouvrages de service), les méthodes constructives, en particulier le choix d'un creusement en taupe ou à ciel ouvert, ont été définies en prenant notamment en compte l'enjeu du bruit.

(c) Par ailleurs, la SGP a intégré dans ses marchés de Génie Civil une Notice de Respect de l'Environnement (NRE), qui définit – notamment sur la question du bruit – les mesures génériques applicables à tous les chantiers et les mesures spécifiques suivant la sensibilité de chaque site.

Les entreprises ont ensuite l'obligation légale d'élaborer un Dossier Bruit de chantier, qui présente une description des matériels et engins utilisés, les horaires de travail, une évaluation de l'impact des travaux sur les riverains et la description des mesures à mettre en œuvre pour limiter ces nuisances. Ce Dossier Bruit est transmis au Préfet et au Maire de la commune concernée au moins 1 mois avant le démarrage des travaux, puis rendu public.

La SGP a instauré dans ses marchés de Génie Civil des clauses contractuelles visant spécifiquement à limiter les nuisances sonores de chantier. Les marchés de travaux restreignent la marge de manœuvre des entreprises sur les engins les plus bruyants, notamment par la généralisation du système Cri du Lynx®, qui remplace les avertisseurs de recul sur la plupart des engins et des poids lourds, ce qui permet de limiter drastiquement la gêne sonore.

2. Pendant les travaux : limiter les nuisances sonores et leur impact

Depuis le démarrage des chantiers sur la Ligne 15 Sud du Grand Paris Express, la SGP se mobilise pour concilier les objectifs fixés en phase études avec la réalité des travaux qu'elle doit piloter, et poursuit dans ce cadre un triple-objectif :

- → Mobiliser autant que possible les dispositifs d'atténuation du bruit existants.
- → Suivre les nuisances sonores générées sur les chantiers, pour être en mesure d'anticiper les difficultés et de réagir efficacement avant que la situation devienne inacceptable.
- → Assurer une communication transparente auprès des riverains, afin de rendre ces nuisances les plus acceptables possible pour ceux qui les subissent.

a. Atténuer les nuisances sonores

La SGP demande à ses entreprises d'organiser leurs chantiers en prêtant une attention particulière à l'enjeu des nuisances sonores.
Par exemple, dès que la configuration du site le permet :

- → Le plan de circulation à l'intérieur du chantier est conçu pour minimiser les manœuvres, en particulier les marches arrière qui impliquent l'utilisation d'avertisseurs sonores de sécurité ;
- → Les bungalows de chantier sont positionnés pour jouer un rôle d'écran acoustique vis-à-vis des immeubles les plus exposés ;
- → Les installations et engins les plus bruyants (centrales à boue, groupes électrogènes) sont positionnées au plus loin des riverains ou capotées.

Cependant, la SGP est consciente que la réalisation de travaux – en particulier d'une ampleur telle que ceux du Grand Paris Express – est une activité bruyante par nature, et que les impératifs techniques empêchent très souvent d'atténuer les nuisances de manière satisfaisante. Par exemple, certaines opérations, comme la construction des parois moulées, se déroulent nécessairement en pourtour du chantier ce qui génère des nuisances sonores au plus près des habitations.

La mise en place de dispositifs matériels d'atténuation du bruit
En complément des efforts sur l'organisation du chantier, la SGP demande à ses entreprises d'équiper les chantiers les plus sensibles de dispositifs spécifiques d'atténuation du bruit, dont la hauteur et les caractéristiques sont définies en fonction du site : des bâches acoustiques accrochées directement aux palissades de chantiers, ou des panneaux acoustiques qui remplacent totalement les palissades traditionnelles. Les entreprises procèdent par ailleurs, lorsque c'est techniquement réalisable, au capotage

acoustique des engins les plus bruyants (par exemple le dessableur des centrales à boue). Pour autant, l'objectif d'atténuation du bruit se heurte régulièrement à d'autres types de nuisances. Par exemple, les palissades acoustiques dressées entre le chantier et les habitations les plus proches impliquent souvent une perte drastique de luminosité pour les habitants.

b. Suivre et anticiper les nuisances sonores

Afin de pouvoir réagir avant que les nuisances sonores deviennent insupportables, les entreprises du Grand Paris Express sont tenues d'établir dans leurs Dossiers Bruit, des seuils de vigilance et d'alerte. Les entreprises doivent également assurer un suivi 24h/24 des chantiers, en plaçant des sonomètres autour des chantiers. Les Maîtres d'œuvre et les collaborateurs de la SGP peuvent ainsi être alertés et retrouver à tout moment l'historique des niveaux de bruit mesurés par chaque appareil.

En cas d'alerte, la SGP échange ensuite avec l'entreprise pour négocier la mise en place d'actions correctives : adaptations de méthode, changement d'outils de forage, ralentissement des cadences, etc.

De plus, la SGP a créé le fichier GASEL[1] afin d'anticiper les nuisances du quotidien provoquées par les chantiers. Si la connaissance des grandes phases de travaux permet de connaître à l'avance les périodes les plus bruyantes, l'expérience montre que les nuisances les plus ponctuelles et les plus inattendues sont celles qui impactent le plus négativement la perception des riverains. La SGP demande donc aux entreprises – via ce fichier GASEL – de l'informer chaque semaine des nuisances qui seront générées par les travaux des trois semaines suivantes. Ce fichier permet à la SGP d'avoir connaissance, avec quelques jours d'avance, de nuisances qu'il serait impossible d'anticiper avant qu'elles soient planifiées par l'entreprise (par exemple, la date d'arrivée d'un convoi exceptionnel de nuit, la phase de recépage des parois moulées, etc.). Sur la base de ce fichier, la SGP mobilise les leviers d'action dont elle dispose, notamment la communication pour permettre aux riverains de s'y préparer.

1. Grille d'Analyse des Sensibilités Locales.

La Météo des Chantiers

La « Météo de chantier » est une solution numérique innovante en cours de déploiement sur la Ligne 15Sud et la Ligne 16, qui permet aux riverains d'être informés en temps réel et en prévisionnel sur les nuisances, en particulier sonores, générées par les chantiers. Elle a été développée par un groupe d'étudiants de l'EPITA dans le cadre d'un « Défi Jeunes Talents », porté par la Mission Innovation de la Société du Grand Paris. La solution permet également de mobiliser l'ensemble des acteurs de l'écosystème du GPE pour mieux maîtriser les impacts des nuisances sonores, qui constitue l'un des grands enjeux du projet.

c. Communiquer

La SGP mobilise tous les canaux de communication dont elle dispose pour compléter les dispositifs matériels d'atténuation du bruit et favoriser l'acceptabilité de ses chantiers sur le terrain. L'expérience montre en effet que la nuisance sonore est une notion partiellement subjective, et qu'une stratégie de communication transparente, qui s'inscrit dans une réalité concrète d'avancement du projet améliore grandement la perception du bruit par les personnes qui y sont exposées.

Les supports et outils de communication déployés par la SGP et relayés par ses partenaires bien en amont des perturbations, en phase de travaux préparatoires puis en phase de génie civil, donnent ainsi aux riverains une information sincère et fiable sur les nuisances générées par les chantiers.

L'acceptabilité des chantiers du GPE passe également par un important effort de pédagogie mené par les équipes de la SGP sur le terrain. Celles-ci travaillent en collaboration directe avec les collectivités et interviennent régulièrement dans le cadre d'instances ouvertes aux riverains (Comités de Suivi de Travaux, Réunions Publiques, Réunions de quartier).

Illustration – *Les Classes du Grand Paris Express*

Une personne à la SGP est chargée de développer la relation avec les scolaires, valoriser les métiers associés à la construction du réseau de métro et d'organiser les événements et supports de communication adaptés : le temps de construction d'une gare fait que certaines générations d'enfants vont grandir avec les travaux. Par ailleurs, l'idée est que si les enfants comprennent et s'intéressent aux chantiers, l'acceptabilité auprès des parents en sera facilitée.

La SGP entretient aussi un lien de proximité avec les riverains et les territoires, particulièrement nécessaire à la gestion sereine des nuisances multiples de ses chantiers. Un agent de proximité, présent sur chaque secteur de travaux, est chargé d'assurer la médiation entre la SGP et les riverains, commerçants et entreprises concernés par les chantiers.
Cette relation de proximité est en outre matérialisée sur certains secteurs par la mise en place de « Maisons du métro », lieux où les agents de proximité tiennent des permanences pour les riverains et gardent à disposition les documents de communication produits par la SGP.

« Les Classes du Grand Paris Express »

Une personne à la SGP est chargée de développer la relation avec les scolaires, valoriser les métiers associés à la construction du réseau de métro et d'organiser les événements et supports de communication adaptés : le temps de construction d'une gare fait que certaines générations d'enfants vont grandir avec les travaux. Par ailleurs, l'idée est que si les enfants comprennent et s'intéressent aux chantiers, l'acceptabilité auprès des parents en sera facilitée.

F.
PAROLES DE RIVERAINS ET AGENT DE PROXIMITÉ

1. L'agent de proximité : un poste clé pour la gestion des nuisances

Interface et lien entre riverains Maître d'Ouvrage et entreprises de Génie Civil, l'agent de proximité possède un rôle essentiel pour gérer les nuisances sonores. Il est présent systématiquement et en continu sur chaque secteur de travaux du GPE pour échanger avec les riverains et remonter les informations en cas de nuisances.

Au cours d'un échange avec l'un d'entre eux, nous avons sondé la possibilité de renforcer son rôle à l'aide de nouvelles méthodes et outils.

ENTRETIEN AVEC

↓

M. HAKIM CHERIFI
Agent de proximité AMO ligne
15 Sud Chargé du secteur
Champigny-sur-Marne

« Je suis chargé depuis 2016 de 10 sites sur le secteur de Champigny ; cela comprend la gare, les ouvrages annexes, le site de maintenance et de remisage (SMR) et l'entonnement. Le chantier de l'avenue Salengro représente 350m de long en plein milieu urbain. Je tourne d'un site à l'autre à raison de 3 ou 4 sites chaque jour.

Je suis joignable directement sur mon portable, si un riverain a besoin de me contacter. Mon numéro est communiqué partout, et à chaque fois que la SGP diffuse une Info Chantier[1], il y a toujours mon numéro de téléphone indiqué.

1. Un document au format A4 distribué dans les boites à lettre des riverains.

Certaines personnes ne lisent pas bien les Infos Chantiers ou prennent ça pour de la pub, elles m'appellent pour se plaindre de travaux en soirée. J'explique que c'était annoncé et en quoi consistent les travaux, pourquoi on ne peut pas s'arrêter au milieu d'une réalisation de panneau de paroi moulée.

Les gens peuvent aussi se rendre sur le site internet du Grand Paris Express et y trouver les informations. J'organise des permanences les mercredis ou jeudis après-midi à la Maison du Métro à Champigny. Je communique avec les gens au téléphone, les rencontres sur site ou parfois chez eux pour constater, j'échange également avec les compagnons sur les chantiers. L'ouvrage d'entonnement, en pleine zone urbaine pour celui-ci, coupe la moitié de la route, il fait donc l'objet de nombreuses plaintes. Par exemple il peut y avoir des projections de boue quand la bentonite remonte, ça peut toucher les vitrines, salir les façades et jardins. Bien sûr il y a les nuisances sonores, le jour cela représente à peu près 20% des demandes. De nuit, il y a parfois des travaux qu'on ne peut pas interrompre en cours de route, et qui doivent être prolongés durant la nuit, notamment le bétonnage des parois moulées. Les riverains se plaignent des rotations des camions toupies, du signal de recul, des groupes électrogènes. La centrale à boues et les hydrofraises ne travaillent pas la nuit. La plupart des gens qui se plaignent sont ceux qui n'ont pas lu l'Info Chantier.

J'ai aussi des sites plus petits, des puits de service, mais qui parfois causent autant de nuisance qu'une gare parce qu'ils sont tout proche des immeubles.

a. Le vécu des nuisances sonores au quotidien

Beaucoup de gens ont peur du métro et ils expriment cette peur à travers des réclamations parfois justifiées, parfois non.

Certains m'appellent ou m'envoient des sms entre 4h et 6 h du matin. « Monsieur, il y a du bruit…les compagnons ne respectent pas le règlement ». Je les rappelle et leur explique la raison des nuisances. Une fois, on m'a signalé un générateur qui tournait à 6h du matin. J'ai regardé s'il n'y a pas de travaux, appelé l'entreprise, et envoyé un mail au chef de secteur pour qu'il le fasse arrêter. Une autre fois c'était le gardien de nuit qui l'avait allumé en hiver pour chauffer sa cahute. On le comprend, mais le riverain qui m'a informé habite juste devant, donc je suis intervenu pour faire arrêter le groupe électrogène.

Il y a aussi des appels qui traduisent une angoisse vis-à-vis des travaux, par exemple une vielle dame avait constaté une fissure dans un mur. Je lui ai expliqué que les grands travaux n'avaient pas encore commencé, mais lui ai conseillé de contacter son assurance. Puis j'ai pris la photo, que j'ai envoyé au chef de secteur. D'autres disent qu'ils ressentent les vibrations du tunnelier alors qu'il n'est pas encore en activité.

Quand le BRH se met en route en centre-ville, je le sais tout de suite, on m'appelle. La dernière fois une dame m'a dit que ça maison tremblait. J'ai tout de suite appelé le chef de chantier pour me renseigner, puis je suis allé la voir et lui ai expliqué que ça ne durerait pas au-delà de 17h, le temps de détruire une dalle. On reçoit beaucoup de plaintes concernant les bips de recul, qui fonctionnent quelquefois toute la nuit. Les riverains me demandent « On ne peut pas diminuer le son ? », je réponds « Madame, c'est important pour la sécurité des compagnons qui travaillent sur le chantier »[2].

2. En fait, on peut diminuer le son sans affecter la sécurité des compagnons, car il existe des alarmes bruitées prévues pour le travail de nuit dont le volume s'adapte au bruit de fond. Elles sont facilement adaptables sur la plupart des engins existants. Il est même possible d'augmenter la sécurité tout en réduisant le bruit. Voir LBSC : IV. ENSCi, projet « PSHTT Pshtt ».

Parfois, surtout au début, les gens peuvent être agressifs, mais je reste calme, j'essaie de ne pas rentrer dans la polémique expliquer les choses.

b. Solutions mises en œuvre

Silence Chantier : de quels outils et de quel poids disposez-vous pour résoudre les problèmes de bruit ?
Hakim Cherifi : je prends note, je remonte à la SGP, la SGP met en place des sonomètres et des tests. Si les riverains sont trop exposés, on met en place des palissades de 4m de haut. Sur l'avenue Salengro, des doubles vitrages sont en cours d'installation.

Silence Chantier : Quels sont vos relais pour résoudre les problèmes que vous rencontrez ?
H. C. : Le chargé de communication puis le chef de secteur sont mes premiers interlocuteurs. Puis la direction des relations territoriales, au sein de laquelle l'Unité Riverain s'occupe de mesurer le bruit et d'installer des capteurs et de mettre en œuvre des solutions. Je fais un reporting hebdomadaire (celui-ci est envoyé à la DCOM, DP, DRT et Unité riverains du secteur) et je vois le chef de secteur le lundi matin pour faire le point. S'il y a urgence, je lui envoie un mail, il me répond tout de suite, prend en charge le problème et me communique la marche à suivre.

Il m'arrive également d'intervenir directement au niveau du chantier, notamment quand je vois qu'il y a danger. Si par exemple je vois 6 camions toupie au milieu ou en travers de la rue sous les fenêtres, qui bloquent la circulation, polluent, font du bruit, font courir des risques aux piétons, j'appelle les responsables et demande que les camions soient dégagés. Il faut savoir que pour chaque panneau de paroi moulée il faut compter entre 20 et 40 toupies. Ils suivent des itinéraires obligatoires. Les riverains sont sensibilisés et si les camions ne respectent pas ces cheminements, les riverains affectés peuvent prendre une photo et me l'envoyer. À Champigny, il est interdit aux camions de stationner à l'entrée du chantier et une zone tampon a été créée, à l'écart, où ils stationnent en attendant qu'on les appelle un par un pour la livraison

c. Rencontres publiques avec les riverains et les acteurs du chantier

3. Voir LBSC : I. B. « Acoustique pour tous », II. D. 1. « Formations pour les riverains et les compagnons », II. D. 2. « Kit riverain ».

Silence Chantier : Mais il faut pouvoir le constater, on ne peut pas être partout en même temps.
H. C. : La SGP organise une réunion publique à chaque nouvelle phase de travaux. Des réunions de quartier permettent également de rassembler les personnes directement impactées par ces travaux[3]. On les invite, on leur présente les nouvelles étapes du chantier, et notamment les nuisances attendues.

On organise des visites publiques de chantier lors d'évènements particulier, par exemple lors du ripage du pont ferroviaire en janvier 2017 ou à l'occasion de l'entrée du tunnelier le 23 février 2018.

On a également des réunions entre les responsables du chantier tous les jeudis, avec le chef de secteur (SGP), la Maitrise d'Œuvre et le chargé des opérations de l'Entreprise (EGC). On commence par les plaintes et ensuite on aborde les solutions techniques et la programmation. Dans l'ensemble tout le monde est assez concerné et réactif. Quand il n'y a pas d'implication financière, je peux agir directement.

Silence Chantier : Les riverains peuvent-ils s'adresser directement aux acteurs du chantier ?
H. C. : Oui, tout dialogue est le bienvenu, mais nous conseillons aux compagnons du chantier de rediriger les riverains qui se plaignent vers l'agent de proximité, parce qu'il se peut que les compagnons n'aient pas toutes les données pour répondre aux riverains.

Silence Chantier : Que penseriez-vous d'organiser des formations plus approfondies[3] pour les riverains comme pour le personnel du chantier ?
H. C. : Le but est de trouver un consensus entre les riverains et les employés ; que chacun pense à l'autre. Que l'employé, quand il manœuvre, pense à l'enfant qui dort à coté ; et en même temps, que ce riverain comprenne que celui qui est là avec sa machine fait son travail et n'est pas là pour l'embêter. Les riverains ne savent pas non plus qui est qui, ni qui fait quoi, cela crée des incompréhensions. Souvent quand je vais sur le terrain pour calmer les esprits, j'explique au riverain mécontent que le compagnon ne peut pas lui répondre directement, car il n'a pas toutes les données ni le pouvoir de décider de changer de méthode.

Silence Chantier : Pensez-vous qu'il soit utile que les riverains aient directement accès aux données de mesure du bruit ? Quel serait le meilleur moyen de les informer ?
H. C. : Personnellement je trouverais bien qu'il y ait un petit tableau lumineux qui indique le niveau de bruit, que tout le monde puisse voir sur le chantier. Il serait programmé par une entreprise indépendante pour afficher les niveaux de toutes les nuisances (poussières, pollution, bruit). Le site web, pourquoi pas, mais c'est global et on ne l'a pas sous les yeux tout le temps, alors qu'un panneau lumineux, le riverain pense : c'est mon site, qui

me fait des nuisances, je peux savoir combien. Il faut aussi afficher dans la ville dans un endroit très visible pour informer le maximum de gens de ce qui va se passer dans les prochains jours, les prochaines semaines..., donner les informations qui permettent aux riverains d'anticiper. Mieux on informe les gens, plus ils comprennent, moins ils ont peur.

Je rencontre des gens qui habitent à 500m du tracé qui me demandent : quand le tunnelier va-t-il passer ? est-ce qu'il va détruire ma maison ?

Silence Chantier : Pensez-vous que l'agent de proximité ou une autre personne pourrait jouer le rôle du Chuteur[4] ?
H. C. : Oui, si par exemple je reçois une alerte me signalant qu'il y a du bruit en dépassement de l'horaire programmé, je pourrais aller voir le responsable du chantier. Pour le moment les mesures de bruit ne sont utilisées que pour vérifier en cas de plainte, mais elles sont occasionnelles et je ne reçois aucune alerte des capteurs. En tant qu'agent de proximité, je pense qu'il est important de sensibiliser tout le monde pour trouver des solutions entre les riverains et les entreprises.

Silence Chantier : Que pensez-vous d'un système de points avec des pénalités financières en cas de non-respect des engagements, ni résolution des problèmes de bruit ?
H. C. : Financièrement, là ça va marcher. Ce serait une bonne idée. En tant que médiateur, je pense qu'il est important de sensibiliser tout le monde pour trouver des solutions entre les riverains et les entreprises.

Silence Chantier : Si vous deviez classer les plaintes concernant les nuisances sonores parmi les autres nuisances, en quelle position les placeriez-vous ?
H. C. : En premier les nuisances sonores à égalité avec les poussières
Pour les sources de nuisances sonores je mettrais dans l'ordre du nombre de plaintes :
1- le bruit du moteur et les vibrations causées par l'hydrofraise ;
2- la circulation des camions (surtout les toupies)
3- les autres machines : pelles mécaniques de nuit – alarmes de recul – groupes et centrales.
Puis les autres nuisances : notamment la boue pendant la phase d'installation du chantier. Pour l'instant on n'a pas encore trop de poussières, mais il y en aura quand la phase de creusement commencera. Actuellement, les riverains et les compagnons ne se rencontrent pas, sauf dans la rue. Nous sommes la liaison entre les deux mais si on pouvait avoir des lieux de rencontre ce serait bien, il faut créer des espaces communs. Par exemple, une restauratrice du quartier fait une offre « déjeuner du Grand Paris Express », et ça fait venir les compagnons comme les riverains, qui finissent par discuter facilement entre eux.

Silence Chantier : le Livre Blanc Silence Chantier propose des PopUp café dans les conteneurs[5].
Ça crée des endroits communs. Je finis à 16h, je vais prendre un pot avec mon collègue. Là il y a le riverain avec qui on peut échanger, je suis plus sur mon chantier dans mes horaires de travail, j'ai le temps pour discuter, là on s'humanise l'un l'autre. Voilà.

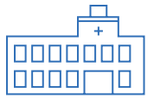
4. Le chuteur a pour fonction de recevoir en direct des alertes des systèmes automatiques de mesure et organiser les actions pour faire taire le bruit : visite de vérification sur le chantier, demande expresse de résolution directe auprès des responsables du chantier, remontée d'information, avertissements de perte de Point Bruit à l'Entreprise, vérification auprès des riverain et information en retour... Voir LBSC : II. C. 3. « Le Chuteur ».
5. Voir LBSC : III. C. ❷ 1. « Popup Box : des conteneurs acoustiques ultifonctionnels ».

2. Quelques exemples d'expression des riverains

a. Extraits de l'étude réalisée par les étudiants du Master Ville-Environnement-Transports de l'École Nationale des Ponts et Chaussées (février – mai 2018)

Créteil L'Echat
—
“Il y a un bruit sourd et continu, c'est pesant, lourd, c'est difficile à supporter sur la durée.”
—
Un habitant

Villejuif Louis Aragon
—
“Je ne remarque pas de problème de bruit ni de poussière, liés au chantier surtout grâce à la technologie d'insonorisation des fenêtres dans l'hôpital.”
—
Dans l'hôpital



Villejuif Louis Aragon
—
“Avant les murs antibruit, ça pouvait être difficile de parler aux clients.”
—
Magasin de service

Villejuif Louis Aragon
—
“Il y a un boucan continu ! Il n'y a plus de famille sur la terrasse.”
—
Café

Villejuif Louis Aragon

—

“Le bruit a fait chuter ma clientèle de 40% ! C'est une tuerie ! ”

—

Café

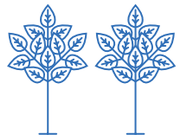
Villejuif IGR

—

“On est contents, le bruit ne dérange pas. ”

—

Café



Arcueil Cachan

—

“Pour le bruit, on fait avec, mais si on n'avait pas le bruit, ce serait vraiment plus agréable. ”

“Les enfants se couvrent les oreilles et courent pour passer le chantier. ”

—

École maternelle

Arcueil Cachan

—

“Le changement de matériel à 3h du matin me réveille et je n'arrive pas à dormir pendant le reste de la nuit. ”

“À cause des entrées et sorties de camions, les gens s'énervent et klaxonnent. Ça, ça me dérange. ”

—

Un retraité

Les riverains contactent les agents de proximité pour exprimer leurs interrogations et leur gêne, notamment par rapport au bruit de chantier.

Quelques exemples de leurs messages et expressions (ligne 15 Sud) sont rapportés ici au travers de la remontée d'informations de plusieurs agents de proximité :

b. Demandes d'informations et plaintes

Demandes d'informations générales

- → « Qu'est-ce qu'ils font en face de chez moi ? »
- → « Quels sont les horaires de début et fin de chantier ? »
- → « Peut-on avoir les études de bruit et vibration du chantier ? »
- → « Pourquoi y-a-t-il des travaux la nuit ? »

Demandes d'informations spécifiques : par exemple

- → « Pouvez-vous éteindre le groupe électrogène ? »
- → « La turbine va-t-elle faire du bruit ? »
- → « Quand seront installés les panneaux acoustiques ? »
- → « Installez-vous des poutres pour fabriquer un toit au chantier ? »
- → « Nous avons eu des déplacements d'engins de chantier nocturne. Je ne comprends pas pourquoi nous ne sommes pas prévenus à l'avance. »

Des plaintes sont bien sûr exprimées, parfois accompagnées de menaces :

- → « Les nuisances sonores deviennent insupportables ! Je vais déposer une plainte ! Je vais acheter une carabine et tirer dans les pneus des camions ! »
- → « On ne supporte plus le bruit. Je paye un loyer de 1300 €, je devrais avoir la paix ! »
- → « Les engins utilisé dans la gare font trop de bruit, mes enfants ne dorment toujours pas. »
- → « Nous avons eu du bruit cette nuit entre 3h et 4h du matin. »
  « Je ne peux pas dormir, il y a trop de bruit, on n'a pas été informés ».
- → « La foreuse fait trop de bruit. »
- → « Le bruit émis par le chantier n'est pas diminué par les palissades antibruit ».
- → « Il y a des bruits et des vibrations qui résonnent dans les murs jusqu'à faire tinter les verres ».

Certaines de ces plaintes s'accompagnent de réclamations :

→ « Le bruit des travaux devient pénible. Est-ce que la SGP a envisagé une indemnisation pour l'impact des travaux ? »

→ « Dans le cas où une indemnisation n'est pas envisagée je souhaite déménager. Est-il possible de me faire déménager ? »

→ « Il y a trop de bruit, y en a marre ! Pourquoi la SGP ne nous a pas expropriés ! ? »

→ « Est-il possible que la SGP prenne en charge le double-vitrage de mon appartement ? »

Des suggestions sont données parfois :

→ « Pouvez-vous arrêter les travaux après 20h ? »

→ « Les murs antibruit seraient plus jolis s'ils étaient transparents et avec un espace prévu pour du street-art ».

Quand l'information existe, il arrive que les riverains n'aillent pas la chercher. Par conséquent, les questions adressées à l'agent de proximité témoignent d'incompréhensions, que les échangent directs permettent ici d'atténuer.

II.
MÉTHODES ET SOLUTIONS TRANSVER-SALES

A. BONNES PRATIQUES

1. Bonnes pratiques courantes avant travaux

Beaucoup de méthodes pour réduire les nuisances sonores sur les chantiers existent, elles sont généralement connues par le métier, mais ne sont pas toujours mises en œuvre ; ce sont les dites « bonnes pratiques ».

Ces bonnes pratiques peuvent être intégrées comme des obligations dans les appels d'offre par les maîtres d'ouvrage et maîtres d'œuvre, afin que les entreprises se les approprient et les mettent en œuvre.
Elles seront d'autant plus efficaces qu'elles seront déployées en amont du chantier.

Dans ce cas là beaucoup de mesures de réduction de bruit peuvent n'avoir aucun coût ou un surcoût limité.

Lorsque les travaux sont déjà commencés, la même mesure de rattrapage d'une situation critique peut avoir un coût bien plus élevé. Les bonnes pratiques à prévoir pendant les travaux sont décrites dans le chapitre suivant du *Livre Blanc Silence Chantier*[1].

1. Voir LBSC : III. A. « Bonnes pratiques ».

a. Planification et étude du projet

En amont du projet, la maîtrise d'ouvrage est fortement impliquée dans le processus de réduction de bruit, cela passe notamment par l'établissement de son cahier des charges ; la Notice de Respect de l'Environnement (NRE)[2] et son évolution. Des objectifs acoustiques les plus précis possibles et des critères d'évaluation homogènes sont proposés dans le Livre Blanc[3] ainsi que les moyens de les contrôler[4].

Les éléments listés ci-après résultent de bon sens et pourraient être repris dans le fameux cahier des charges de la NRE.

Éléments préalables

Contact initial avec les autorités locales compétentes (préfecture, communes notamment) pour les questions de bruit des chantiers.
Il s'agit de préciser d'éventuels aspects spécifiques du projet et ses phases les plus bruyantes.

Examen approfondi du site

- → Par l'établissement de l'état acoustique initial du site : quels sont les zones sensibles, le bâti sensible ? quelles sont les ambiances sonores existantes avant travaux sur les périodes sensibles du chantier (jour/nuit, soirée, week-end) ?
- → Par l'étude prévisionnelle de la transformation du site induite par le chantier : quels impacts sur la topographie ? sur les circulations ?
- → Par le diagnostic acoustique des isolements de façades des bâtiments sensibles riverains ; ceci en vue d'une meilleure estimation de leur exposition au bruit et afin, le cas échéant, d'envisager le renforcement des isolations acoustiques de pièces principales (chambres notamment).
- → Par des sondages du terrain par exemple indiquant la potentialité de transmissions solidiennes du bruit[5].

2. La Notice de Respect de l'Environnement (NRE) ou Notice Environnementale est une pièce courante du Règlement de la Consultation dans laquelle, le MOA livre une synthèse des spécifications et prescriptions environnementales auxquelles les entreprises devront répondre, et explicite ses exigences en matière de management et de suivi de l'environnement.
3. Voir LBSC : II. B. ❶ « Évolutions contractuelles ».
4. Voir LBSC : II. C. 1. « Monitoring et participation ».
5. Voir LBSC : I. B. « Acoustique pour tous ».

Détermination des enjeux acoustiques du projet

L'anticipation est essentielle dès le début du projet, car les procédés et engins sont plutôt bien connus des entreprises, ainsi que leurs impacts sonores ; cela sera ensuite précisé dans le dossier Bruit de chantier. L'utilisation d'engins adéquats et de méthodes constructives correspondantes[6], ainsi qu'une planification correcte, peuvent éviter des bruits inutiles[7].

Détermination des critères de surveillance

Des exigences claires d'objectifs acoustiques, si possibles chiffrées (les plus précises possibles), doivent être énoncées, cela pour faciliter la mise en œuvre :

- → des systèmes de surveillance ;
- → des solutions de protection adaptées ;
- → des moyens de contrôler leur efficacité.

Actions de réduction de bruit

Des principes de solutions sont à élaborer en amont, en fonction des ambitions du maître d'ouvrage, de l'ampleur du projet et de sa durée[8].
Par exemple, est-il envisageable de couvrir (cloisonner) le puits du chantier ? Peut-on lancer une opération de test de labellisation ? Faut-il envisager des sanctions/subventions ? L'évacuation temporaire du voisinage est-elle possible ? L'isolation acoustique de façades est-elle une solution ?

b. Choix du mode de construction et de ses procédés

Procédés alternatifs à la démolition par casse

- → Des alternatives aux marteaux-piqueurs à air comprimé ou hydrauliques et à la perforatrice percutante existent.
- → On peut par exemple utiliser des procédés de découpe au diamant (meule à disque), le fissurage[9] hydraulique, la pince hydraulique (croqueur de béton).

Procédés alternatifs au battage[10]

- → Vibro-fonçage de parois de palplanches et de pieux métalliques.
- → Forage au lieu de battage et vibro-fonçage, par exemple avec une foreuse rotative.
- → Parois de pieux forés.
- → Paroi moulée.
- → Fonçage de parois de palplanches.
- → Stabilisation du terrain, par exemple par injections.

6. Pour un maître d'ouvrage, le choix des méthodes constructives implique de prendre en compte beaucoup d'autres critères (coûts, délais, faisabilité technique, risques).
7. Un bruit inutile est un bruit qui, ni n'alerte d'un danger, ni n'apporte d'information importante (Voir LBSC : I. B. 1. c. « Acoustique pour tous »).
8. Voir LBSC : III. C. « Solutions innovantes à développer » et II. « Méthodes et solutions transversales ».
9. éclateur hydraulique type Rock Jack ou fracturation hydraulique.
10. Chantiers du GPE non concernés car n'utilisant pas le procédé de battage mais celui des parois moulé, peu bruyant, mais impliquant des machines relativement bruyantes.

Protection contre le bruit lors de travaux de battage[11]
- → Mesures d'amortissement dans le joint de battage.
- → Utilisation d'un capotage de battage avec doublage.
- → Tour de protection contre le bruit.
- → Vibreurs à haute fréquence.
- → Méthode d'amélioration de pénétrabilité comme le lançage.
- → Méthode de fonçage par vérins (presses).

11. Chantiers du GPE non concernés car n'utilisant pas le procédé de battage.

Mode de construction sous couverture
- → Recouvrir le chantier dans son ensemble, ou plus raisonnablement cloisonner le puits ou couvrir son ouverture[12].

12. Voir LBSC : III. B. « Solutions existantes ».

Mode de construction préfabriquée

La fabrication bruyante de produits à monter sur place se fait à l'écart de zones sensibles :
- → Utilisation de caissons par exemple.
- → Coffrages à grandes surfaces ou coffrages tridimensionnels.

Travaux souterrains au lieu de travaux à ciel ouvert
- → Privilégier tous les travaux possibles en souterrain, par exemple en procédant à l'excavation en souterrain plutôt qu'à ciel ouvert.

Utilisation de béton fluide ou auto compactant

Le compactage classique du béton fait appel à des machines bruyantes, mais il existe une technique silencieuse dite de béton auto compactant (ou auto plaçant) qui se place sous son propre poids sans nécessiter d'énergie de compactage supplémentaire.

c. Utilisation des ressources

Optimisation de l'utilisation des matériaux et matériels
- → Choix approprié des sites de dépôt ou de recyclage des matériaux avec prise en compte du moyen de transport adéquat.
- → Bases de vie et baraquements de chantiers placés entre les sources de bruit et les zones sensibles (habitations, etc.).
- → Autres obstacles placés à proximité des sources de bruit : stationnements de trains ou conteneurs par exemple.

d. Mesures d'ordre organisationnel

Planification selon des périodes sensibles (pour les phases de construction bruyantes)

Les plages horaires de fonctionnement du chantier sont concentrées sur les périodes les moins sensibles (horaires de bureau) afin de préserver les périodes de repos (la nuit notamment). Si le chantier est localisé au sein d'une zone d'activité tertiaire, il peut être sage de limiter au maximum les émissions sonores sur les périodes considérées comme étant les plus productives (typiquement 10h-12h et 15h-17h sur Paris).

Limitation de la durée d'émission de bruit
- → Prévoir un mode de communication aussi personnalisé que possible auprès des riverains. Les différentes vecteurs de communication auprès des habitants, commerçants et établissements sensibles sont les suivants : dialogue avec un agent de proximité formé, des réunions d'information, un site internet, des publications, l'affichage des informations du chantier, le kit riverains[13], etc.

13. Voir LBSC : II. D. 2. « Kit riverain ».

Positions des sources de bruit
- → Éloignement des zones sensibles, positions masquées.

Optimisation des trajets et flux de circulations des engins et poids-lourds
- → Aménagement de zones d'attente pour les camions à l'écart des habitations ou protégées dans un corridor acoustique[14].
- → Gestion des flux et horaires de circulation.

14. Voir LBSC : III. C. ❷ 2. d.

Formations
- → Formations/informations au public, sensibilisation et formations des compagnons.[15]

15. Voir LBSC : II. D. « Communication, médiation et pédagogie ».

e. Protections par écran – fenêtres antibruit

Protections provisoires[16]
- → Par des écrans de protection provisoires.
- → Par des dépôts de matériaux d'excavation.
- → Par l'utilisation de parties d'installations comme protection (par exemple avec des baraquements de chantier, des palissades).
- → Par des tentes ou des cabines antibruit composées de textiles lourds ou de panneaux isolants (ayant également la double fonction de protéger contre les poussières/projections et d'offrir une protection visuelle).

16. Voir LBSC : III. C. ❷ 2. « Habillages isolants modulaires ».

Fenêtres antibruit passives ou actives[17]

17. Voir LBSC : III. C. ❸ 1. « Fenêtres actives ».

f. Machines et appareils

18. Voir LBSC : I. C « Point réglementaire ».
19. Voir LBSC : III. C. ❶ 2. « Électrification ».

Machines et appareils standards[18]
- → Pas d'émission anormale de bruit.
- → Les équipements doivent respecter un niveau de puissance acoustique selon l'état reconnu de la technique (critères environnementaux des directives actuelles de l'Union européenne).

Scies circulaires et meules à tronçonner avec protection acoustique
- → Isolation par capot de protection.
- → Lames à faible hauteur des dents et technique au diamant.
- → Réduction de la vitesse de rotation.
- → Lames sandwiches avec couche intermédiaire absorbante.

Utilisation d'engins électriques au lieu de moteurs à combustion[19]

g. Transports de chantier

Optimisation des moyens de transport et itinéraires
- → Alternatives à examiner en cas de longs trajets ou de localisation défavorable dans le réseau routier concerné.

Véhicules de transports standards
- → Les véhicules de transports doivent être dans un état normal de bon fonctionnement.

h. Appels d'offres / contrats d'entreprise

20. Voir LBSC : II. B. ❶ « Évolutions contractuelles ». et II. B. ❷ 1. « Engagement de Garantie de Chantier moins-nuisant HQE ».

- → Par exemple fixer des critères liés au bruit pour l'attribution du contrat.[20]

2. Dossier Bruit

En réponse aux appels d'offre, l'entreprise établit son SOPRE (Schéma Organisationnel du Plan de Respect de l'Environnement) qui contient les grandes lignes qui seront développées dans le dossier Bruit, document administratif à établir avant les travaux.

Le dossier Bruit est élaboré par l'entreprise durant la période de préparation, il doit être transmis à l'autorité administrative ad hoc au moins un mois avant le démarrage des travaux et faire l'objet d'une information publique.

Le dossier Bruit est basé sur les données transmises par l'entreprise pour renseigner les informations suivantes :
- → Les résultats d'une campagne de mesures de bruit sur site avant démarrage des travaux permettant de caractériser précisément l'état initial fourni par la MOA.
- → Une description des matériels et engins utilisés et une estimation des émergences prévues pour chaque phase de travaux en fonction du matériel utilisé.
- → Les horaires de travail qui devront s'inscrire dans les plages horaires autorisées par le présent marché.
- → La description des mesures générales et spécifiques prévues pour réduire les nuisances liées au bruit.
- → Les mesures de contrôle (autocontrôles internes et externes : mesures dans l'environnement au début et en cours de chantier visant à vérifier les engagements de l'entreprise.

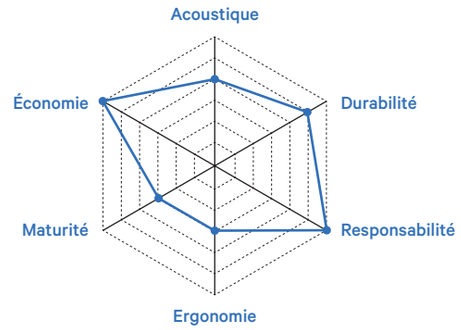
Des améliorations sont proposées pour la présentation du dossier Bruit par les entreprises.

B.
PISTES DE DÉVELOPPE-MENT – MÉTHO-DOLOGIE DES CHANTIERS

1 Évolutions contractuelles

1. Conception juridique – Points Bruit

ÉVALUATION



Acoustique : effets positifs mais variables.
Économie : pas de surcoût.
Maturité : exige expertise, développement et ajustements.
Ergonomie : induits des contraintes limitées.
Responsabilité : meilleur partage des engagements.
Durabilité : peut durer si optimisée.

Limiter les bruits sur les chantiers implique une mécanique juridique plus efficace que celle qui existe actuellement, permettant à la fois d'inciter les Entreprises de Génie Civil (EGC) à progresser rapidement dans la réduction du bruit sur tous leurs chantiers, et aussi de pénaliser les abus[1].

La solution imaginée consiste pour le Maître d'Ouvrage (MOA) à instaurer un système pollueur-payeur, système à points incitant les EGC à mettre en place les solutions disponibles le plus directement possible, c'est-à-dire sans passer par la maîtrise d'ouvrage, à la fois en amont du chantier et au cas par cas pendant son déroulement. En cas de non-exécution, le MOA dispose d'une possibilité de pénalité dissuasive[2]. Il est entendu que le but n'est pas de faire payer les entreprises, mais bien de les inciter à tenir leurs engagements en matière de réduction des émissions afin de progresser tous ensemble vers des chantiers moins nuisants.

Le modèle proposé s'inspire mais diffère du système qui existe déjà dans le domaine des bruits des aéronefs[3], car il ne propose pas d'infliger des amendes administratives, mais des pénalités contractuelles[4] payées par les entreprises au Maître d'Ouvrage, et non par le Maître d'Ouvrage aux plaignants.

1. Cette proposition imaginée dans le cadre des chantiers du Grand Paris Express pourrait s'appliquer à tous les chantiers.

2. Comme c'est déjà le cas dans les CCAP de la SGP.
3. Voir LBSC : V. « Interviews », ACNUSA.
4. La règlementation des bruits de voisinage et la jurisprudence récente permettent toutefois, dans certains cas, l'indemnisation éventuelle par la MOA des riverains déposant une plainte en vue d'obtenir réparation d'un préjudice.

a. Obligations contractuelles dans les CCAP

Clause pénale

Des clauses pénales existent déjà dans certains CCAP , qui lient les MOA avec les EGC. Elles imposent des pénalités importantes en cas de dépassement de seuils de bruit, de non-respect des itinéraires ou des horaires… Toutefois ces clauses sont rarement appliquées et absentes de certains contrats. Sans doute seraient elles plus efficaces si elles étaient assorties d'incitations positives.

Le respect des Contraintes de Limitation de Bruit (CLB) et le système de points (voir détail du système plus loin) seraient précisés dans tous les nouveaux contrats de marchés d'EXE[5], selon la procédure suivante :

- → Le respect des CLB est stipulé dans le contrat comme étant une obligation de résultat.
- → La violation en cas de dépassement est prévue par une clause pénale. Elle pourrait entrainer une pénalité payable à la SGP[6].
- → Une obligation alternative est instaurée dans le CCAP : a) diminuer le bruit à la source ou b) insonoriser les habitants (et regagner des Points Bruit). En cas d'inexécution de l'un ou l'autre (zéro Points Bruit), la clause pénale est déclenchée.
- → Une clause précise la méthode de mesures des bruits en cours d'exécution par le système de surveillance des chantiers (CHANTIEO[7] ou autre dispositif)
- → Le système d'évaluation est conventionnellement accepté par les deux parties.
- → Les modalités de contrôle sont également inscrites dans le contrat : calibration du système en fonction du bruit initial, communication et publication des données, périodicité, alertes, avertissements donnés par l'agent de proximité…

5. Marchés d'exécution passés avec les EGC.
6. C'est actuellement le MOA qui s'engage vis-à-vis des collectivités locales, mais si les EGC ne respectent pas leurs engagements par rapport au bruit, la responsabilité peut en incomber aux MOA.
7. Voir LBSC : II. C. 2. « La Méduse de Bruitparif ».

Clause incitative[8]

Partant du postulat que la réduction du bruit est assimilable à « une meilleure qualité de prestation », la clause a pour but d'inciter les EGC à réduire le bruit sous la forme d'un système de type pollueur-payeur.

Les EGC gagnent des « Points Bruit » (PB) lorsqu'elles mettent en place des mesures contre le bruit, notamment en atténuant le bruit à la source ou en installant elles-mêmes une insonorisation chez les habitants

8. Décret 2016-360 du 25 mars 2016 relatif aux marchés publics Texte d'application de l'ordonnance 2015-899 du 23 juillet 2015 relative aux marchés publics, applicable aux marchés lancés après le 1er avril 2016. Article 17 (…) Des clauses incitatives peuvent être insérées dans les marchés publics notamment aux fins d'améliorer les délais d'exécution, de rechercher une meilleure qualité des prestations et de réduire les coûts de production.

Utilisation du principe pollueur-payeur

Le principe pollueur-payeur consiste à monétiser un droit à polluer. Dans le cas des chantiers, nous proposons un ensemble de dispositifs dont le système de Points Bruit (PB)

Ce système serait équivalent à un permis de bruit à points (autorisation d'émettre du bruit), à mettre en place dans les nouveaux chantiers. Des points positifs ou négatifs seront attribués à chaque site-chantier (donnés au départ, gagnés, perdus ou rachetés).

Grâce à ce système de points, la résolution des problèmes serait opérée directement entre les EGC et les riverains, et il serait encadré par le MOA[9]. L'agent de proximité ou un agent spécial formé et missionné par le MOA en assurerait la mise en œuvre et le suivi sur le chantier.

9. Voir LBSC : II. C. 3. b. « Le rôle de Chuteur ».

La clause incitative serait indissociable de la clause pénale. La sanction servant de menace en cas d'inexécution. Cela implique une pénalité importante payée par les EGC à la SGP, soit en cas de dépassement, soit à la perte de tous les Points Bruits affectés au site-chantier[10].

10. Le montant de cette pénalité permettra au MOA de mettre en œuvre les mesures d'améliorations que l'EGC n'auraient pas elle-même implémenté ou de contribuer à un fond de compensations.

Système des Points Bruits

Les PB d'un site-chantier particulier encadreraient les quantités de bruit produites par les EGC en accordant un droit à une quantité de bruit contrôlée. Les EGC géreraient l'économie de leurs PB en réduisant autant que possible leurs émissions sonores. Chaque chantier devrait toujours conserver un solde positif de PB, faute de quoi la pénalité importante prévue aux CCAP serait appliquée.

Un Point Bruit équivaudrait notamment à une quantité de bruit pendant une certaine durée, selon une pondération horaire correspondant aux réglementations locales. La valeur du PB dépendrait d'un ensemble de conditions propres au site et à la nature des travaux. Elle serait calculée de façon à correspondre aux besoins de production de bruit pour réaliser les travaux en prenant en compte différents critères comme la sensibilité du voisinage du chantier, les obligations techniques … etc. Le nombre de PB et la valeur du point devront faire l'objet d'une étude plus approfondie.

Au démarrage d'un chantier donné, lors de l'obtention du marché, l'EGC dispose pour le chantier d'une réserve de N Points Bruit qui correspondent aux engagements pris dans le dossier Bruit[11]. Le nombre de PB pourra varier en fonction de l'exposition des riverains et selon d'autres particularités du site-chantier (sous – dalle ou en plein air, types de machines nécessaires…). Disposer d'un nombre suffisant de PB pour un chantier sera nécessaire pour conduire les travaux dans des conditions correctes : autorisation d'utiliser les engins motorisés, horaires en soirées… Le bruit produit sera programmé et surveillé en permanence par des capteurs, comme c'est déjà le cas actuellement sur les chantiers du GPE (fichier GASEL, stations de surveillance ou monitoring en continu sur chaque chantier, Rapport Mensuels d'Auscultation).

11. Le dossier Bruit existe déjà mais actuellement, les engagements de limitation des émissions sonores qui y figurent ne sont pas toujours respectés. Voir les améliorations du Dossier Bruit (LBSC : II. B. ❶ 2.) et Engagement de Garantie (II. B. ❷ 1.) inspiré par le système HQE proposés plus loin.

b. Stations de surveillance ou monitoring

Des dispositifs de monitoring nouvelle génération, comme par exemple, la Méduse de Bruitparif[12], permettent déjà de mesurer le bruit, mais aussi de suivre à 360° les sources de bruit sur les chantiers, de les identifier en analysant le son. Ce qui permet de corréler directement le bruit produit avec sa cause, sa signature, son origine, sa date d'occurrence et sa durée. Il est donc aujourd'hui possible de prouver l'origine des bruits de chantiers et de signaler :

- → Les sources trop bruyantes ou mal isolées.
- → Les bruits produits en dehors des horaires ou hors des zones autorisées.
- → Les appareils non conformes aux dossiers Bruit ou aux Engagements de Garantie (alarmes de recul tonales, BRH)[13].

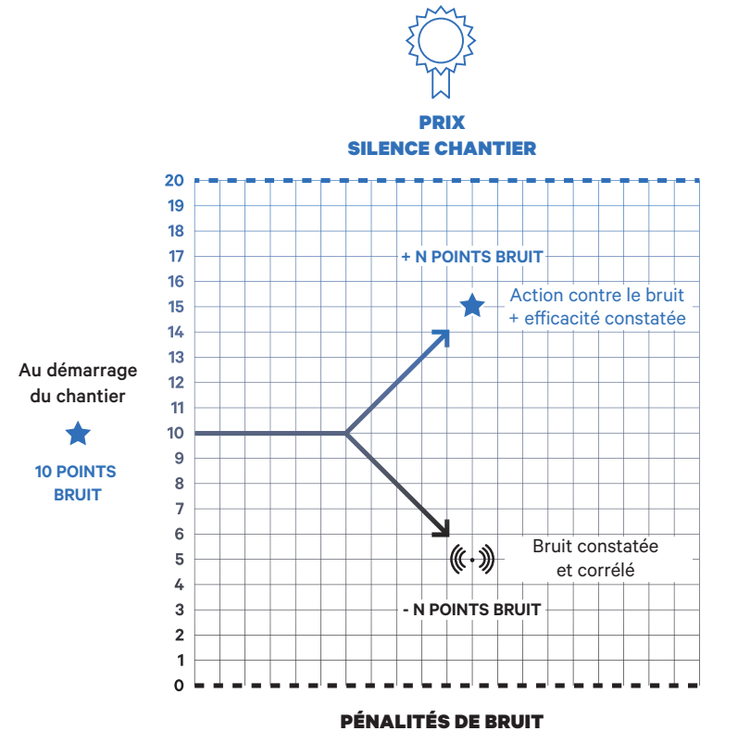
Le même système dont les données seront publiques permettrait également :

- → Aux EGC d'être alertées d'émissions de sources de bruit anormales (intrusions, oublis, défauts matériel…).
- → Aux riverains de disposer d'une base objective d'échange avec les agents de proximité pour demander des améliorations et les justifier de manière objective.

12. Voir LBSC : II. C. 2. « La Méduse de Bruitparif ».
13. Voir LBSC : II. B. ❷ 1. « Engagements de Garanties » et II. B. ❶ 2. « Améliorations dossier Bruit ».

c. Gagner, perdre et acheter des Points Bruit (PB)

Système de Points Bruit.



Quota de bruit fixé au démarrage du chantier

Au démarrage du chantier, un certain nombre de Points Bruits (PB) sont accordés par le MOA en fonction du bruit « raisonnablement » attendu sur un chantier en particulier. Cette attribution de Points Bruit fonctionne en contrepartie d'un Engagement de Garantie[14].

Ce quota sera calculé pour les conditions normales d'exploitation du chantier ; il évoluera d'une année à l'autre à mesure que les techniques et les compétences acquises de réduction des émissions progresseront. D'un CCAP à l'autre, le nombre de Points Bruits attribués au démarrage pourra évoluer.

Comment perd-on des Points Bruit ?

Des points seront perdus si notamment :

- → le volume de bruit constaté et corrélé[15] dépasse les seuils[16] sur lesquels se sont engagés les EGC ;
- → si des engins non conformes sont utilisés ;
- → si les horaires pour le bruit ne sont pas respectés ;
- → si les riverains n'ont pas été informés ;
- → si des engins ou dispositifs bruyants ont été placés en zone sensible en contradiction avec la planification, par exemple trop près des habitations.

14. Voir LBSC : II. B. ❷ 1. « Engagements de Garanties ».
15. On parle de bruit corrélé quand on peut prouver que le bruit produit est bien produit par la source désignée comme responsable nuisance en cause.
16. Des seuils sont spécifiés dans les CCAP. Ils devront être ajustés et développés par des acousticiens.

Les EGC seront informées de la perte de leurs points. Des avertissements seront transmis au préalable si possible.
Lorsque le solde de points approchera de zéro et que le chantier ne pourra pas être terminé, étant connue la durée des travaux restants, dans les mêmes conditions d'émissions de bruit que celles constatées jusque-là, une alerte sera envoyée à l'EGC responsable du chantier.
Lorsque le solde atteindra zéro, l'EGC sera pénalisée.[17] La clause pénale sera déclenchée par cette inexécution.

17. Elle dispose peut-être d'un délai pour regagner des points.

Comment les EGC gagnent des *Points Bruit* ?

Plusieurs possibilités s'offrent aux EGC :

- → Au démarrage du chantier une avance de PB est donnée pour le site-chantier[18].
- → En réduisant les émissions de bruit (par exemple par des investissements dans l'électrification des engins).
- → En mettant en place des mesures contre le bruit, notamment en installant elles-mêmes des protections ou en payant pour l'insonorisation des habitants. Dans ce cas le MOA devrait pouvoir fixer les conditions d'insonorisation[19], comme cela se pratique déjà dans la construction, notamment autour des aéroports.
- → En rachetant, sous certaines conditions des PB au MOA (en cas de problème technique imprévisible ou de pénalités de retard déjà payées par l'EGC, le MOA pourra décider de réattribuer un PB).

18. Nombre de points calculés comment au départ ? En fonction de l'importance et de la durée du chantier ? Voir LBSC : II. B. ❷ 1. « Engagement de Garantie de Chantier moins-nuisant HQE ».
19. Entreprises conventionnées, critères d'efficacité, de qualité, prix…

↓

Mettre en place des mesures de réduction du bruit aura un double effet positif pour les EGC :
→ celui de gagner des points,
→ celui de réduire les émissions sonores mesurées,
et donc d'économiser des points pour la suite des travaux.

Évolution sur la durée

L'attribution du nombre N de Points Bruit au démarrage du chantier et la valeur du Point devront évoluer d'une année sur l'autre dans les nouveaux marchés, de façon à prendre l'habitude de réduire progressivement les nuisances sonores sur les nouveaux chantiers.
Au début un rodage sera nécessaire, période pendant laquelle une certaine souplesse sera nécessaire ; mais dès que le système sera opérationnel, il faudra qu'il devienne plus contraignant pour vraiment fonctionner.

Progresser dans la réduction des nuisances sonores aura ainsi plusieurs avantages pour les EGC :

- → Gagner des Points Bruits.
- → Réduire les émissions sur les chantiers.
- → Gagner de nouveaux marchés en ayant fait la preuve qu'elles ont la capacité de réaliser des chantiers moins-nuisants.

Autres incitations en dehors du contrat : publicité, communication et publication du bruit

Pour consolider la technique contractuelle, il sera souhaitable que, d'une part les émissions sonores de chaque chantier soient rendues publiques[20], et que d'autre part les progrès des EGC soient valorisés par une communication publique des bonnes conduites et de celle des progrès réalisés par les chantiers les moins bruyants.

Le Label[21] et le Prix Silence Chantier seront proposés à cet effet.
Un classement public des chantiers avec leurs nombres de points mettra en avant les EGC et attribuera un prix aux moins-nuisants[22].

20. Météo des Chantiers déjà existante + Ref. OpenData et Applications numériques dans le LBSC.
21. Voir LBSC : I. D. « Revue Internationale ».
22. Voir LBSC : II. B. ❷ 3. « Prix du Silence ».

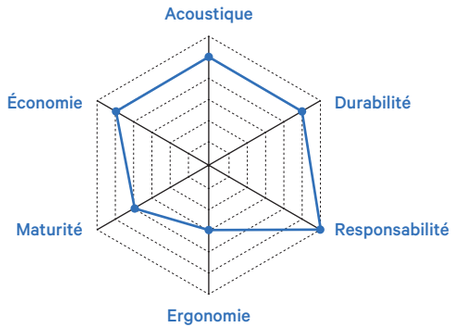
d. Arrêté préfectoral

Un tel système de Points Bruit – associé à un Engagement de Garantie[23] – pourrait constituer une bonne assurance de moindre nuisance auprès des collectivités, mairies et préfectures, permettant de favoriser l'obtention de dérogations, de limiter les arrêts de chantiers et d'éviter les retards de livraison.

23. Voir LBSC : II. B. ❷ 1. « Engagement de Garantie de Chantier moins-nuisant HQE ».

2. Améliorations dossier Bruit

ÉVALUATION



Acoustique : progrès attendus.
Économie : peu coûteux.
Maturité : demande du travail de validations, et aussi d'information.
Ergonomie : critère non pertinent, note médiane.
Responsabilité : améliore la responsabilisation des acteurs.
Durabilité : la méthode peut se développer et être améliorée.

Le dossier Bruit précise les dispositions de l'Entreprise pour limiter les nuisances sonores. Ce dossier est présenté à la Préfecture avant le démarrage. Conformément à la réglementation en vigueur (art. R571-50 du CE), un dossier « bruit de chantier » devra être déposé en Préfecture par le maître d'ouvrage, au moins un mois avant le démarrage des travaux.

Une optimisation des pratiques, en complément des NRE[1] existantes, est suggérée ici impliquant une amélioration souhaitable des dossiers Bruit des entreprises, tel que décrit ci-dessous.

Évolutions possibles de cahier des charges

Certaines pistes sont à étudier dans le but d'améliorer les dossiers d'appels d'offres en matière de maîtrise des nuisances sonores des chantiers, notamment en vue d'objectifs acoustiques plus précis et plus effectifs.

1. Notice de Respect de l'Environnement. Voir LBSC : II. A. 1. a. « Planification et étude du projet ».

a. Objectifs acoustiques

Il est difficile d'imposer des seuils de bruit en raison de la disparité des bruits de chantiers (intensités, durées, tonalités, ...), et aussi des variations de sensibilités des riverains en fonction de leurs activités (commerce, travail, sommeil, etc.). Les aspects particuliers des sons (tonalité, intermittence, pics de bruit, etc.) peuvent souvent être à l'origine d'une gêne exprimée par le voisinage, par opposition à un bruit continu et de même intensité par exemple.

↓

Des critères de déclenchement d'alertes pourraient être ainsi testés par la SGP sur ses chantiers en cours et les projets à venir.

Seuils limites

Un compromis doit être trouvé vis-à-vis d'objectifs acoustiques plus précis :

→ Des objectifs sur des valeurs limites d'émergences avaient été imposées par la SGP, mais semblent être aujourd'hui abandonnées car vraisemblablement peu réalistes.

→ Un seuil qualitatif est ainsi laissé à l'appréciation des entreprises, seuil dit « tolérable » pour les riverains. Cette dernière notion de seuil tolérable est ici trop floue et ne permet pas le contrôle d'engagements fermes vis-à-vis d'objectifs acoustiques qui seraient vérifiables.

Ce compromis pourrait être trouvé selon plusieurs pistes, en testant par exemple :

→ Des seuils limites LAeq inspirés des réglementations internationales relativement contraignantes[2] (avec des moyennes énergétiques) : valeur courante de 55 dB(A) maximum en LAeq par période diurne ; 45 dB(A) de nuit (remarque : valeur utilisée de jour pour les pays les plus stricts), dans les zones riveraines sensibles. Rappelons ici pour indication les seuils à respecter en limites de propriété imposés aux ICPE-A : 70 dB(A) de jour et 60 dB(A) de nuit.

→ Des seuils de contributions maximales LAmax limités : par exemple sur l'indicateur LAeq(15 min.) à une valeur courante de 70 dB(A) le jour et de 60 dB(A) la nuit.

2. Voir LBSC : I. C. « Point réglementaire ».

Autres indicateurs de gêne

Des particularités de bruits sont sources de nuisances plus importantes :

- La durée d'exposition au bruit : celle-ci est transcrite via les indicateurs indiqués LAeq ci-dessus ; ils mériteraient d'être approfondis par la connaissance exacte de la durée d'émission quotidienne de bruit au-dessus d'un certain seuil par périodes sensibles (en contrôlant l'origine des bruits).
- L'émergence des bruits de travaux par rapport au bruit ambiant habituel hors chantier : le critère d'émergence de bruit de chantier en dB(A) pourrait être étudié ; cela suppose une excellente connaissance de l'état acoustique initial du site en projet (voir ci-après). Rappelons ici pour indication les valeurs d'émergence admissibles dans le cadre de la réglementation de bruit de voisinage, pour une activité continue : +5 dB(A) de jour et +3 dB(A) de nuit.
- La tonalité marquée d'un bruit : un indicateur de contribution tonale (LAeq max par exemple) ou d'émergence fréquentielle pourrait être utilisé dans ce cas.
- Des bruits impulsionnels : l'indicateur de LAFmax serait indicatif de la gêne des riverains, mais il ne semble pas possible d'éviter ce type de bruit sur un chantier et donc d'en fixer une limite.

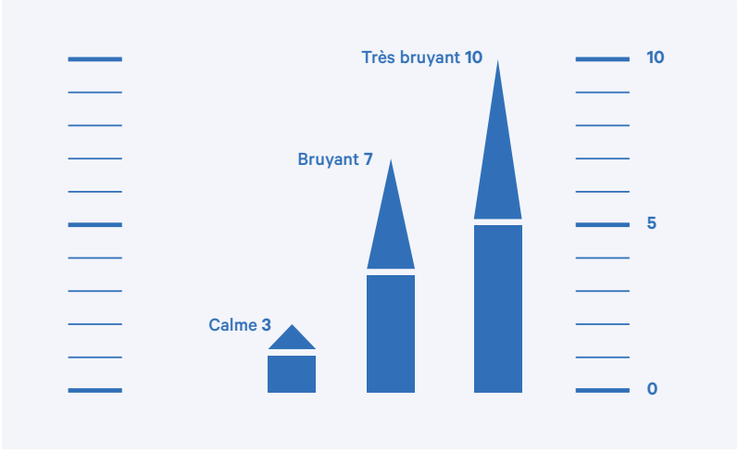
Ces indicateurs devraient être étudiés en fonction de périodes sensibles sur chaque zone sensible dans l'environnement du chantier.

À noter, l'expérimentation en cours de l'indice européen Harmonica (Life program 2010) qui propose une représentation de la gêne par un indice unique à l'aide à la fois du niveau de bruit de fond (L95) et des valeurs d'émergences (LAeq – L95) : une note est attribuée à chacun de ces indicateurs, donnant lieu à un indice global de gêne.

Cet indice Harmonica délivre ainsi une note comprise entre 0 et 10, qui est donnée avec une décimale ; plus la note est élevée, plus l'environnement sonore est dégradé.

Exemple de visualisation par l'indice Harmonica : les rectangles indiquent le bruit de fond et les triangles les pics ou émergences qui viennent s'ajouter au bruit de fond.[3]

3. Voir LBSC : II. C. 2. « La Méduse de Bruitparif ».



Cet indice pourrait être testé sur un pas de temps plus représentatif (1h dans l'expérimentation Bruitparif) pour des bruits de chantiers, de 15 minutes par exemple.

b. État acoustique initial

L'état acoustique initial d'un site est fondamental pour juger de l'« irruption sonore » produite sur un chantier donné. Cet état acoustique doit être réalisé en amont de la préparation de chantier le plus précisément possible.

Dans la pratique, l'arrivée du chantier risque de déformer le paysage et de modifier les circulations routières initiales (trajets et débits). Ainsi on pourrait avoir à faire à deux situations d'état initial :

- **Situation 1** : « avant arrivée du chantier »
- **Situation 2** : « avec chantier à l'arrêt ».

Situation 1

La situation 1 est évaluée jusqu'à présente sommairement par la MOA/MOE avant consultation des entreprises.
Cette définition des ambiances sonores initiales mériterait d'être approfondie, par exemple via la MOE ou une consultation spécifique des bureaux d'études acoustiques en amont, en précisant :

- Les zones sensibles exactes du site en projet : habitations individuelles et collectives, lieux de loisirs ou repos (parcs, terrasses…), établissements sensibles (notamment d'enseignement et de soins).
- Les niveaux sonores ambiants avant travaux sur ces zones pendant les périodes prévisionnelles de chantier les plus sensibles : jour, nuit, débuts/fins de journée, week-ends.

Pour être précis, cet état initial se basera sur une campagne de mesures acoustiques aux points représentatifs et sur une semaine au moins, avec enregistrements spectraux ; une modélisation acoustique du site existant sera calée et validée à l'aide des résultats de la campagne de mesures.
Le modèle acoustique permettra ainsi de connaître le niveau sonore initial devant toute façades ou dans toute zone sensible sur la période de référence voulue.
Cela permettra de mieux connaître les impacts acoustiques du chantier à venir (voir ci-après « Projet et impacts sonores »).

Situation 2

4. Voir LBSC : II. C. 1. « Monitoring et participation ».

La situation 2 d'état initial acoustique est réalisée par les entreprises à l'aide des stations de surveillance mises en place sur site, avant le démarrage des travaux et aussi pendant les périodes d'interruption ensuite.[4]

Ces relevés sont complémentaires à la situation 1 car ils permettent d'examiner d'une part l'impact des installations sans travaux sur l'environnement sonore, d'autre part ils permettent de connaître les émergences réelles des bruits de chantiers sur le site.

c. Projet et impacts sonores

Les estimations des impacts sonores en termes de contributions du bruit des différentes phases du chantier sur le voisinage sensible sont estimées par les entreprises, mais ne sont pas présentées dans les dossiers Bruit.

Ces estimations des niveaux sonores équivalents – générés par chaque phase de travaux en fonction des engins et opérations affectés à celle-ci pourraient être systématiques à l'aide d'une modélisation acoustique prévisionnelle plus en amont des travaux (réalisée sur sites sensibles uniquement et en fonction de l'avancement des travaux).

Par ailleurs, les données récoltées par la SGP devraient être homogènes : idéalement ce sont les contributions sonores en façades ou sur zones sensibles qui sont intéressantes, selon plusieurs indicateurs possibles, comme indiqué ci-dessus dans « Objectifs acoustiques ».

Dans ce cadre, les études liées aux opérations particulières et aux circulations des engins devraient apparaître explicitement dans les dossiers Bruit.

d. Solutions de protection

5. Voir LBSC : II. III. et IV.

Procédures et engins, solutions de protections :

Des règles et recommandations sont données aux entreprises par la SGP qui peut s'inspirer des solutions proposées[5] pour les intégrer à son cahier des charges.

Au-delà de cela, un besoin d'harmonisation des informations données par les entreprises est nécessaire, et leur réponse (et dossier Bruit) devront inclure par exemple :

- → Liste exhaustive des machines et engins avec puissances acoustiques correspondantes en LwA ou LwA/m. Mise à jour en fonction des versions et générations d'engins.
- → Estimation des niveaux sonores équivalents générés par chaque phase de travaux en fonction des engins et opérations affectés à celle-ci, conformément à l'étude d'impact (voir ci-dessus).

6. Voir LBSC : II. A. et III. A.

Les bonnes pratiques devraient être encouragées d'une manière ou d'une autre par le donneur d'ordre, voire imposées pour certaines[6].
Quant aux solutions de réduction du bruit, citons notamment ici :

- → Préférence des moteurs électriques aux moteurs thermiques ;
- → Procédures peu ou moins bruyantes à développer et comparer (le seul critère acoustique peut parfois être insuffisant) ;
- → Mesures de protection des riverains : attention, certaines peuvent s'avérer négatives pour le voisinage, par exemple la mise en place d'écrans qui sont réfléchissants, et vont amplifier les niveaux sonores des riverains situés en face.

7. Voir LBSC : II. B. ❶ « Évolutions Contractuelles ».

Vis-à-vis de solutions de prévention du bruit, de contrôle et communication pourraient bénéficier d'évolutions :

- → Surveillance du bruit : qu'en est-il des critères de dépassements ; comment sont utilisés les résultats ? quelles procédures de réduction de bruit ensuite ?
- → Dispositif d'alerte automatique (seuil à choisir avec précision) par sms et/ou signal visuel sur site (gyrophare) permettant d'interrompre immédiatement toute tâche dépassant les limites autorisées ;
- → Contrôle des mesures de réduction de bruit : comment se concrétise-t-il sur les différentes actions (formation, puissances d'engins, mesures à la réception, etc.) ? les bonnes pratiques mises en œuvre sont-elles maintenues (non dégradées) au cours du temps ?
- → Un responsable « bruit et vibrations de chantier », nommé parmi les cadres de l'entreprise titulaire ; il aurait autorité sur tout le personnel présent sur site pour interrompre les tâches nuisibles ;
- → Communication, gestion des plaintes, sanctions et compensations sont des sujets à approfondir[7].

e. Autres dispositifs

8. Voir LBSC : II. B. ❷ « Noise labels et Prix du silence ».
9. Voir LBSC : II. B. ❷ 1. « Engagement de Garantie de Chantier moins-nuisant HQE ».
10. Voir LBSC : II. B. ❶ 1. « Conception juridique – Points Bruit ».

Labellisation
Le respecter d'un label de chantiers moins bruyants pourra faire partie des mesures exigées au cahier des charges de la SGP ; ce type de label, qui pour l'instant n'existe pas en France pourrait être créé sur la base d'autres labels existants comme Piek[8] ou HQE[9].

Points Bruit
Un système comparable au permis de conduire à point pourrait à la fois inciter et contraindre les entreprises à respecter leurs engagements en matière de bruit. Pour que ce système fonctionne, il doit être défini et détaillé dans le CCAP, et les critères de chaque site-chantier doivent être précisés dans les dossiers bruit.

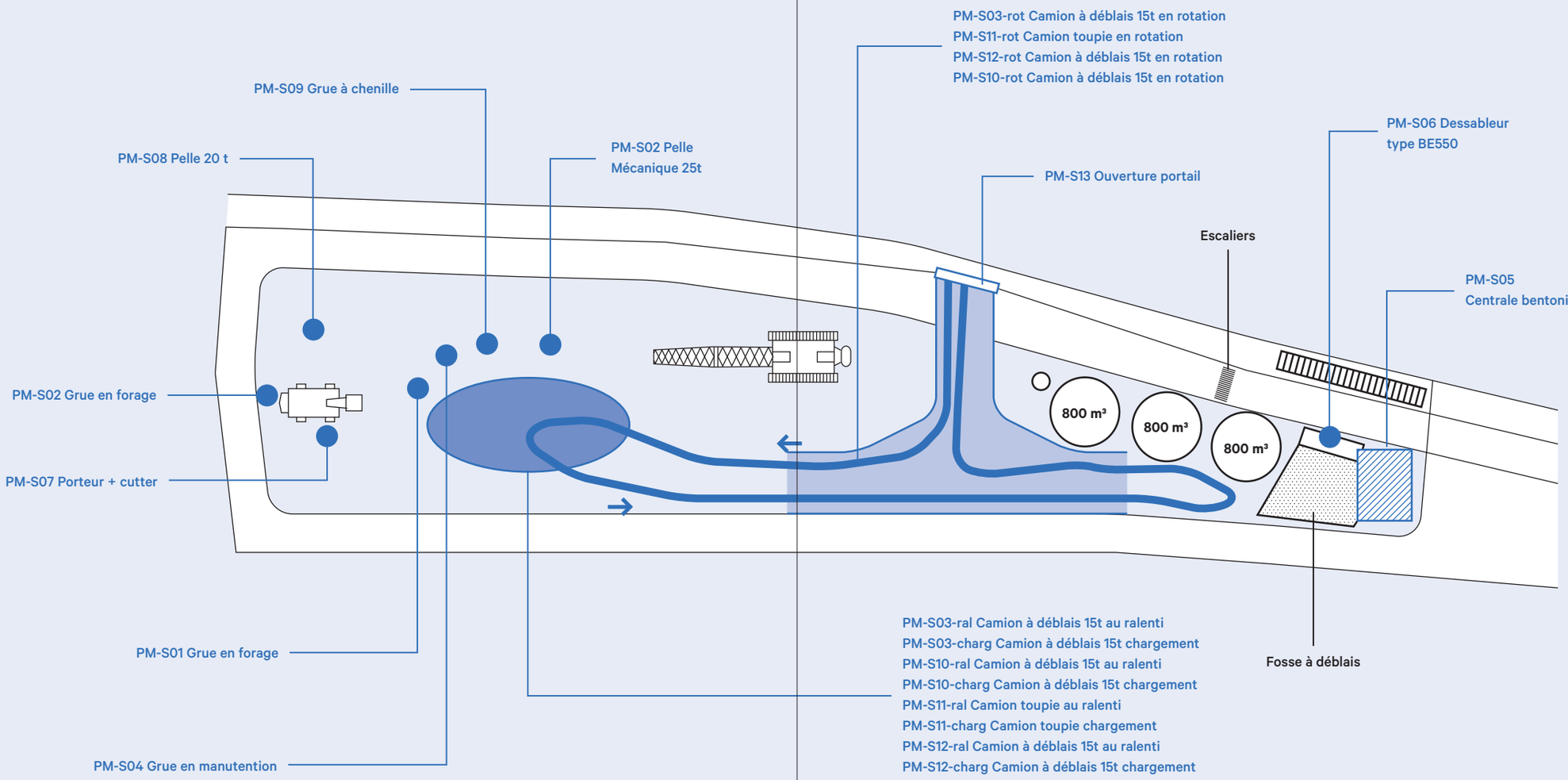
Sanctions
En cas de non-respect répété des engagements et de perte de tous les Points Bruit[10], une sanction sera imposée. Les montants des pénalités sont définis dans les CCAP.

f. Conséquences sur le « dossier Bruit »

Les indications données au chapitre précédent, si elles étaient imposées aux entreprises, pourraient les amener à renforcer le contenu des dossiers Bruit avec :

- → Harmonisation des rendus avec des indicateurs communs ; notamment puissances LwA et contributions sonores dans les zones sensibles.
- → Utilisation commune d'un ou de plusieurs indicateurs acoustiques choisis par la maîtrise d'ouvrage.
- → Études d'impacts des phases de chantiers présentant cet (ces) indicateur(s) dans les zones sensibles de chaque site en projet.
- → Études spécifiques des opérations particulièrement bruyantes, étude particulière des circulations des engins et poids-lourds.
- → Présentation de dispositions et initiatives particulières pour la réduction de bruit.
- → Choix d'un niveau de label « Silence Chantier » pour l'entreprise en concertation avec le MOA et les riverains pour un chantier donné.

EXEMPLE ISSU D'UN DOSSIER BRUIT : PLAN DES SOURCES SONORES ET DES CIRCULATIONS SUR UN CHANTIER – BASSINS DE 800 M³ SANS PAROIS CLOUÉE



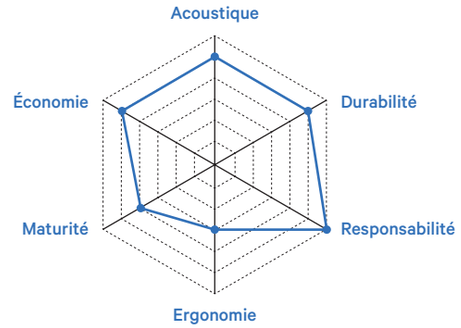
II. Méthodes et solutions transversales
B. Pistes de développement – méthodologie
❶ Évolutions contractuelles
2. Améliorations dossier Bruit

2

Noise labels et Prix du silence

1. Engagement de Garantie de Chantier moins-nuisant

ÉVALUATION



Acoustique : amélioration certaine.
Économie : mise en œuvre et communication peu coûteuses.
Maturité : travail de développement, communication et suivi.
Ergonomie : non pertinent, note médiane.
Responsabilité : un engagement responsable.
Durabilité : système durable une fois en place.

Pour chaque site-chantier, on définit en amont du chantier le niveau de qualité acoustique nécessaire. L'entreprise de Génie Civil et le Maître d'Ouvrage contractualisent pour offrir aux riverains et aux collectivités locales une garantie de Haute Qualité Acoustique. Le modèle de référence est ici la labellisation HQE corrélée à un système de « Points Bruit ».

Le but de cet Engagement de Garantie est de fixer le plus précisément possible les conditions d'intervention, de les justifier, de pouvoir les faire respecter, et d'obtenir les autorisations nécessaires.

Les critères d'attribution du niveau de qualité supérieure sont à fixer de manière que toutes les collectivités ne les exigent pas. Les Engagements de Garantie et les critères d'attribution devront donc être équilibrés et des contreparties pourront être exigées pour leur validité.

a. 4 niveaux de garantie de qualité proposés

La sensibilité des chantiers étant variable en matière de nuisances sonores, il convient de hiérarchiser les labels en fonction des enjeux ; nous proposons pour cela 4 niveaux d'engagements du plus faible au plus fort : N1 à N4.

D'après le tableau ci-dessous
Typiquement sur un chantier où l'on travaille de nuit en milieu urbain dense, le niveau N2 doit être respecté le jour et le niveau N3 pendant la nuit.

Bien entendu, les engins et appareils seraient les même le jour et la nuit, mais ceux qui fonctionnent de nuit devraient respecter des limites plus contraignantes[1].

1. Bien entendu, on ne change pas les équipements utilisés entre le jour et la nuit, mais seuls les engins et appareils respectant les limites pour le travail de nuit seront autorisés pendant cette période.

NIVEAU HQE/A	TYPE	OBLIGATIONS	SITUATION ET CONTREPARTIES
N1	→ Chantier qualité SGP	Défini actuellement par la SGP pour tous ses chantiers	Tous les chantiers de la SGP
N2	→ Chantier moins-nuisant	Contraintes horaires de jour, dispositifs de réduction de bruit pour les actions, types de machines autorisées, monitoring, type d'alarme de recul…	Proximité immédiate d'habitations ou de zones sensibles (crèches, écoles, commerces, bureaux…)
N3	→ Chantier 24/24	Obligations de niveaux de bruit réduits pour le travail de nuit, avec des obligations du type : – Seuil limite d'émissions sonores réduit pour la nuit – Utilisation exclusive d'engins et de machines à motorisation électrique – Alarmes de recul bruitées à intensité adaptable. Le volume de l'alarme s'adapte au niveau de bruit de fond (émergence limitée) – Radar de recul amélioré à l'intérieur des cabines d'engins pour la sécurité[2]. – Utilisation des Acousticks[3] sur le chantier pour surveiller chaque source de bruit en temps réel et alerter en cas de dépassement.	Proximité immédiate d'habitations ou de zones sensibles (crèches, écoles, commerces, bureaux…)
N4	→ Chantier couvert	Couverture acoustique complète de la zone de travail. Motorisation électrique.	Situations exceptionnelles. (e.g. d'un puit au cœur d'une zone d'habitations). Participation des collectivités aux protections et accès.

2. Voir LBSC : IV. (ENSCi), projet « PSHTT Pshtt ».
3. Voir LBSC : II. C. 5. « Les Acousticks ».

b. Parallèle avec la démarche NF Haute Qualité Environnementale (HQE®) Habitat

La proposition précédente s'inspire de la démarche NF HQE et l'adapte aux bruits de chantiers, mais pourrait offrir également une possible compatibilité avec la norme existante.

Une opération NF HQE Habitat est définie par son profil multicritères (Performance économique, Qualité de vie, Respect de l'environnement) qui s'exprime en nombre d'étoiles (1 à 4) par engagement.

Pour tous les applicatifs « Construction », le profil HQE avec 2 étoiles sur chaque engagement correspond à une opération qui respecte toutes les exigences NF Habitat et les exigences HQE 1 point. Il constitue le niveau minimum en-dessous duquel l'opération ne peut être certifiée NF Habitat HQE.

Par analogie, le nombre d'étoiles obtenu sur l'ensemble des Engagements de Garantie permet de qualifier le niveau HQE de l'opération :

N1	N2	N3	N4
Niveau 1 (minimum) Chantier à émissions réduite	**Niveau 2** Excellent	**Niveau 3** Exceptionnel	**Niveau 4**
↓	↓	↓	↓
★★★ ★★★	★★★ ★★★ ★☆☆	★★★ ★★★ ★★★ ★☆☆	Conditions particulières de protection
6 étoiles	**7 à 9 étoiles**	**10 à 12 étoiles**	

Pour l'attribution d'étoiles, il faudra faire l'évaluation prévisionnelle de l'exposition au bruit du voisinage et celle des efforts de réduction.

4. Cette évaluation doit être présentée et coordonnée avec la NRE, le dossier Bruit, le BIM/SIG.

Dans le cadre de l'appel d'offres pour un site donné, la Maîtrise d'Ouvrage pourra évaluer la sensibilité du voisinage selon différents critères, afin d'établir un profil spécifique :

- → Nature des travaux (ligne en tranchée, gare, etc.) et des engins, intensité acoustique générée.
- → Durée des travaux.
- → Possibilité de protection sur le chemin de propagation.
- → Possibilité de protection individuelle des riverains les plus exposés.
- → Autres critères éventuels, à définir[4].

Pour chacune de ces cibles, les propositions de l'entreprise soumissionnaire permettront d'obtenir un certain nombre d'étoiles. Les Engagements de Garantie précisent les obligations des entreprises de Génie Civil qui serviront de cadre au suivi des travaux.

Pendant les travaux, le Maître d'Ouvrage veillera à ce que les Engagements de Garantie soient bien respectés. Si les riverains ou les collectivités venaient à se plaindre, il serait alors possible de montrer que les engagements ont été respectés ou, si une inexécution est avérée, des mesures de redressement seraient nécessaires. Le dispositif de Point Bruit décrit en II. B. ❶ 1. « Conception Juridique – Points Bruit » contraindrait les contractants à tenir leurs engagements et permettrait d'éviter des recours problématiques pour l'avancée des travaux.

2. Déontologie professionnelle, conventions collectives, certifications et labels de qualité acoustique pour les chantiers

La garantie d'obtenir une réduction efficace des nuisances sonores sur les chantiers est que les professionnels prennent en charge eux-mêmes, de leur propre chef, de façon collégiale, volontaire et efficace la réduction des nuisances sonores.

1. www.ccscheme.org.uk

Cela passe notamment par une prise de conscience active des responsabilités dans la production du bruit en zone urbaine. Plusieurs solutions ont déjà été développées à l'étranger et que ce chapitre présente. Le groupement *Considerate Constructors* (CC)[1], est une association à but non lucratif fondée en 1997 au Royaume-Uni par les industries de la construction pour améliorer leur image.

Puis nous présenterons des labels existants pour la réduction des nuisances sonores dans d'autres domaines, ici les livraisons de nuit avec le label Piek/CertiBruit et d'autres. Enfin nous essaierons de définir à quoi devrait ressembler un label pour la réduction du bruit des chantiers pour les prochaines décennies.

a. Considerate constructors

Dans de nombreux pays, l'image des entreprises de Travaux Publics est désastreuse, notamment auprès des riverains des chantiers. Que ce soit justifié ou non, le consensus général est que les constructeurs ne sont pas suffisamment concernés par le voisinage ni motivés par la réduction des nuisances environnementales qu'ils produisent.

Afin d'améliorer cette image au Royaume-Uni, l'association à but non lucratif indépendante *Considerate Constructors Scheme* (qu'on peut traduire littéralement comme : le plan des constructeurs respectueux) a été créé en 1997. Elle comporte aujourd'hui plus de 10 000 membres actifs adhérant à un code de déontologie.

Les chantiers, les Entreprises de Génie Civil, les prestataires et fournisseurs y sont inscrits et s'engagent à respecter le *Code of Considerate Practice* (code des pratiques respectueuses) conçu pour encourager les bonnes pratiques au-delà des obligations réglementaires.

Ce plan couvre toutes les branches d'activité de la construction qui peuvent avoir un impact sur l'image de l'industrie dans son ensemble. Les principales actions concernent 3 catégories : le grand public, les ouvriers et plus généralement la force de travail et l'environnement.

Les principales obligations des constructeurs sont de :
- → S'assurer que les chantiers apparaissent professionnels et bien gérés
- → Mettre la priorité la plus grande sur leur impact sur le voisinage
- → Protéger et améliorer l'environnement
- → Atteindre le plus haut niveau de performance concernant la sécurité
- → Offrir un environnement de travail attentionné et protecteur

Leur portail web www.ccscheme.org.uk offre une base de données des meilleurs pratiques et propose des solutions ainsi qu'une plateforme de discussion à laquelle participent activement les professionnels les plus expérimentés et compétents afin de résoudre les problèmes que les membres y exposent.

↓

Un dispositif similaire existe dans d'autres pays (Hollande…), mais pas en France.

b. Certificat de silence pour les livraisons de nuit

Un autre secteur qui souffre également de sa mauvaise image de marque peut inspirer le monde des chantiers ; celui de la livraison de nuit en ville. À juste titre, la plupart des livraisons ont lieu quand les magasins sont fermés au public et quand la circulation est la plus fluide, autrement dit la nuit, pendant les heures de repos et de sommeil des habitants. Pour combattre les nuisances sonores dues aux livraisons de nuit à proximité des habitations, une certification a été créée qui assure que le matériel de livraison, camion, transpalettes… etc. soit suffisamment silencieux.

En 1998, le gouvernement néerlandais a réglementé les émissions de bruit pour les livraisons de nuit aux commerces de détail. Il en a résulté un projet de certification dénommé Piek (Piek-Keur) qui cible les bruits d'impact, d'où son nom (pic de bruit).

2. TNO est un organisme de recherche d'état indépendant appliqué à tous les secteurs dont le bâtiment.

Ce label permet de garantir que les véhicules et les équipements utilisés lors de ces livraisons de nuit respectent un seuil d'émission sonore inférieur à 60dB (A). Une méthode de mesure a ensuite été établie par l'Organisation Néerlandaise pour la Recherche Scientifique Appliqué[2] (TNO) pour tester les engins en vue de leur certification. Ce protocole est destiné à définir des méthodes de mesure de sorte que la conformité des nouveaux équipements soit établie au regard des limites fixées par le décret néerlandais.

La certification Piek a été adoptée dans plusieurs pays d'Europe comme le Royaume-Uni, la France, l'Allemagne et la Belgique. Tous ces pays utilisent le même protocole de mesure, de test et de certification. Les certificats délivrés par les organismes nationaux sont reconnus partout en Europe. Tous les organismes de certification Piek en Europe ont le même objectif : Contribuer à l'élaboration d'une solution pour limiter la congestion urbaine et ses effets sur la société en facilitant les livraisons de nuit.

Le site www.piek-international.com contient la base de données centrale européenne pour tous les véhicules Piek approuvé et leurs composants. Le site Internet Français : http://piek.cemafroid.fr/index.php qui est aussi impliqué dans le label Certi-Bruit.

En France il existe également une certification pour les bruits de livraison sur l'ensemble de la chaîne ; le Label Certi-Bruit. En plus de labéliser les équipements, Certibruit a pour objectif l'éducation des professionnels concernés. Certibruit Propose un label pour la réception comme pour la livraison des marchandises. Une attention est notamment apportée au respect des trottoirs et de piétons lors des livraisons.

3. http://www.certibruit.fr

L'association Certibruit[3]
Association loi 1901, Certibruit a pour objet l'échange d'information, la communication et la coordination des actions réalisées en commun par ses membres dans le domaine du bruit dans l'environnement particulièrement dans le cadre des activités de transport de fret et de livraison en milieu urbain.

L'objectif de Certibruit est de proposer aux acteurs de la logistique urbaine, de la distribution ainsi qu'aux collectivités locales, un label permettant de valoriser les efforts entrepris en matière de livraison silencieuse de nuit et de limitation du trafic de fret le jour.

↓

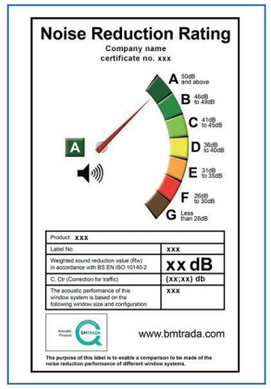
Pourrait-on développer une version du label Certibruit pour les rotations de camions et pour les engins de chantier de nuit ?

c. Vers un Label de moindre bruit pour les chantiers

Malheureusement il n'existe actuellement pas de labels de chantiers respectueux de l'environnement ni de certification du bruit pour les chantiers en France. Le seul dispositif de ce type existant sur le territoire Français est Les Chantiers Verts en Nouvelle Calédonie.[4]

S'inspirer des labels environnementaux des produits

Trop peu de produits commercialisés comportent un label indiquant leurs performances ou de réduction du bruit, il existe toutefois des entreprises qui proposent des certifications de niveau de bruit comme par exemple EXOVA au Royaume-Uni pour les Fenêtres[5].

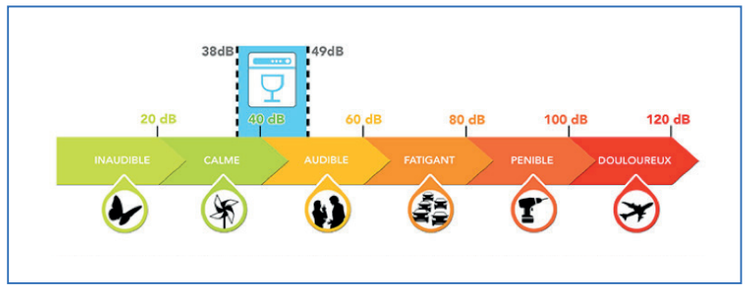


D'autres produits utilisent une échelle de bruit comme les appareils électroménagers. L'exemple cidessous issu des magasins Boulanger où le niveau sonore est indiqué et le texte de la publicité qui suit, illustrent les progrès possibles en termes d'information et de réduction du bruit dans d'autres domaines comme celui des engins de chantiers[5].

Un lave-vaisselle qui sait se faire discret est bien plus agréable surtout si vous possédez une cuisine ouverte. Un lave-vaisselle silencieux vous permet de l'utiliser le soir ou la nuit sans vous déranger. Parfait pour profiter des heures creuses de votre fournisseur d'électricité.

Un lave-vaisselle est considéré comme silencieux entre 43 et 46 dB et très silencieux en dessous de 42 dB.

(ndlr. Échelle valable le jour et pour des moments actifs mais pas pour le repos).



4. https://chantiervert.cci.nc/ dont Paris pourrait s'inspirer.
5. Les fabricants de matériel sont aujourd'hui tenus de communiquer le niveau de bruit de leurs engins ce que certains comme Takeuchi affichedirectement sur l'appareil.
www.exovabmtrada.com
https://www.bmtrada.com est un site de certification proposant notamment des certifications de bruit pour les chantiers

Dans le domaine aéronautique, les avions sont déjà soumis à l'obligation de certifier leur niveau de bruit (puissance acoustique) et des limites de bruits à l'atterrissage, au survol et au décollage définissent s'ils ont le droit d'atterrir ou décoller pour chaque plateforme aéroportuaire[5].

Un système comparable peut être appliqué aux engins de chantier[6]. Cela permettrait de réduire le bruit des chantiers. Comme pour les aéronefs, les mesures doivent être normalisées, publiées, leur application doit être surveillée et les contrevenants sanctionnés[7].

Quel label moins-nuisant pour les chantiers ?

Comment définir quelle réduction acoustique pour entrer dans telle ou telle catégorie ? Le bruit de la source varie d'une situation à l'autre, d'un point d'écoute à l'autre, en fonction de la hauteur des habitations, de la composition du sol, des bâtiments environnants, de la météo et du vent.

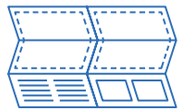
Malgré ces difficultés souvent invoquées à l'encontre des systèmes d'évaluation, l'aviation réussit à trouver un modèle généralisé et admissible devant les tribunaux. Nous sommes convaincus que les acousticiens peuvent s'entendre sur un modèle d'évaluation pertinent et certifié de limitation des nuisances sonores. Un label de qualité acoustique serait sans aucun doute la meilleure manière de pacifier les relations entre les acteurs des grands projets de construction : riverains et collectivités locales d'une part et d'autre part les EGC et leurs commanditaires.

↓

L'obtention de ce label montrerait à minima aux riverains qu'ils sont écoutés et considérés.

5. Voir LBSC : V. « Interviews », ACNUSA.
6. La directive 2000/14/CE impose déjà de déclarer la puissance acoustique des engins de chantier. Ce sont les limites et le contrôle qu'il reste à fixer et systématiser.
7. Voir LBSC : II. B. ❶ 1. « Conception juridique – Points Bruit ».

Un label de qualité acoustique pour les chantiers devrait à minima comporter les obligations suivantes :



1

Réaliser une analyse acoustique
avant la construction et en publier les résultats sous la forme d'une cartographie sonore[8] et ou mieux une cartographie auditive[9].

2

Publier une offre de solution
pour les situations problématiques où le bruit attendu est vraiment important : compensation financière, relogement, isolation ou acquisition.

3

Prescriptions pour la communication avec les habitants.
Standard mis en place avant le chantier.

4

Formation du personnel des chantiers et des riverains
à la gestion des problèmes de bruit[10].

5

Ce label doit inclure une plateforme d'information
sur les bonnes pratiques, la réglementation applicable, les dispositifs de recours et d'actions légales, et un forum de discussion permettant aux acteurs concernés d'échanger sur leurs expériences et de résoudre ensemble les problèmes par des communications directes.

8. La Cartographie de Bruit Stratégique (CBS) apporte une représentation tangible de la gêne potentielle des habitants et aide les collectivités à prendre les meilleures décisions pour protéger les riverains. Cette cartographie est déjà obligatoire, mais doit aussi être facilement accessible à tous.
9. Une cartographie sonore représente le niveau de bruit par des couleurs, mais ne distingue pas les bruits les uns des autres. Sur une cartographie auditive, interactive, on peut écouter les échantillons captés en temps réel aux positions et aux heures de captation et avoir ainsi une meilleure compréhension de la nature des bruits présents.
10. Voir LBSC : II. D. 1. « Communication, médiation et pédagogie ».

Il doit également répondre aux questions suivantes, apporter des solutions et publier les réponses :

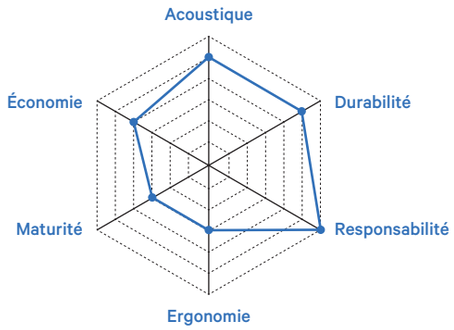
- → Où sont les sources principales de bruit sur le chantier et à quelle distance des points sensibles au bruit ?
- → Comment le flux d'information est-il conçu pour et avec les habitants, par exemple pour envoyer des notifications dès qu'une activité bruyante est programmée ?
- → Comment les rotations de livraisons sont organisées et aménagées ? Par exemple :
  - → Files et espaces d'attentes insonorisés pour les camions.
  - → Tous les véhicules équipés sont équipés d'alarmes bruitées de recul (non tonales)[11]
  - → … etc.
- → Les entreprises travaillant sur le site respectent-elles leurs obligations ?
- → Le matériel utilisé sur le site est-il conforme ?[12]
- → Le planning des événements bruyants du chantier pour réduire la durée d'exposition est-il optimisé ? En effet il est généralement préférable pour les riverains de subir 6 opérations bruyantes simultanément que successivement[13].
- → Quelles mesures autres que les protections auditives contre le bruit[14] été prises pour protéger le personnel sur le chantier, notamment, machines moins bruyantes, silencieux sur les appareils, traitement à la source, maintenance des équipements, dosimètres, consultation régulière en audiologie ?

Remarque
Pour documenter ce label, un tableau en ligne serait publié et tenu à jour, actualisé des niveaux de puissance acoustique et des limites pour chaque engin. La puissance acoustique des engins pourrait être établie et mise à jour par un comité consultatif compétitif rassemblant les fabricants, comme cela se fait depuis une quinzaine d'années dans l'aviation civile. Le label viendrait alors simplement fixer les seuils pour chaque type d'engin. En cas de dépassement constaté pour un type de machine, les EGC pourraient alors se retourner contre le fabricant. Les bruits ne dépendant pas que du fabricant mais aussi de l'activité, comme par exemple ceux des marteaux ou brise roches, ils seraient pris en compte par d'autres d'autres cadres réglementaires, i.e. autorisation d'utilisation, horaires, durée… Les engins devenant plus bruyants avec le temps, ils seraient également évalués régulièrement et entretenus pour rester en deçà des seuils limites convenus.

11. Voir LBSC : III. B. ❶ 1. « Les alarmes de recul bruitées » et IV. (ENSCi), projet « PSCHTT Pshtt » de Rémi Taulemesse.
12. Les lois Européennes et labels CE des engins de chantier en matière de bruit ne couvrent aujourd'hui qu'une petite partie des matériels de chantier et remonte à plus d'une dizaine d'années. Directive Machine 2006. Voir LBSC : I. C. « Point réglementaire ».
13. Cela n'est pas mieux pour le personnel sur le chantier. La solution étant évidemment de réduire le bruit à la source.
14. Voir LBSC : III. B. ❸ 1. « Protecteurs Individuels Contre le Bruit (PICB) ».

3. Prix du Silence

ÉVALUATION



Acoustique : progrès attendus.
Économie : relativement peu couteux.
Maturité : travail de développement, communication et gestion.
Ergonomie : non pertinent, note médiane.
Responsabilité : reconnaissance d'engagements.
Durabilité : initiative à pérenniser.

Le prix du silence pourrait être remis chaque année ou tous les deux ans par le Maître d'Ouvrage aux chantiers qui auront réussi à réduire leurs nuisances sonores ou à atteindre un nombre de Points Bruit supérieur à 20[1].

Il a pour vocation de mettre en valeur les efforts et progrès réalisés par les EGC pour réduire le bruit.

PRIX SILENCE CHANTIER

Le prix est avant tout symbolique et vise à mettre en valeur et améliorer l'image de l'entreprise qui le reçoit. Il fait l'objet d'une annonce publique de la part du Maître d'Ouvrage.

Il est remis lors d'une cérémonie de remise à laquelle sont invités et participent des représentants des riverains, des collectivités, journalistes, décideurs et spécialistes du bruit.

Le prix est donné pour un chantier donné et éventuellement assorti d'étoiles en fonction du nombre des résultats. Le prix peut être attribué à plusieurs entreprises.

Des mentions ou prix spéciaux peuvent également être attribués : à des sous-traitants, des fabricants, loueurs de matériels de chantier ou à d'autres acteurs.

Les entreprises sont encouragées à communiquer sur le Prix Silence Chantier, lors de leurs candidatures pour de nouveaux marchés, à l'International…

Un financement ou apport complémentaire pourrait être recherché auprès de collectivités et d'acteurs du bruit (associations, sociétés spécialisées dans le domaine acoustique…) pour l'organisation du prix et la cérémonie de remise.

1. Voir LBSC : II. B. ❶ 1. « Conception juridique – Points Bruit » et II. B. ❷ 1. « Engagement de Garantie de Chantier moins-nuisant HQE ».

3

Modélisation, BIM, IA et robotisation

1. Automatisation et « building information model » (BIM) et robotisation

Les temps changent aussi pour l'exploitation de chantiers de construction. Sur plusieurs aspects du processus de construction, le BIM est entré dans le jeu, révolutionnant quelque peu les rôles classiques des joueurs : il s'agit de rationaliser la conception du projet en s'assurant que les calculs des acteurs métiers sont réalisés sur un modèle commun.

a. Automatisation et « Building Information Model » (BIM)

Les processus de gestion des projets de construction et de gestion des problèmes a été déplacé vers le cloud ; parallèlement, la gestion des opérations fait de plus en plus l'objet de « monitorage » et d'automatisation. Cela se passe sous l'influence du Plan de Transition Numérique dans le Bâtiment de l'Union Européenne.

Récemment (2017), Cype et le CSTB ont par exemple édité le logiciel AcoubatBIM 1. Acoubat[2] est le logiciel utilisé par les acousticiens en France pour déterminer les valeurs d'isolation acoustique d'un bâtiment et Cype dispose d'une plateforme BIM. Cependant, au jour d'aujourd'hui, si le BIM est largement utilisé pour modéliser les gares et autres bâtiments y compris leur acoustique, cet outil ne modélise pas encore le bruit des phases chantiers ni le bruit environnemental.

Un autre développeur[3] de logiciels acoustiques a réalisé un programme BIM intégrant l'acoustique environnementale[4], ce logiciel est destiné à la phase de conception du bâtiment, mais ne devrait pas être loin de pouvoir prédire les niveaux sonores.

Modéliser de façon exhaustive les étapes et le détail des travaux des chantiers, avec les émissions de bruit correspondantes, permettrait comme c'est déjà le cas dans l'industrie, d'optimiser les plannings, la disposition du chantier, l'utilisation des engins, de prévoir ainsi en amont les mesures de réduction des nuisances dès la conception, de réduire les destructions, donc les bruits de casse, en intégrant la totalité des réservations possibles dans le modèle.

1. acoubatbim.cype.fr
2. logiciels.cstb.fr/santeconfort/acoustique-dans-lebatiment/acoubat
3. Le logiciel par Tisseyer et Associés n'est pas disponible dans le commerce.
4. Cela dit, indiquons ce travail est opérationnel en acoustique environnemental via des outils acoustiques SIG (Système d'Information Géographique) permettant la modélisation des bruits extérieurs (industrie, chantiers, routes, voies ferrées, aéronefs, etc.), citons par exemple les outils : Predictor, Cadna, Mithra-SIG. Le lien n'est néanmoins pas établi avec les outils BIM.

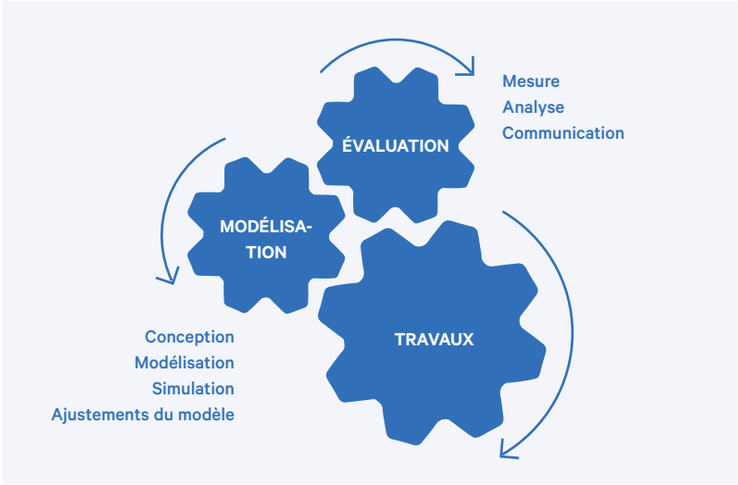
b. BIM et Intelligence Artificielle (IA)

L'automatisation dans la construction apportera probablement aussi des progrès dans le domaine du bruit. Les développements récents de l'intelligence artificielle ont accéléré ce processus. En général, le terme d'« intelligence artificielle » désigne la manière dont une machine intègre des capacités humaines comme « apprendre » ou « résoudre des problèmes ».

L'intelligence artificielle dépend des données d'entrée pour la prise de décision, et pendant la période de construction, le modèle BIM 4D (modèle 3D avec chronologie de construction) peut faire partie de ces données d'entrée.

5. Voir LBSC : II. B. ❸ « Modélisation, BIM, IA et robotisation ».

Le modèle 4D peut contenir des informations sur les tâches à réaliser, sur les machines impliquées et sur l'état d'avancement du bâtiment. Si ce modèle était utilisé dans un logiciel d'acoustique prévisionnelle environnementale[5], les nuisances sonores pourraient être prises en compte dans le processus de décision et de planification. Cette prévision dynamique permettait ainsi la réalisation ou non de certaines tâches bruyantes en fonction des objectifs acoustiques fixés, et aussi, les actions bruyantes, groupées ou non, pourraient être optimisées dans le temps (horaires, périodes).



Légende : Grâce notamment à la surveillance automatique, à l'analyse des données, à la comparaison des solutions et à leur modélisation, il devient possible d'accélérer et d'améliorer les actions contre les nuisances. Ce cercle vertueux, en se répétant par itération successives, s'ajuste progressivement.

6. Voir LBSC : II. C. 1. « Monitoring et participation ».

Un travail itératif à l'aide des stations de surveillance acoustique[6] pourrait servir à la validation du chantier en cours, au contrôle des dépassements de seuils de bruit, à la gestion des Points Bruit et à la communication automatique des alertes.

Un besoin de normalisation se fait sentir pour la modélisation du bruit des chantiers, à partir de modèles BIM, puis d'une IA afin d'orienter les décisions de réalisation ou modification des travaux envisagés en fonction des niveaux de bruit relevés. L'IA peut comparer les données de différents chantiers sur la durée et tirer parti de son apprentissage, de son expérience pour suggérer des solutions avérées sur d'autres chantiers.

L'Intelligence Artificielle se base sur la donnée. Le travail des acousticiens est de fournir et d'interpréter ces données dans le but d'optimiser le cycle de conception/mise en œuvre.

L'obligation d'ouvrir les données publiques constitue à ce titre une opportunité à la fois de transparence, mais aussi de développement de nouveau services de surveillance, d'évaluation et d'amélioration des performances environnementales des chantiers.

c. Robotisation

7. Voir LBSC : III. C. ❶ 1. « Électrification ».

L'un des objectifs de la recherche sur l'IA est le fonctionnement autonome des véhicules, principalement des voitures mais aussi d'autres engins mobiles. Avec le temps, cela pourra se traduire par une automatisation partielle ou globale du chantier, projet auquel de nombreux opérateurs réfléchissent déjà sérieusement tel Volvo[7]. Si cette évolution se concrétise, elle sera probablement précédée de l'utilisation de drones à commande manuelle, qui permettront de réduire le bruit auquel sera soumis l'opérateur puisqu'il pourra être placé un peu à l'écart.

8. Robotisation des terrassements via une maquette : https://bimbtp.com

Un modèle comme le BIM actuel sera envoyé à l'IA avec toutes les phases constructives prédéfinies du chantier. « L'engin n'a plus besoin de conducteur et interprète directement la maquette numérique pour travailler »[8]. L'IA fera fonctionner les machines, en augmentant probablement considérablement la vitesse et la précision de construction.

Les humains resteront probablement indispensables pour les tâches non répétitives et, souhaitons-le, pour des tâches créatives plus stimulantes.

Avec la précision accrue du robot, il y aura probablement une diminution de la production sonore, étant donné que chaque action pourrait idéalement être exécutée en douceur avec la quantité exacte d'énergie nécessaire à son accomplissement.

d. Limites

Avec la promesse de l'automatisation, de nombreux développements pourront être réalisés. Il n'y a aucun moyen de prédire avec précision les effets que cela aura sur notre industrie et sur les chantiers. Une chose est probable, dans n'importe quel domaine d'activité, les tâches répétitives ou pénibles seront plus souvent effectuées par des machines.

La construction d'un bâtiment est une opération impliquant de nombreux spécialistes et artisans. Sur un chantier, il y aura encore longtemps des processus qui n'auront pas été planifiés, au moins jusqu'à ce qu'une automatisation plus performante et moins coûteuse soit atteinte.

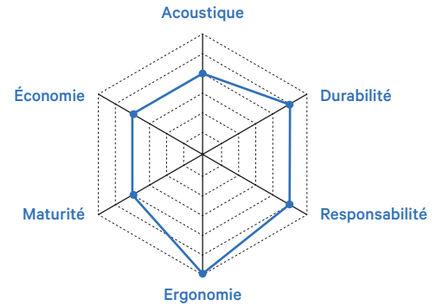
Si ce chapitre prospectif peut apparaître aujourd'hui comme de la science fiction, il ne faut pas s'y tromper, ces techniques sortent déjà des labos[9]. Des prototypes sont développés et testés par les grands groupes industriels pour qui l'automatisation des chantiers est un devenu un enjeu majeur d'innovation. À condition de considérer sérieusement la question du bruit, ces évolutions offrent une nouvelle chance de réduire les nuisances sonores.

9. Lire à ce sujet « The future of construction automation : Technological disruption and the upcoming ubiquity of robotics » Thomas Bock, 2015.

C.
MONITORING ET PARTICIPATION

1. Monitoring et participation

ÉVALUATION



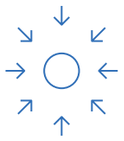
Acoustique : vise l'amélioration et le bien-être.
Économie : coût modéré (système souvent déjà en place).
Maturité : travail sur les seuils d'alertes (nature et intensité de bruits) et sur la communication.
Ergonomie : simple de mise en œuvre et à gérer.
Responsabilité : partage de l'information.
Durabilité : pérennité d'un chantier à l'autre.

Le monitoring est un système de surveillance qui, dans le cas de chantiers, peut concerner les bruits et vibrations, mais aussi la qualité de l'air, les poussières, les mouvements de terrain, etc.

L'installation d'un système acoustique permet de suivre en continu les émissions sonores générées par les activités du chantier et d'établir des règles à respecter pour les entreprises. On peut fixer des seuils de déclenchement d'une alerte sur une période ou sur toute la journée, et prévoir ensuite d'adapter en conséquence les modes de fonctionnement ou les horaires et durées de travaux. Le monitoring représente ainsi un outil de premier plan pour la concertation entre les différentes parties, MOA, MOE, entreprises et riverains notamment.

a. Mutualisation des surveillances

La surveillance des systèmes de monitoring se devrait d'être harmonisée de deux manières :



1

Restitution d'indicateurs représentatifs de la gêne des riverains qui soient identiques pour tous les sites du GPE : pertinence à définir des lieux d'enregistrements et des indicateurs acoustiques retenus.[1]

2

Création d'une plateforme internet regroupant l'ensemble des informations issues des stations de surveillance de manière pertinente et comparative.

1. Voir LBSC : II. B. 1 2. « Améliorations dossier Bruit ».

Ces aspects sont également abordés dans le chapitre précédent relatif au développement du BIM et de l'IA[2], outils qui permettront des améliorations itératives à plus grande échelle pour des actions correctives en fonction de la planification du chantier et des bruits effectifs sur le terrain.

2. Voir LBSC : II. B. 3 « Modélisation, BIM, IA et robotisation ».

b. Fiabilité des systèmes

Ces systèmes, couramment utilisés aujourd'hui, sont devenus très fiables ; on veillera à ce qu'ils permettent la lecture et l'enregistrement de valeurs intégrées courtes (LAeq(1s) ou plus court) et par bandes de fréquences (octaves, tiers d'octaves). La plupart d'entre eux permettent l'enregistrement de signaux audio pour une réécoute et la reconnaissance automatique des bruits enregistrés. On dispose ainsi de signaux capables de déclencher des alertes en temps réel, mais qui peuvent aussi être analysés plus en détail a posteriori.

Les systèmes de monitoring classiques enregistrent tous les sons en provenance de toutes directions dans l'environnement existant. Aussi on positionne les stations dans le chantier lui-même et si possible dans les zones sensibles exclusivement exposées au bruit des travaux. Il existe également des antennes acoustiques utilisées pour des relevés ponctuels plus précis permettant de localiser et mesurer chaque bruit.

À défaut, l'utilisation de stations de surveillance plus perfectionnées (plusieurs microphones) permettra de localiser les sources de bruit incriminées. C'est par exemple le cas de la « Méduse » de Bruitparif[3], développée avec la SGP et déjà utilisée sur les chantiers du GPE.

3. Voir LBSC : II. C. 2. « La Méduse de Bruitparif ».

c. Les seuils de déclenchement des alertes

Les seuils doivent être affinés en fonction de la sensibilité du voisinage. il est recommandé d'utiliser des indicateurs de bruit adaptés à chaque site[4].

Typiquement sur beaucoup de chantiers, un seuil de déclenchement est fixé sur l'indicateur LAeq(15 min.) à la valeur de 75 dB(A) maximum en façades de riverains. Encore faut-il s'assurer que la valeur seuil de déclenchement correspond à celle attendue, notamment celle qui sera présente en zone sensible (et non sur le chantier).

4. Voir LBSC : II. B. 1 2. « Améliorations dossier Bruit ».

d. Quelles actions à la suite des alertes

Les entreprises consignent aujourd'hui les dépassements de seuils de bruit, par exemple via le reporting du fichier Gasel[5] dans le cas des travaux du GPE.

Chaque dépassement de seuil sur les stations de surveillance acoustique provoque une alerte envoyée aux entreprises et au MOA, via un courriel ou un texto automatique. On peut imaginer que si plusieurs alertes étaient lancées sans que des mesures d'atténuation de la part du titulaire du marché soient prises, cela déclencherait un avertissement précisant les actions correctives demandées. Après trois avertissements, si ces mesures correctives demandées n'étaient pas prises et constatées, un « Point Bruit » ou un paiement équivalent serait retiré au titulaire par la MOA[6].

5. Voir LBSC : I. F. « Paroles de riverains et agents de proximité ».
6. Voir LBSC : II. B. 1 1. « Conception juridique – Points Bruit ».

e. Information participative

Les informations pourraient être partagées bilatéralement entre responsables du chantier et riverains. L'idée serait d'accentuer le dialogue, voire la négociation directe entre les riverains et les entreprises de génie civil, afin que les solutions soient apportées au cas par cas, sans recours au Maître d'Ouvrage.

Le rôle du Maître d'Ouvrage consisterait à encadrer et à arbitrer ce dialogue, et aussi le cas échéant, à prendre des mesures contraignantes. Une des clés de cette approche serait la disponibilité, l'accessibilité et la facilité d'interprétation de ces données réelles des émissions sonores. La nature de ces données est évoquée dans le chapitre du Livre Blanc relatif à l'amélioration du dossier Bruit[7].

Open Data et importance de la participation des riverains

Le partage de l'information serait une stratégie positive de transparence vis-à-vis du voisinage qui se sentirait écouté et pris en charge en cas de problème.

7. Voir LBSC : II. B. 1 2. « Améliorations dossier Bruit ».

À compter d'octobre 2018, l'ensemble des collectivités de plus de 3500 habitants et 50 agents devront ouvrir leurs données[8]. La SGP met déjà en ligne des jeux de données[9], par ailleurs on peut trouver une présentation synthétique des mesures de bruit dans l'application Chantieo de certains chantiers, mais pas encore tous, ni les flux de données brutes des capteurs sonores. Quant aux données des entreprises, elles ne sont pas diffusées.

La disponibilité des données aux riverains permettrait à des parties tierces de créer des services d'information et d'action. En 2018, notamment pour les 18-30 ans, l'opacité des données publiques n'est plus un fait vraiment admissible. Les citoyens payent leurs impôts, donc l'administration publique se doit de publier les informations dont elle dispose et qui les concernent. À Chicago par exemple, quand les habitants signalent des graffitis ou des encombrants, la ville a l'obligation de les enlever dans un délai limité[10].

De la part des preneurs de décision, la transparence est un signe de partage et d'inclusion positive. En matière de bruit, c'est le moyen de discuter sur des bases objectives saines.

Applications mobiles

L'utilisation d'applications mobiles de mesure et de monitoring par les riverains offre une ressource précieuse, à condition de respecter quelques règles de base, comme capter le son fenêtre ouverte et fenêtre fermée, retourner le smartphone pour que le microphone soit orienté vers la source du bruit, na pas bouger le téléphone ni la main pendant un temps suffisamment long (30 secondes à quelques minutes) ; puis partager le résultat de la mesure et le fichier audio correspondant avec l'Agent de Proximité.

Le rôle de cette captation ne serait pas de constituer une preuve, mais de consolider un signalement et de communiquer des informations localisées qui pourraient ensuite être corrélées avec les mesures des capteurs sonores situés sur le chantier.

Ces informations concerneraient : position GPS, date et heure, approximation de niveau de bruit en dB(A), nom du riverain si accord, informations textuelles (durée du bruit, nature des sources et positions des sources incriminées), fichier audio. L'Agent de Proximité pourrait alors corréler la gêne du riverain avec la responsabilité des bruits du chantier, et si besoin déclencher une action.

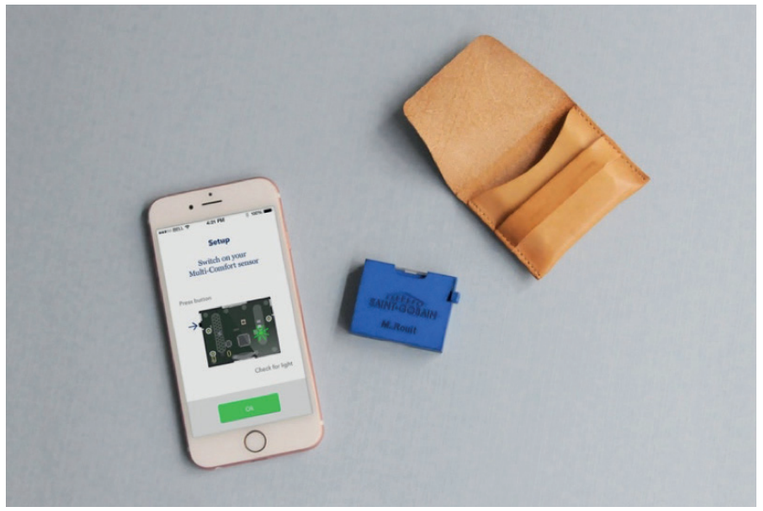
Quelques applications mobiles intéressantes de mesure contributive du bruit existent déjà : signalons notamment NoiseCapture[11] qui est une application collaborative gratuite Android permettant aux utilisateurs de mesurer et partager leur environnement sonore. Chaque mesure de bruit est combinée avec sa trace GPS afin que le résultat puisse être affiché sur la carte interactive de l'application, mais également sur une page publique[12].

8. Loi Lemaire pour une République Numérique du 7 octobre 2016. Décret n° 2016-1922 du 28 décembre 2016 relatif à la publication en ligne des documents administratifs. Décret n° 2017-638 du 27 avril 2017 relatif aux licences de réutilisation à titre gratuit des informations publiques et aux modalités de leur homologation…
9. www.data.gouv.fr/fr/organizations/societe-du-grand-paris
10. www.franceculture.fr/emissions/soft-power-11-12/la-france-et-louverture-des-donnees

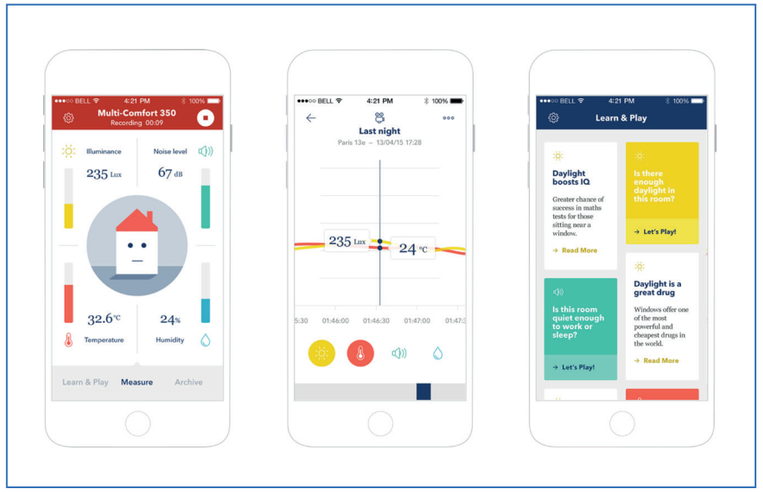
11. http://noise-planet.org
12. http://noise-planet.org/noisecapture.html

Signalons également le projet innovant ENSCi[13] dans le présent Livre Blanc. Ce type d'application pourrait être utilisé directement par les associations de riverains. Il faudrait quand même développer un outil pour remonter spécifiquement les informations des chantiers du GPE.

Il existe de nombreux systèmes d'évaluation acoustique, dont certains centrées utilisateur. Par exemple le MC350 est un petit module de mesure hardware relié par wifi à une application smartphone qui mesure les « 4 conforts » de la maison. Ce dispositif a pour but de constater les problèmes pour préconiser les travaux à réaliser dans une habitation dans le but d'atteindre un confort optimal. L'application donne un aperçu facile et synthétique des niveaux de bruits et des autres éléments de confort de la maison.



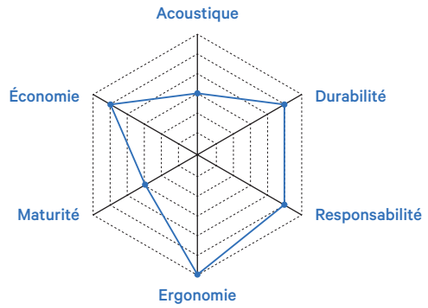
Design : Meaningful.



13. Voir LBSC : IV. (ENSCi), projet « Ensemble contre le bruit » de Raoul Koreman.

2. La *Méduse* de Bruitparif

ÉVALUATION



Acoustique : effets variables selon son exploitation.
Économie : relativement peu coûteux (monitoring amélioré).
Maturité : système en cours de test.
Ergonomie : simple d'utilisation.
Responsabilité : partage de l'information.
Durabilité : pérennité d'un chantier à l'autre.

Bruitparif[1] est une association Loi 1901 créée en 2004 par le conseil régional d'Île-de-France. Sa mission de service public est de réduire les nuisances sonores :

- **→ En observant et en réalisant des mesures.**
- **→ En donnant aux politiques publiques des éléments tangibles, pour prendre en compte le bruit dans leurs programmes.**
- **→ En aidant à la mise en œuvre de la directive européenne sur la gestion du bruit dans l'environnement[2].**
- **→ En informant les publics concernés.**

La directrice de l'association Fanny Mietlicky explique : « Notre but est de disposer d'un outil le plus objectif possible pour caractériser les nuisances sonores en créant un réseau d'observation du bruit en Île-de-France, basé sur des stations de surveillance ou sur des campagnes de mesures ». Dans les bureaux, laboratoires et ateliers de Bruitparif, et sur le terrain, une quinzaine de salariés conçoivent, modélisent, fabriquent, installent, observent, mesurent et communiquent les données d'un parc de balises sonores en Île-de-France. L'association est pilotée par un collège scientifique et quatre collèges de membres institutionnels (état et collectivités), associatifs et entreprises[3]. Le modèle est inspiré d'Airparif.

1. www.bruitparif.fr
2. 2002/49/CE – Voir LBSC : I. C. « Point réglementaire ».
3. www.bruitparif.fr

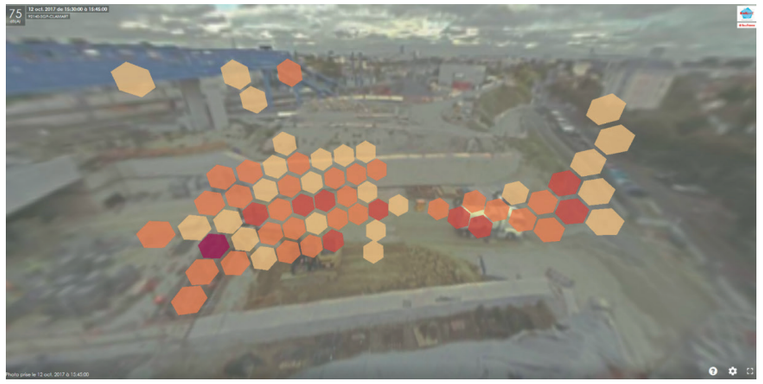
a. La Méduse, un petit capteur pour voir le bruit

La petite dernière s'appelle la Méduse. Développée en partenariat avec la SGP, elle est déjà installée depuis un an en test sur le chantier du Grand Paris Express de Fort d'Issy – Vanves – Clamart. Un nouveau partenariat est prévu avec la SGP pour installer 2 à 6 Méduses sur 6 chantiers de la ligne 15 sud.

La Méduse Bruitparif version 2017[4].

4. https://www.bruitparif.fr/la-meduse

Le concept est simple : un réseau de 4 micros permet non seulement de mesurer et d'analyser les niveaux et les composantes du bruit, mais aussi de connaitre précisément leurs provenances sur 360° en azimut et en hauteur avec une résolution de l'ordre du degré.



Vue de bruits émis par des engins de chantier à Clamart (12/10/2017 15 :30-15 :45).

5. Au jour d'aujourd'hui 07/05/18 seule la mesure du chantier de Clamart/Fort d'Issy RER est accessible en ligne www.societedugrandparis.fr/gpe/gare/fort-dissy-vanves-clamart, mais la SGP entend développer et si possible généraliser le dispositif.

Les principales sources de bruit sont signalées par des pavés hexagonaux en tons plus foncés. Grâce à la Méduse, le bruit du chantier peut être surveillé et la mesure est visible en temps réel sur le site web Chantieo[5].

La publication des données par la SGP sur son site internet est active sur le site de Clamart et il serait souhaitable de le déployer sur les autres chantiers en l'améliorant. Le fait de rendre ces données publiques permet de mettre en avant la transparence de la démarche, mais aussi d'éviter les malentendus provoqués par les mesures sauvages.

La Méduse offre une fréquence d'échantillonnage élevée et un système d'intégration sur la durée pour la restitution d'indicateurs Leq. Elle envoie ses données à Bruitparif qui les analyse et les traite en temps réel. Un ensemble d'outils logiciels back office permet ensuite aux utilisateurs d'extraire les informations dont ils ont besoin, d'envoyer automatiquement des alertes ou des avertissements.

Capture d'écran du widget Chantiéo sur le chantier de Clamart.
https://rumeur.bruitparif.fr/
https://rumeur.bruitparif.fr/immersive?site=92140-SGPCLAMART

b. Une innovation de rupture

Le système Méduse apporte des atouts majeurs qui n'existaient pas jusqu'à présent sur les chantiers :

- Il est performant, précis, résistant aux intempéries, durable et bon marché.
- Il est capable de corréler le bruit avec sa source, donc on ne pourra plus prétendre que le volume du bruit mesuré était produit par le chien des riverains.
- Il peut suivre les déplacements de plusieurs sources de bruits mobiles sur le chantier.
- Il peut être installé à peu près n'importe où sur un chantier, il suffit d'un point de fixation en hauteur et d'une prise d'alimentation au secteur.

Plusieurs évolutions du système sont d'ores et déjà envisagées :

- La triangulation de 2 ou 3 Méduses sur le chantier permettra d'accroître la résolution et de cartographier les bruits de l'ensemble d'un chantier en temps réel : moins de zones d'ombre, une précision accrue dans les résolutions spatiale et temporelle, la consolidation des données captées.
- Un système d'alertes SMS[6] en cas de dépassement de seuil (pics ou dose journalière sur et en périphérie du chantier). Une version autonome solaire ou sur batterie, déjà en cours de développement.
- La captation audio et le streaming du signal capté vers une station d'analyse et une API[7] permettant l'accès aux flux pour des applications tierce partie[8].
- La reconnaissance des signatures sonores des machines grâce à une analyse comparative des signaux avec des modèles de bruit des engins permettant de reconnaitre facilement l'utilisation de matériels non conformes aux engagements des Entreprises de Génie Civil.
- Un back office SGP permettant de suivre et surveiller précisément un ensemble de sources de bruits, de les mesurer, et de signaler des dépassements.

La Méduse de Bruitparif améliorée permettrait de repérer précisément :

- Les sources trop bruyantes ou mal isolées.
- Les sources de bruit utilisées en dehors des horaires ou des zones autorisées.
- Les appareils non conformes (alarmes de recul tonales ou BRH).

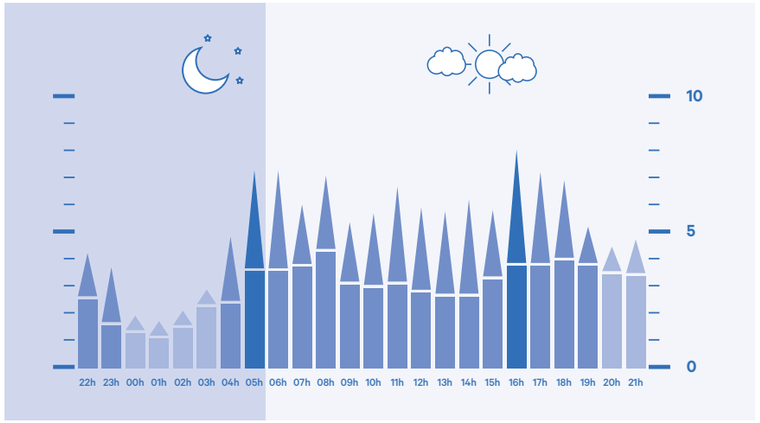
Ce même système permettrait également :

- Pour les EGC, de connaitre les sources de bruit anormales.
- Pour les riverains, de disposer d'une base objective d'échange avec les agents de proximité.

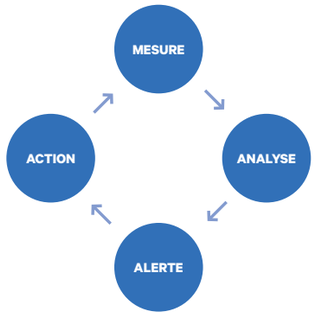
6. Des systèmes dédiés à l'information publique existent tels Ums Alert.
7. Application Programming Interface.
8. Voir LBSC : III. C. 3 5. « Radio Chantier ».

c. Indicateur Harmonica

Bruitparif a conçu dans le cadre du projet Européen Harmonica – en partenariat avec Acoucité[9] dans le cadre du programme européen Life+[10] – un indice de bruit simplifié permettant la combinaison bruit de fond et pics de bruit et de mesurer des émergences en utilisant une unité simplifiée entre zéro et dix.



Cet indice pourrait être intéressant en l'adaptant aux chantiers. Il offrirait l'avantage de prendre en compte le bruit de fond et les pics de bruit, de s'adapter aux seuils définis par le projet en fonction des chantiers et des horaires... Un tel indicateur permettrait notamment de comptabiliser les Points Bruits[11] positifs et négatifs d'un chantier et d'agir plus rapidement pour réduire le bruit.



Cela permettrait d'accélérer la vitesse de traitement via les itérations de la mesure, de l'analyse des problèmes et de l'information et en mettant immédiatement en œuvre les actions d'amélioration ; on multiplierait les chances de résoudre les problèmes.

↓

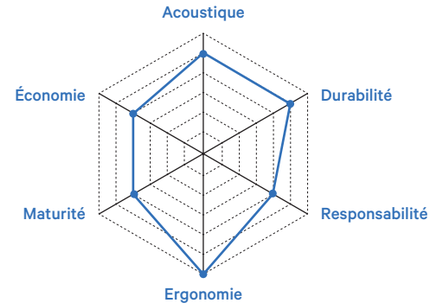
La Méduse de Bruitparif deviendrait alors un instrument de la réduction du bruit des chantiers quasiment en temps réel.

9. Harmonised Noise Information for Citizens and Authorities. Information harmonisée sur bruit pour les citoyens et les pouvoirs publics
www.acoucite.org/observatoire/etudes-realisations/projet-harmonica
10. Le programme LIFE est un instrument financier de la Commission européenne dédié à soutenir des projets dans les domaines de l'environnement et du climat.
https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/
https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/bruit-et-nuisances-sonores

11. Voir LBSC : II. B. ❶ 1. « Conception juridique – Points Bruit ». Notamment en affichant directement les dépassements des Engagements de Garanties et la l'action d'engins non conformes.

3. Le Chuteur

ÉVALUATION



Acoustique : action continue et effets rapides.
Économie : relativement peu coûteux (personnel en place).
Maturité : extension du rôle de l'agent de proximité.
Ergonomie : simple à mettre en place, interactivité.
Responsable : échanges entre compagnons et riverains.
Durabilité : peut se généraliser sur sites sensibles.

Le *Chuteur* comprend à la fois un dispositif physique et l'augmentation du rôle de l'agent de proximité :
→ « Bob le smiley » ;
→ Rôle de « Chuteur » : un ensemble de méthodes et d'outils pour et avec l'Agent de Proximité (mesures, alertes,...).

a. Bob le Smiley

Bob le Smiley est un instrument de monitoring destiné aux usagers du chantier. Placé en hauteur, il leur permet d'avoir un retour direct sur le niveau de bruit instantané ou celui de la dose journalière. Il est relié à un panneau de programmation du bruit et si possible des autres nuisances (poussières, circulations...) pour les jours ou la semaine à venir (sur la base de Chantiéo[1]). Techniquement, soit il est muni de son propre capteur (version autonome), soit il récupère les données d'un capteur installé et ne fait qu'afficher les informations.

En cas de dépassement des seuils ou de non-conformité du bruit, une alerte est envoyée à l'agent de proximité, aux responsables des opérations du chantier.

C'est un dispositif fixe et global à l'ensemble du chantier, plutôt destiné au jour, contrairement à l'AcouStick[2] (placé lui à proximité des sources, plus contraignant, plus précis et adapté aux travaux de nuit). Il existe des produits de ce type sur le marché comme par exemple le Sound Ear II XL[3].

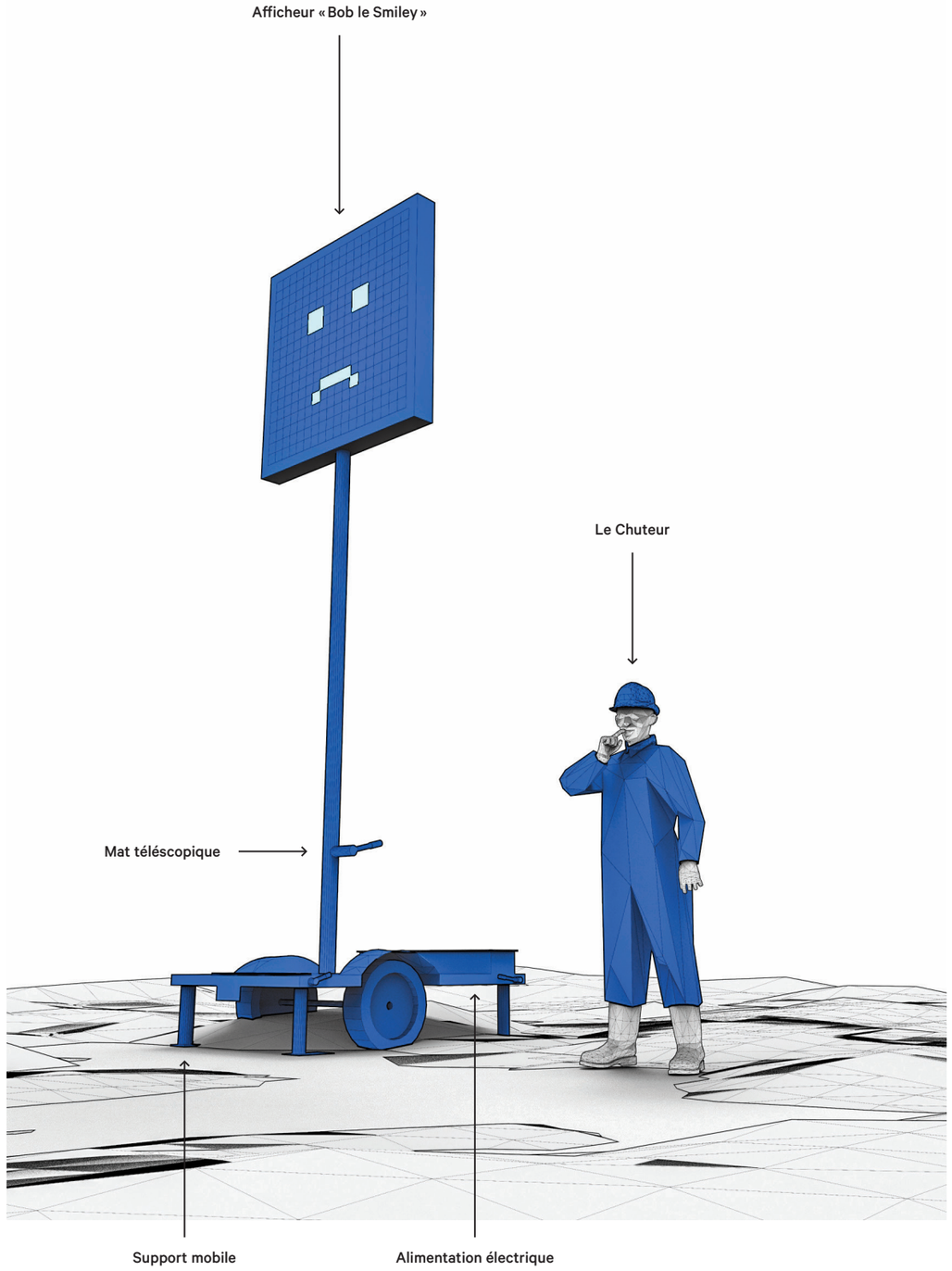
1. Météo des Chantiers : Voir chapitre précédent Monitoring.

2. Voir LBSC : II. C. 5. « Les Acousticks ».
3. https://envvea.com/produits/indicateurs-de-bruit/soundear-ii-industrie/
https://envvea.com/

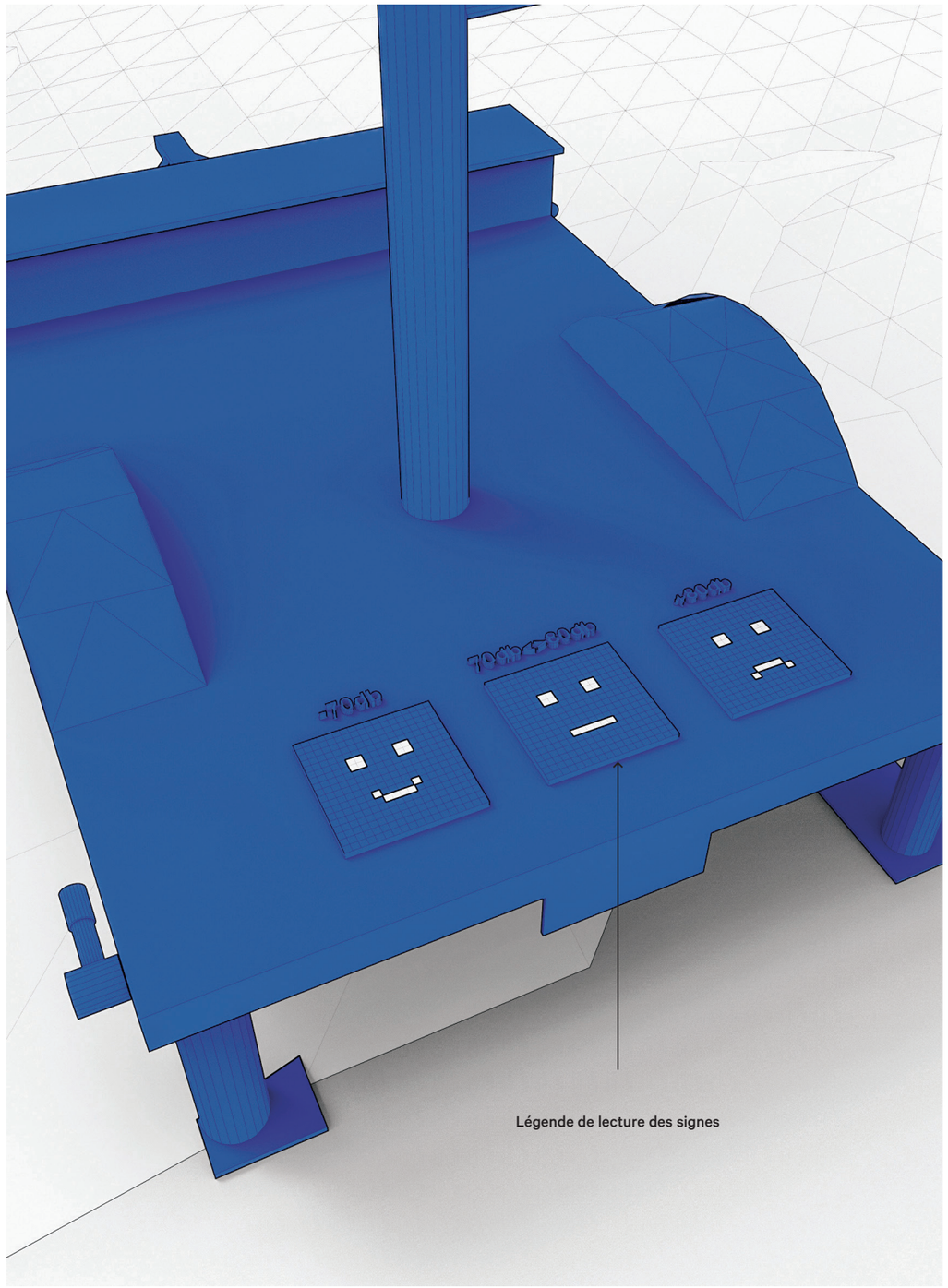
b. Le rôle de Chuteur

Le *Chuteur* est aussi une fonction donnée à l'agent de proximité[4] lorsqu'il intervient pour résoudre les problèmes de bruit du chantier. Il bénéficie pour cela d'un ensemble d'outils tels que ceux proposés dans le LBSC (Equaligrue, Acousticks, Bob le Smiley, capteurs sonores, monitoring, repérage, suivi et analyse des bruits, monitoring participatif) et d'une mission d'intervention.

4. L'agent de proximité est missionné par la Maîtrise d'Ouvrage. Voir LBSC : I. F. « Paroles de riverains et agent de proximité »

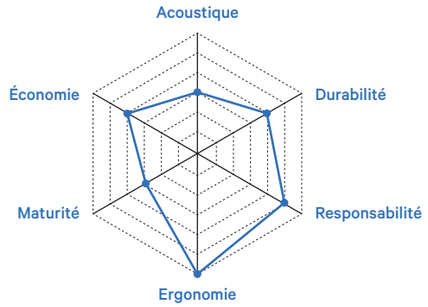


Alternance de la valeur
en chiffres et en Smiley


Légende de lecture des signes

c. L'équaligrue

ÉVALUATION



Acoustique : système plutôt informatif.
Économie : coût peu élevé.
Maturité : travail de développement à l'aide de moyens existants.
Ergonomie : information visuelle explicite.
Responsable : partage de l'information.
Durabilité : moyenne, selon usage.

L'*équaligrue* est un indicateur de type vumètre ou/et dosimètre donnant à tous les acteurs du chantier et aux riverains une vision en temps réel du niveau de bruit.

Ses outils :

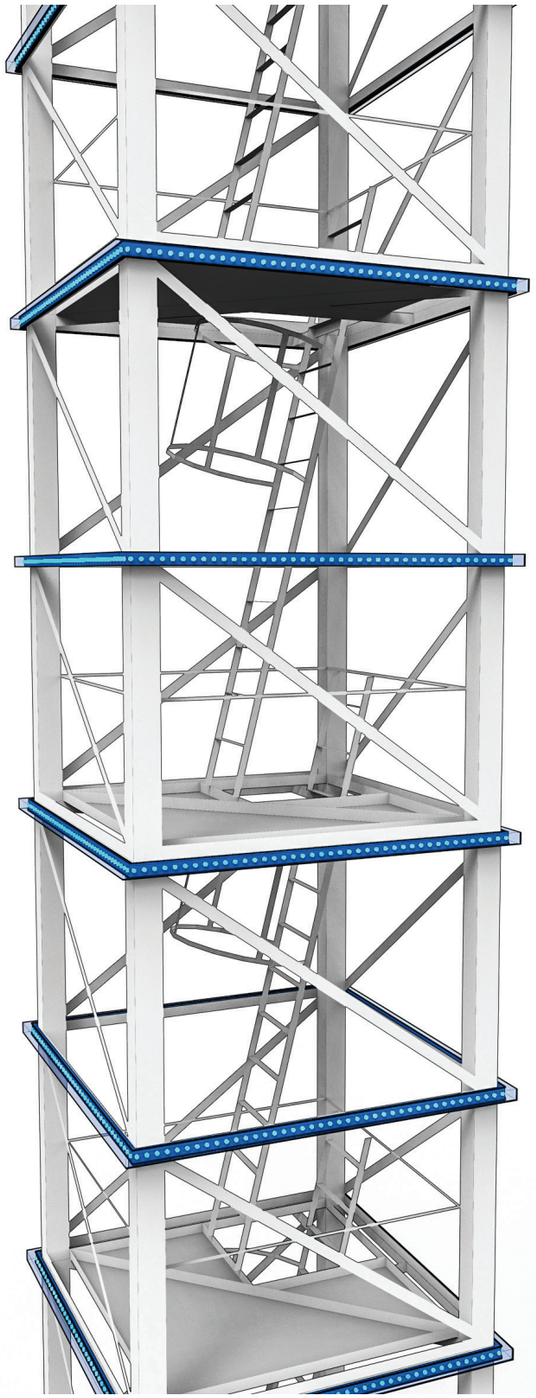
Un système de monitoring du bruit en temps réel lui permettant de constater :

- → Des niveaux de bruit supérieurs aux limites autorisées et programmées.
- → L'utilisation de matériels bruyants non conformes aux engagements du marché.
- → Des dépassements d'horaires.
- → Des sources de bruit situées à des emplacements non conformes aux engagements du marché.
- → ...

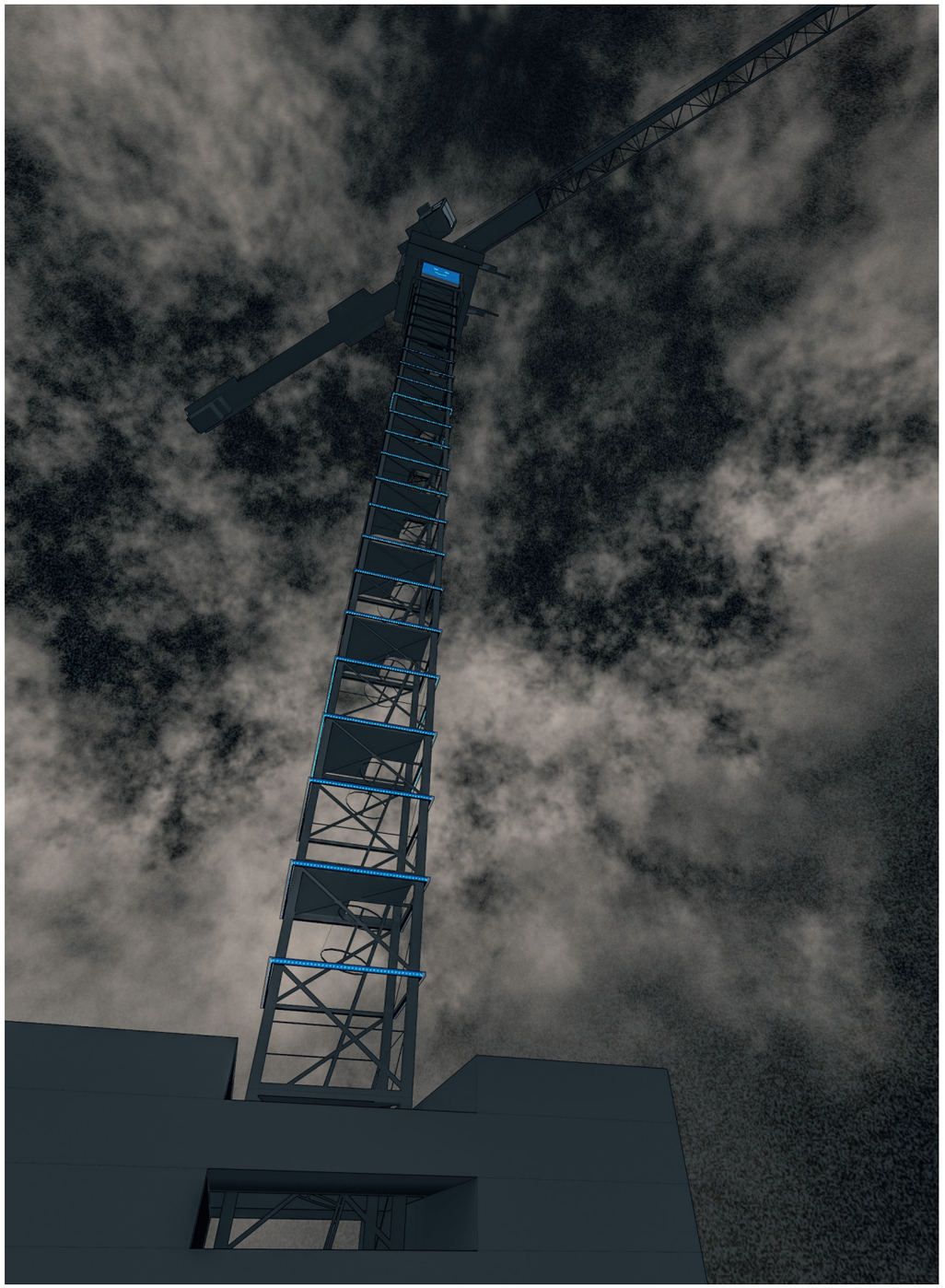
Ce système lui envoie des alertes et lui permet de vérifier une plainte des riverains. Le Chuteur a la possibilité d'intervenir directement auprès des responsables du chantier, de lui rappeler les règles et bonnes pratiques, de proposer les solutions les plus adaptées et de participer à la négociation entre les riverains et l'Entreprise de Génie Civil en tant que représentant de la Maitrise d'Ouvrage. Ainsi :

- → Si le problème est résolu, l'incident est clos.
- → Si le problème se répète, persiste ou n'est pas résolu, le Chuteur envoie un avertissement au responsable du chantier et à l'Entreprise de Génie Civil.
- → Si le problème n'est pas résolu assez rapidement, il demande qu'un Point Bruit[4] soit retiré à l'Entreprise de Génie Civil.

4. Voir LBSC : II. B. ❶ 1. « Conception juridique – Points Bruit ».

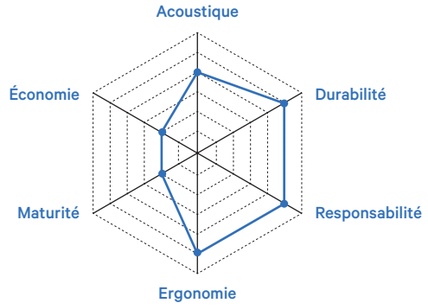


Tubes LED placés à chaque palier correspondant à un niveau sonore



4. La Sentinelle

ÉVALUATION



Acoustique : système de contrôle informatif.
Économie : coût potentiellement élevé.
Maturité : développements nécessaires.
Ergonomie : mobile et interactif, système informatif efficace.
Responsabilité : contrôle et information internes.
Durabilité : réutilisation d'un chantier à l'autre.

La *Sentinelle* est un dispositif de mesure de bruit sur le chantier qui vient se placer à proximité des sources de bruit. Il s'agit d'un dispositif mobile ou portable, transporté par un petit véhicule robot, autonome et tout-terrain. Bien entendu une personne en chair et en os pourrait très bien remplir cette fonction avec l'humanité en plus.[1]

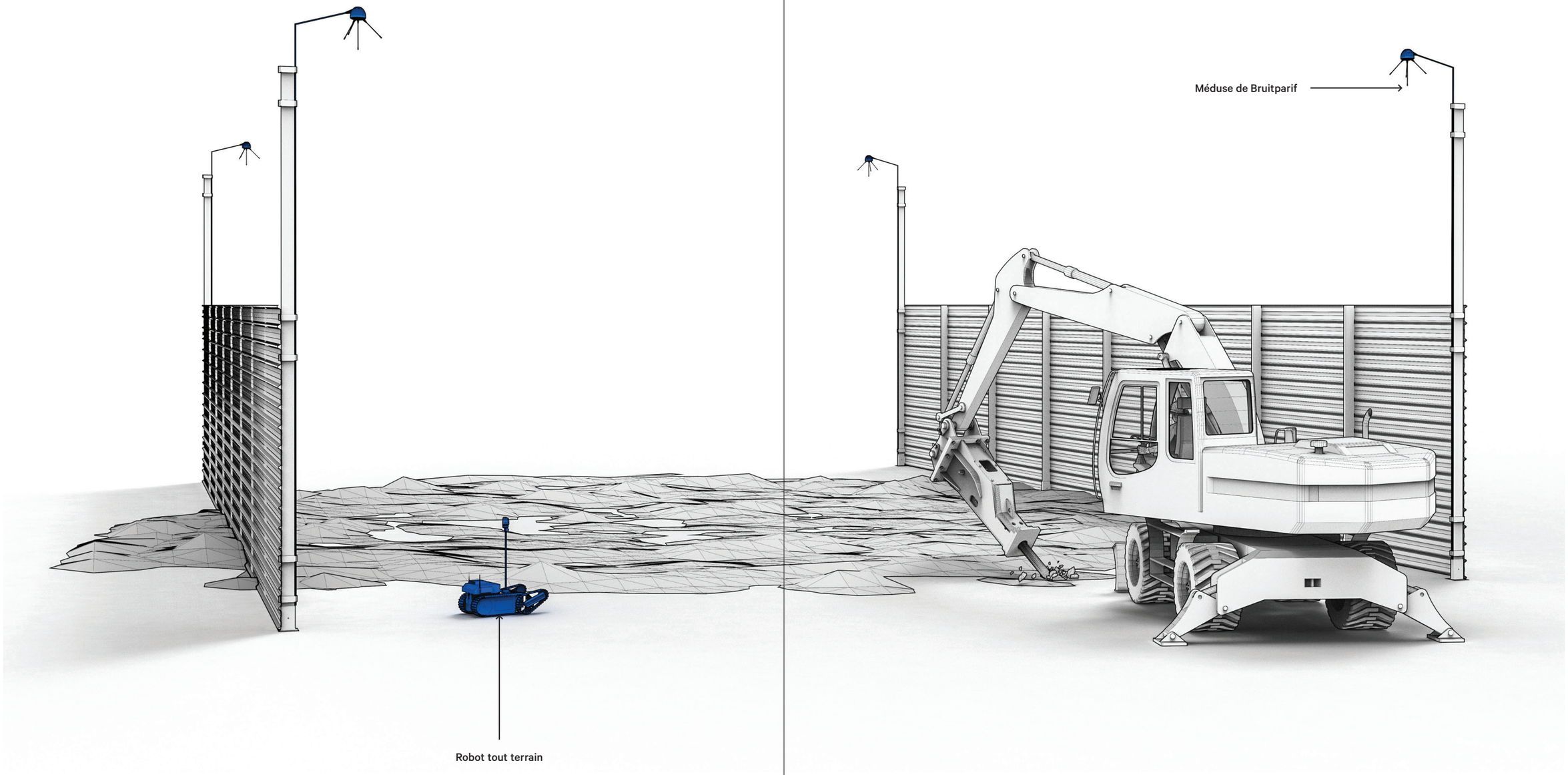
1. Voir LBSC : I. F. « Paroles de riverains et agent de proximité ».

a. Dispositif d'alerte de dépassement du seuil de bruit

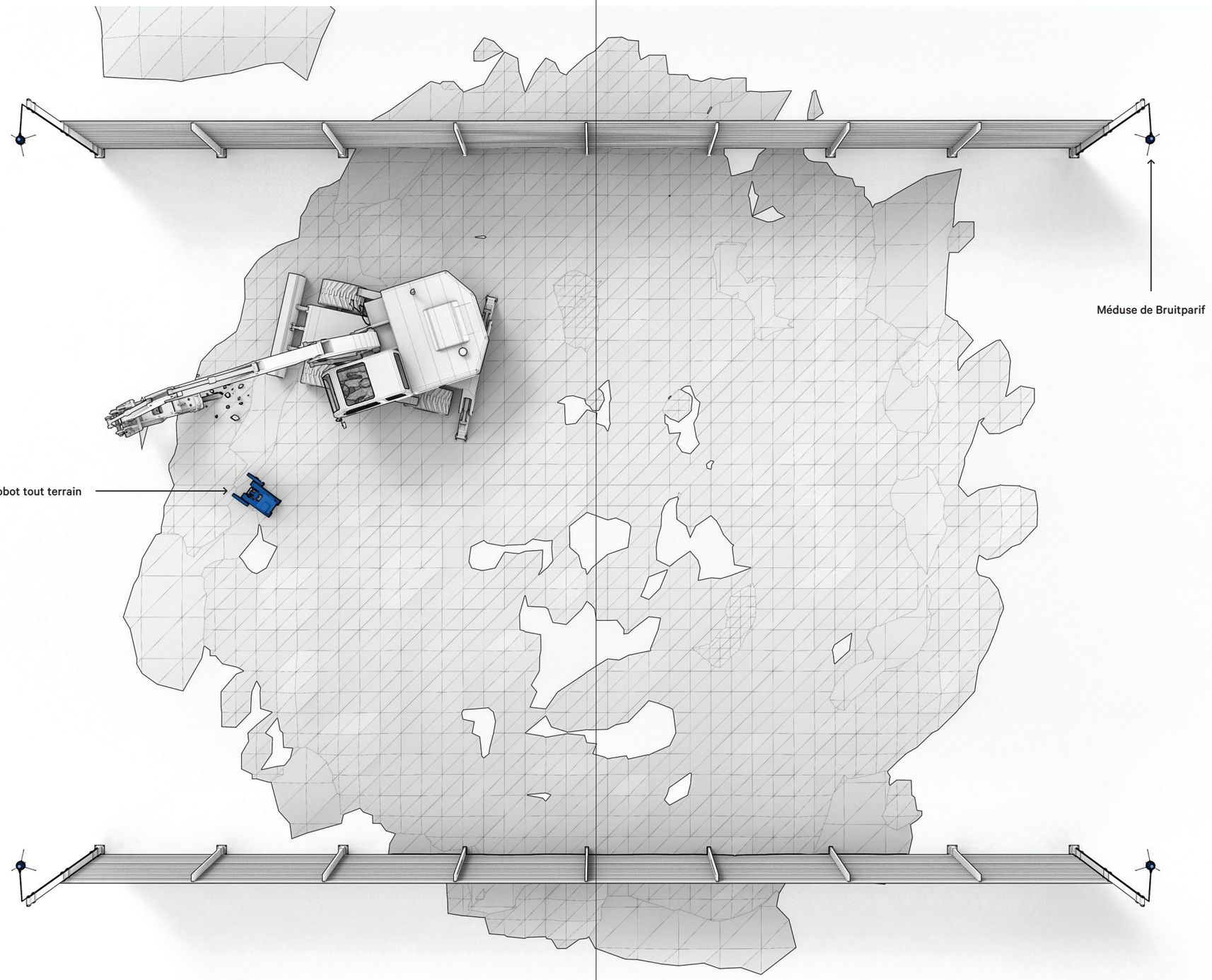
La Sentinelle est reliée à un système d'analyse spatialisée des bruits du chantier (par exemple Méduse de Bruitparif, AcouSticks…). Dès qu'une source de bruit nuisante est repérée par le système, l'information est envoyée à la Sentinelle qui se rend dans la zone. Une fois sur zone, la Sentinelle utilise son propre système d'analyse pour affiner la localisation de l'origine du bruit et s'en rapprocher au plus près. Une fois à proximité immédiate de la source, la sentinelle émet un signal d'alerte visuel et radio tant que la nuisance reste active.

b. Dispositif d'alertes radio/SMS

La Sentinelle informe la direction des opérations du chantier sur les sources de bruit. Lorsque le système d'analyse repère une nuisance ou un dépassement de la dose autorisée, une alerte est donnée au centre de contrôle. Le centre de contrôle prend alors contact par radio avec le/les compagnon(s) responsable(s) de la nuisance pour en identifier la cause et trouver ensemble une solution de réduction du bruit.


Robot tout terrain

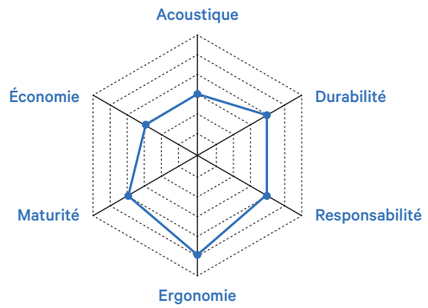
Méduse de Bruitparif



II. Méthodes et solutions transversales
C. Monitoring et participation
4. La Sentinelle

5. Les Acoustiks

ÉVALUATION



Acoustique : système plutôt informatif.
Économie : coût moyen.
Maturité : travail de développement simple a priori.
Ergonomie : information immédiate et efficace, mobiles.
Responsabilité : partage d'information, en interne et potentiellement pour le voisinage.
Durabilité : réutilisables selon usage.

L'*AcouStick* est un dispositif d'alerte visuelle qui se place à proximité des sources de bruit sur le chantier, mobile et facile à mettre en place. C'est une barre de LED indiquant le volume de bruit et la dosimétrie. Chaque *AcouStick* mesure le bruit en continu au plus près d'une source et permet de réaliser une auto-surveillance en continu sur une zone sensible.

Les *AcouSticks* sont déplacés par les compagnons à proximité des sources de bruit au fur et à mesure de l'avancement des travaux. Ce sont des objets connectés fonctionnant en réseau.

Ce dispositif adapté au travail de nuit, permet à chaque compagnon de surveiller facilement sa contribution au bruit produit et d'éviter les dépassements. C'est aussi un dispositif d'alerte en cas de dépassement sur l'ensemble du chantier.

a. AcouStick : dosimètre acoustique visible à distance

L'AcouStick est un bâton d'environ 2m de hauteur. Il se place à la verticale, par exemple dans un cône de chantier qui lui sert de pied. L'AcouStick embarque une batterie longue durée, rechargeable, une réglette LED biface, une carte son, un micro, un système de communication de type wifi ou radio, le tout protégé par un tube en polycarbonate diffusant.

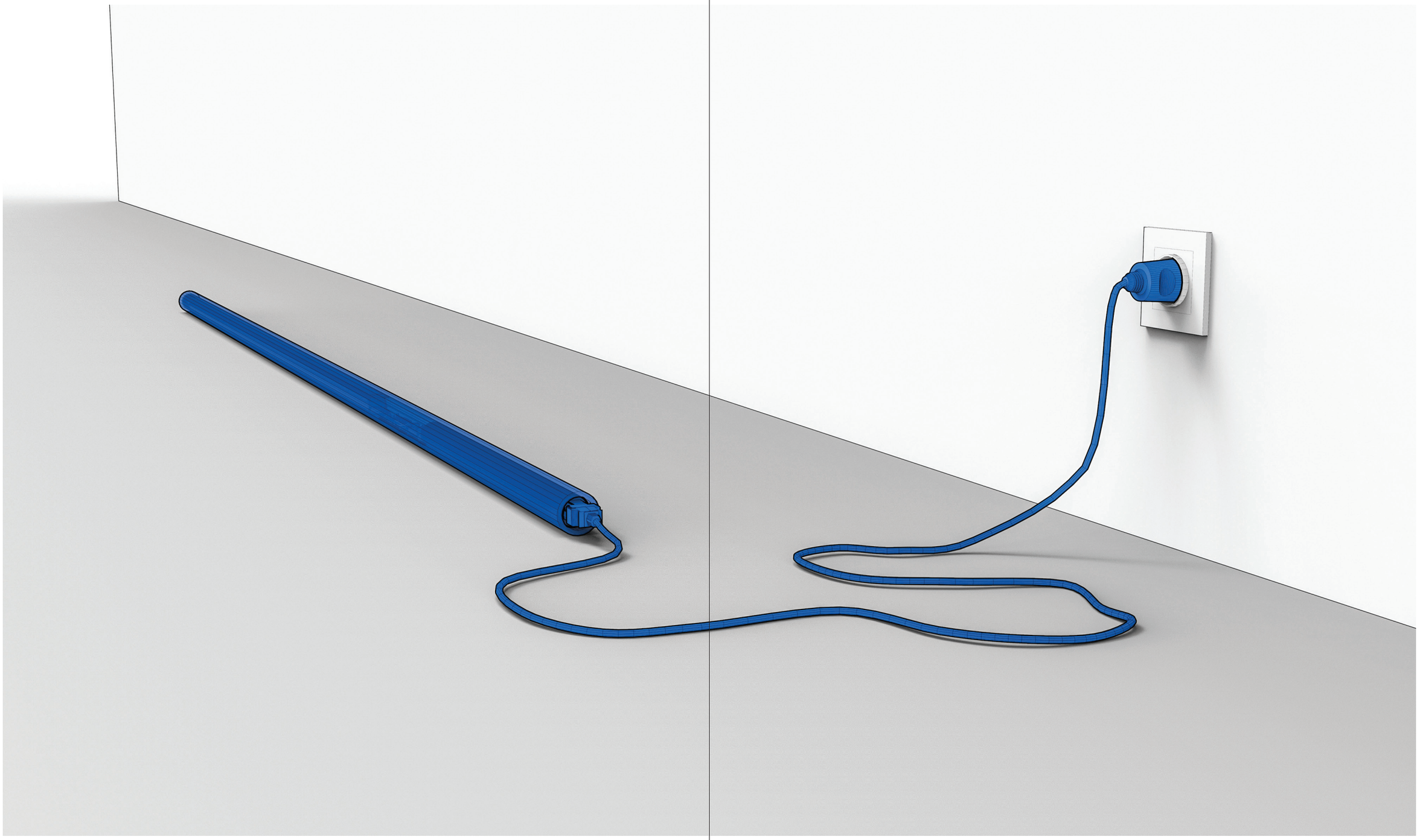
Plusieurs AcouSticks peuvent être déployés sur les zones stratégiques du chantier. Ils sont connectés à une base centralisée qui analyse les données et, en cas de dépassement du seuil ou de la durée de bruit autorisé, la base de données envoie une alerte aux AcouSticks qui se mettent tous à clignoter. Le chef de chantier peut alors ajuster les opérations sans réveiller les riverains.

b. Fonctions des *AcouSticks*

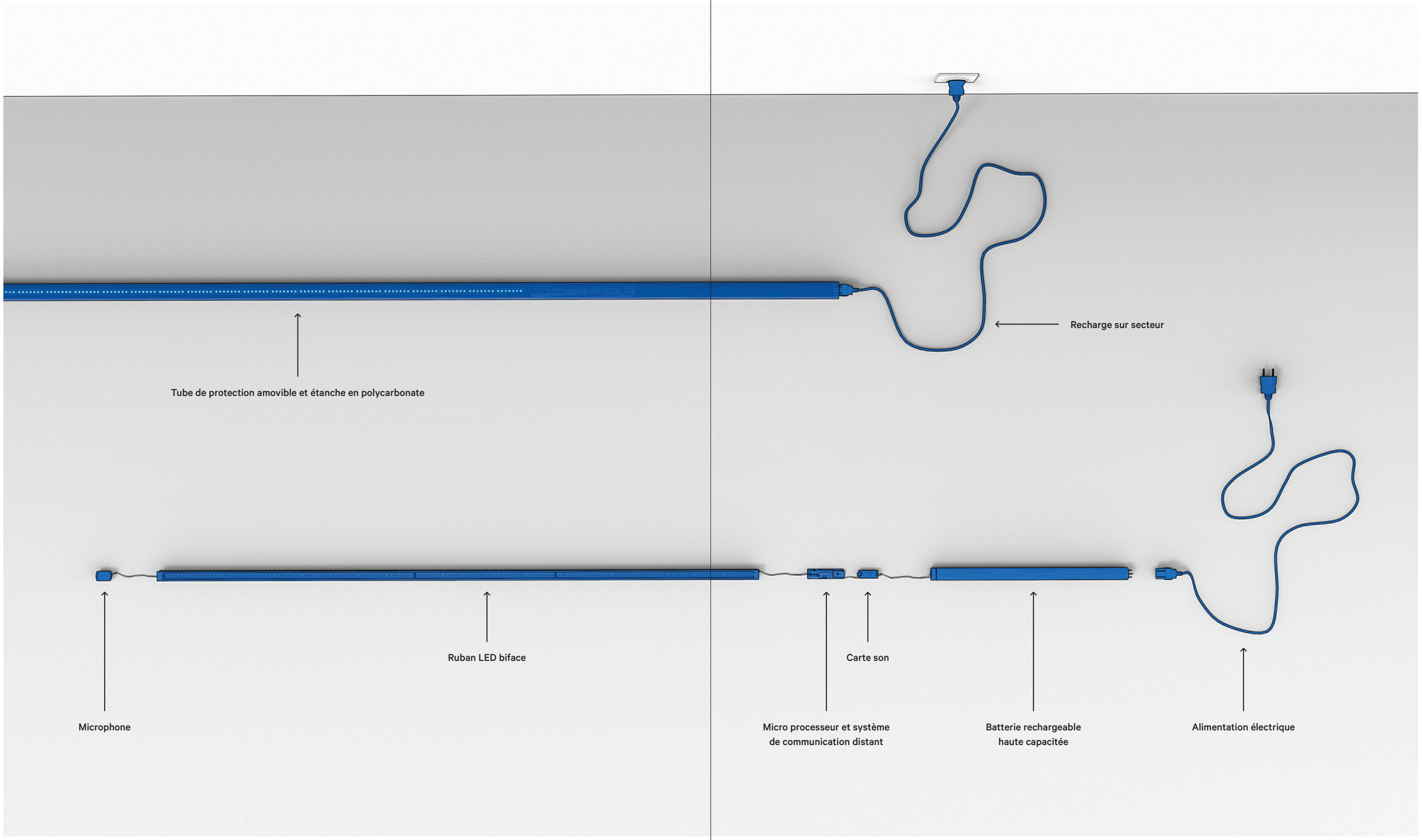
Fonction de vumètre de l'*AcouStick*
Elle alerte sur le dépassement du volume autorisé ; la réglette LED, par son signal lumineux et coloré indique au compagnon le niveau de la nuisance sonore.

Fonction de dosimètre
Elle alerte sur le dépassement du seuil de nuisance global autorisé sur le chantier ; tous les AcouSticks se mettent à clignoter pour signaler le dépassement.

Fonction de communication
Le dispositif montre aux riverains que le contrôle des nuisances est bien en place.

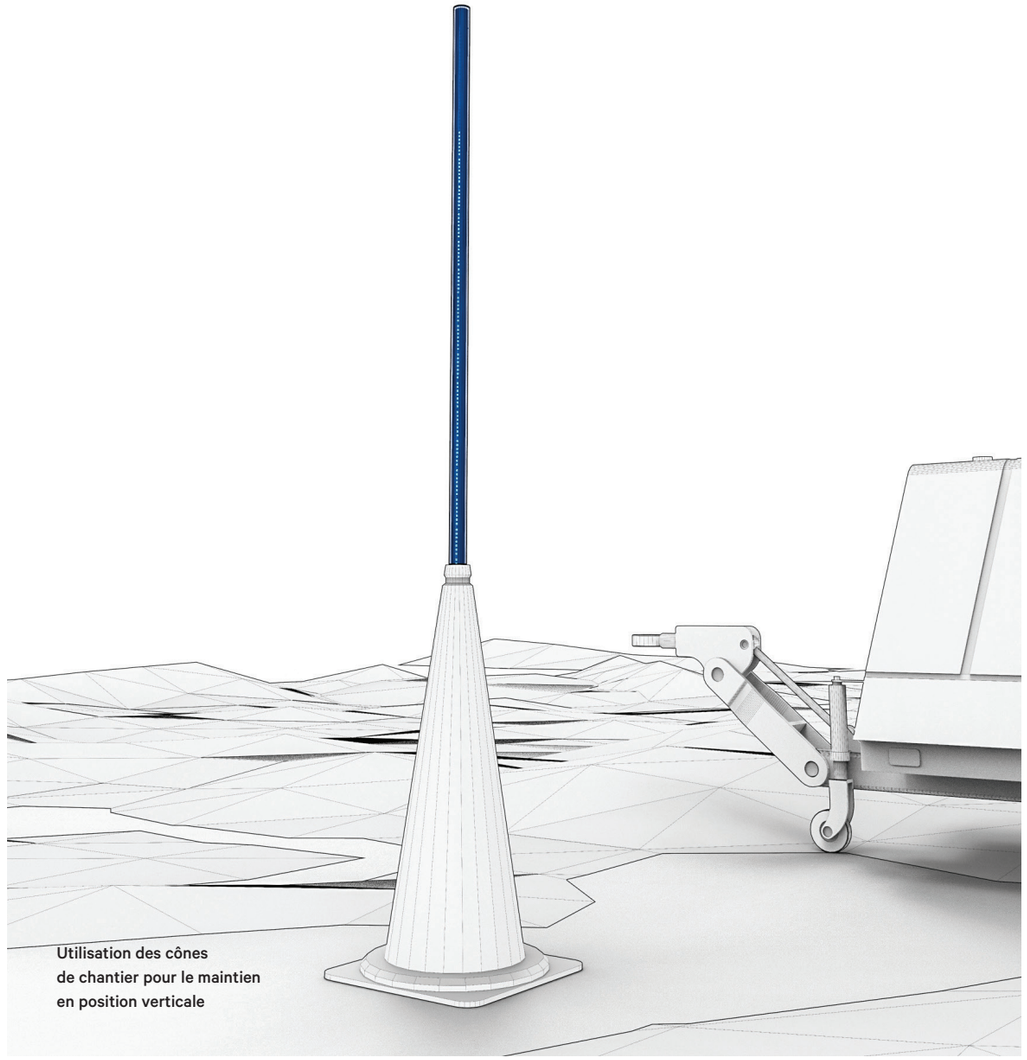


II. Méthodes et solutions transversales
C. Monitoring et participation
5. Les Acoustiks



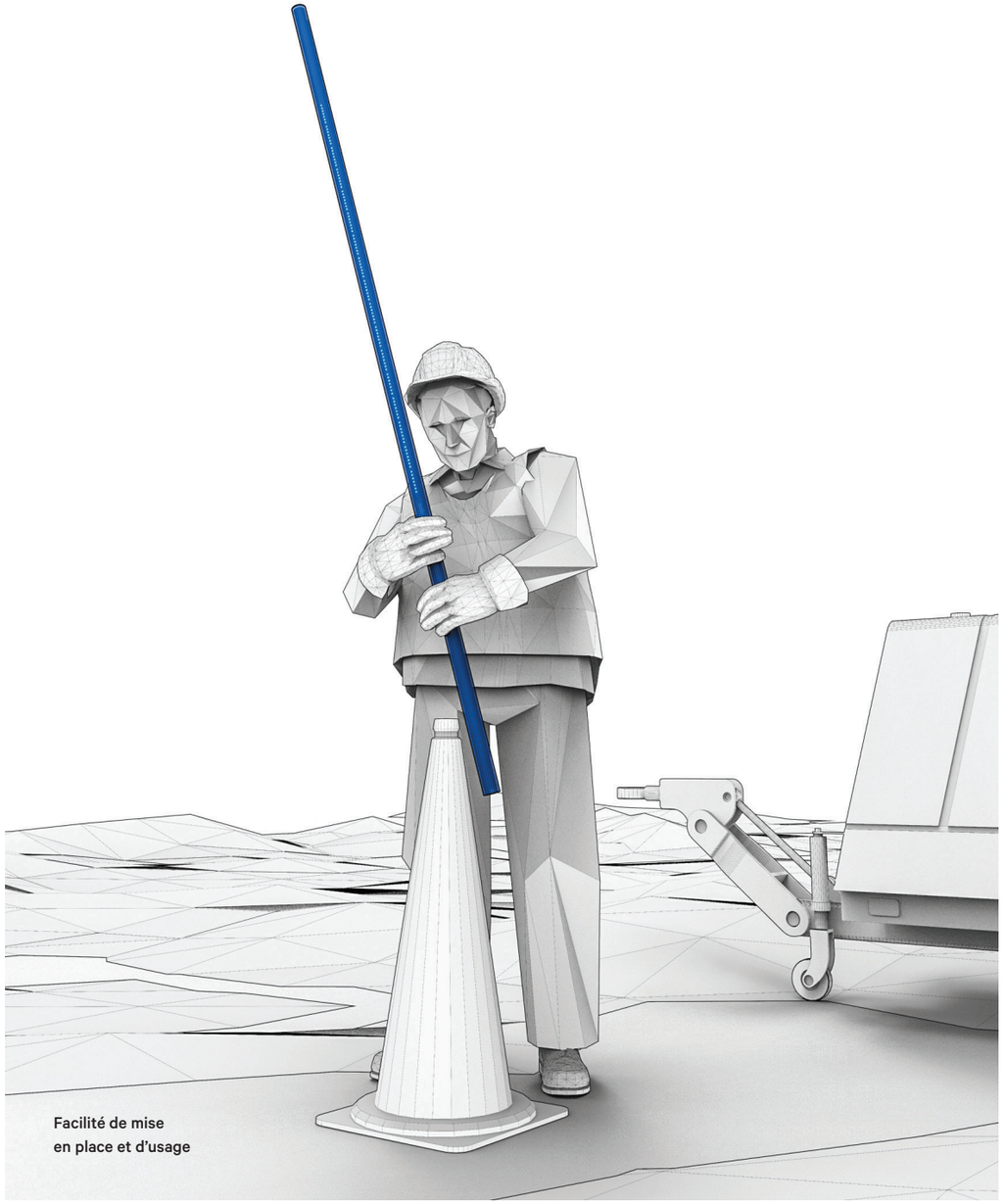
II. Méthodes et solutions transversales
C. Monitoring et participation
5. Les Acoustiks

Recharge des batteries
sur secteur

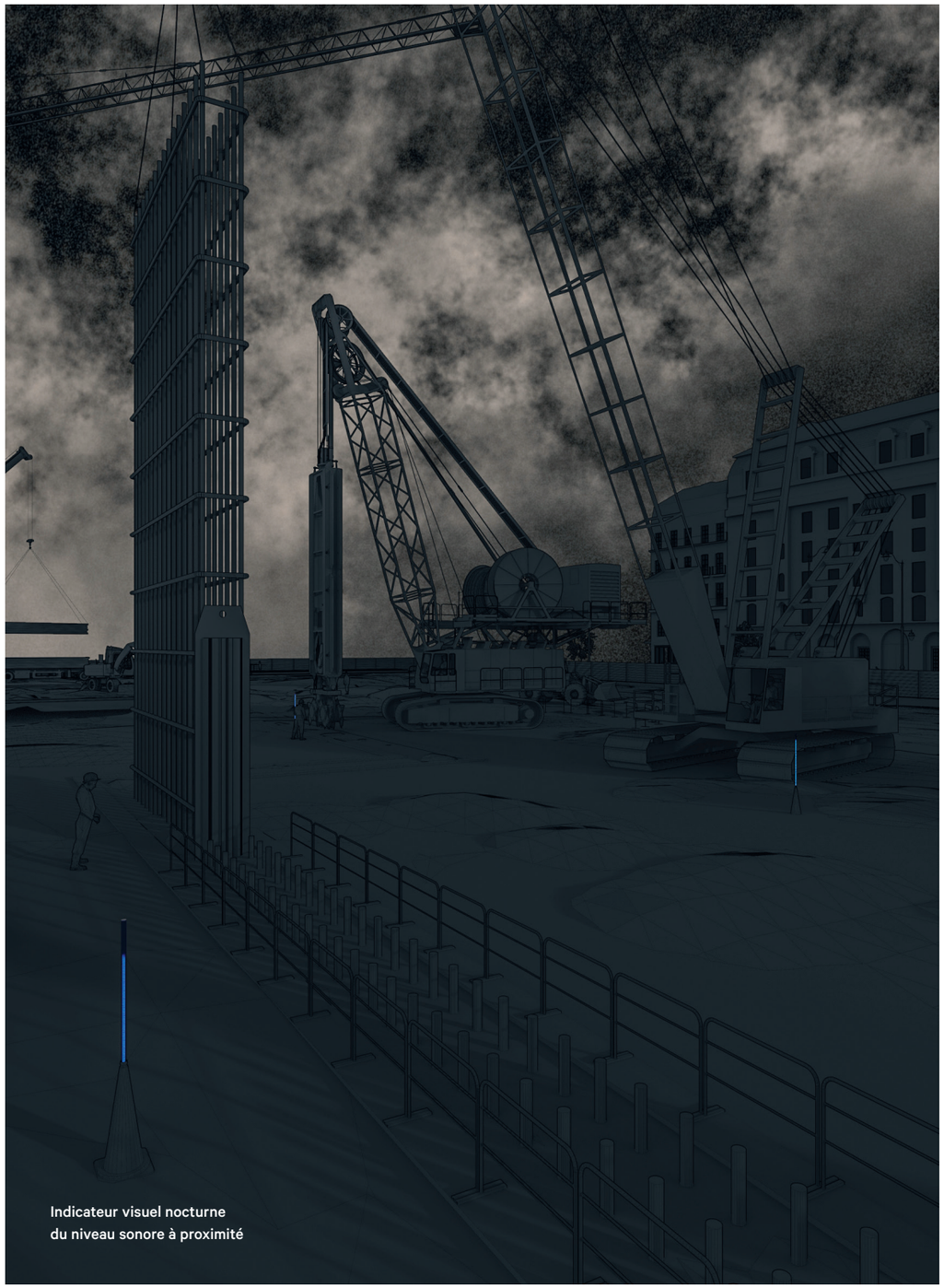


Utilisation des cônes
de chantier pour le maintien
en position verticale

Indicateur visuel du niveau sonore à proximité



Facilité de mise en place et d'usage



Indicateur visuel nocturne
du niveau sonore à proximité

Facilité de mise
en place et d'usage

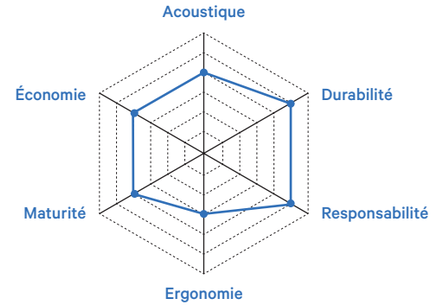
D. COMMUNI-CATION, MÉDIATION ET PÉDAGOGIE

II. D.

1. Formations pour les riverains et les compagnons

Maîtrisez le bruit de votre chantier !

ÉVALUATION



Acoustique : effets positifs mais variables.
Économie : coûts assez faibles.
Maturité : travail d'organisation à développer.
Ergonomie : peu pertinent, note médiane.
Responsabilité : partage d'information, échanges entre compagnons et riverains.
Durabilité : à reproduire sur sites sensibles.

a. Pédagogie et médiation du bruit pour les riverains

Tout le monde s'accorde sur le fait que le bruit des chantiers doit être atténué, mais également que les bruits de chantiers sont difficiles à supprimer complètement. En attendant d'arriver à réduire suffisamment le bruit, il est nécessaire d'apprendre à le contenir, mais aussi à mieux le comprendre pour en produire le moins possible, le supporter et même, si possible, l'accepter. Ainsi une meilleure compréhension du bruit par tous est un excellent moyen d'en atténuer les effets et de les rendre plus acceptables. Le dialogue est le meilleur moyen de lutter contre le bruit.

b. Informer

Il est souhaitable d'apporter le maximum d'information aux riverains en expliquant notamment quand, pourquoi, comment, pour combien de temps et en expliquant les mesures de réductions de nuisances mises en œuvre.

Cela passe par le partage de la connaissance de l'« évènement chantier » et du bruit associé :

- → Description de : préparation et phasage, déroulement et organisation du chantier.
- → Informations sur : correspondant bruit (agent de proximité / chuteur), affichages, remontées d'information, mesures de bruit participatives.
- → Données sur les actions déjà prévues par la SGP et les EGC pour réduire le bruit.

→ Indication des éventuelles solutions de protection des logements et les possibilités d'aides pour les mettre en place.
→ Explication des actions participatives et des contributions possibles des riverains à la réduction du bruit aux différentes étapes du chantier.

c. Encourager toutes les formes de médiation

Des échanges et des rencontres tangibles entre les riverains et les personnes travaillant sur le chantier pourraient être organisées. Toutes les occasions sont bonnes : visite de chantier, évènement du projet, fête de voisinage, évènement artistique/social autour ou sur le chantier, réunions d'information, débats, points d'information…

Les riverains gagneraient à se rendre sur le chantier pour comprendre que le bruit chez eux est bien moins fort que celui que supportent les compagnons tout au long de la journée. Inversement, les compagnons pourraient venir chez les riverains pour entendre ce que les riverains supportent. Cette médiation pourrait se faire grâce aux agents de proximité et lors des réunions, mais d'autres formes pourraient être développées et généralisées :

Actions artistiques et culturelles[1] déjà engagée dans ce sens par la Société du Grand Paris[2].

Inaugurations ou lancements de travaux sous forme de visites de chantiers partagés[3].

La pédagogie du bruit pour les riverains sera d'autant plus efficace contre la gêne et même contre le bruit lui-même si elle est accompagnée d'une médiation associant les compagnons du chantier aux riverains.

Pour être efficace, cette formation courte (1 ou 2 demi-journées) doit donner une compréhension à la fois globale et suffisamment détaillée avec des mises en situation pratiques[4].

1. Voir LBSC III. B. ❷ 1. d. « Écrans et projet artistique à Copenhague (DK) ».
2. www.culture-grandparisexpress.fr
3. Par exemple à Fort d'Issy Vanves Clamart : https://www.culture-grandparisexpress.fr/km1-sur-le-chantier-de-la-gare-de-fort-d-issy-vanves-clamart, ou encore l'inauguration du premier tunnelier à Champigny sur Marne : https://www.societedugrandparis.fr/info/evenement/assistez-au-lancement-du-premier-tunnelier-du-grand-paris-express-1621
4. Malheureusement les formations disponibles ne portent généralement que sur un seul aspect : risque, protection individuelle ou législation et sont rarement illustrées par des démonstrations en situation et des exercices pratiques.

d. Identifier les bruits des travaux et des machines

Apprendre à reconnaitre les bruits de machines, leurs fonctions et leurs comportements anormaux permettrait de :
→ Accroître la compétence des riverains à travers les échanges avec les responsables du chantier.
→ Apporter les outils permettant de communiquer des informations précises à la MOA.
→ Apprendre à mieux accepter le bruit en ne considérant plus le bruit du chantier comme une grosse agression indistincte, mais comme un ensemble d'actions et de facteurs connus. Donc, de passer de la gêne subie en bloc à une gêne mieux identifiée.
→ Associer les enfants qui sont des relais importants ; curieux du chantier et des machines, ils seront également les bénéficiaires du projet fini. Apprenant ensemble, enfants et parents, à reconnaitre les engins et les activités du chantier à l'oreille, et en jouant à reconnaitre les machines en action directement sur le chantier[5].

Comment ?
↓
Lors d'ateliers spécifiques et avec des activités de reconnaissance des bruits pour : associer des sons enregistrés aux images des machines, décomposer les sons, identifier des bruits gênants, inutiles ou non conformes, réagir pour les arrêter.

5. Voir LBSC : IV. (ENSCi), projet « Écoute tes bruits du chantier » de Jeanne Mellon et Leïla Rami.

e. Comprendre les points clés de la psychologie du bruit

Au risque d'être simpliste, on dit souvent que le ressenti de la gène du bruit c'est 50% d'acoustique et 50% de psychologie.[6]

50% d'acoustique

50% psychologie

5. Voir LBSC : I. B. 1. « Comprendre le Bruit »

Le ressenti de la gêne peut être atténué et le quotidien apaisé si la gêne est mieux expliquée et comprise ; pour cela il est possible de :

- → Repérer les nuisances les plus gênantes.
- → Analyser les nuisances les plus gênantes.
- → Distinguer les gênes dues au bruit en fonction du volume, de la nature, de la durée ou des horaires du bruit.
- → Anticiper le bruit, accorder son planning au bruit actuel et prévu.
- → Adapter ses activités au bruit présent en développant des parades.

f. Formation au bruit pour les compagnons

Pour les compagnons il s'agirait de mieux appréhender et contrôler plus précisément le bruit que l'on produit et celui que l'on supporte. Un contenu type de formation pourrait comporter les thèmes suivants :

- → Qu'est-ce que le son, le bruit, les unités de mesure, les moyens de contraindre le bruit.
- → Les risques professionnels dus au bruit : les effets de masque, utilisation et reconnaissance des signaux sonores.
- → Exposition au bruit et risques pour la santé : comment se protéger, utiliser des stratégie, méthodes et dispositifs de protection individuelles[6].
- → Méthodes de travail moins bruyantes.
- → Protéger les riverains, participer à la médiation riverains/chantier.
- → Mesurer son exposition au bruit et sa production de bruit, communiquer/partager les mesures, inciter les autres participants du chantier à réduire les nuisances sonores.
- → Comment faire progresser la réduction des nuisances sonores sur le chantier : améliorer les conditions de travail et réduire l'exposition du voisinage.

6. Voir LBSC : III. B. ❸ 1. « Protecteurs Individuels Contre le Bruit (PICB) ».

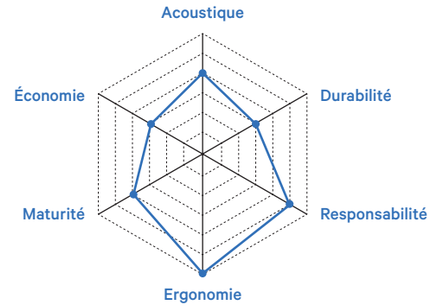
Il existe déjà des formations comme par exemple celles du Centre National de la Formation Conseils en Entreprise CNFE[7], ou celle de l'Institut National de recherche et de sécurité pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles INRS[8], mais pas encore spécifiquement liées aux chantiers.

Le CidB (Centre de Documentation du Bruit) propose également des formations spécifiques sur la question du bruit.

7. CNFCE : https://www.cnfce.com/formation-prevention-risques-lies-au-bruit
8. INRS : http://www.inrs.fr/risques/bruit/ce-qu-il-faut-retenir.html

2. Kit riverain

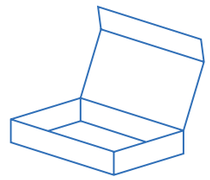
ÉVALUATION



Acoustique : effet limité.
Économie : coût modéré à fort.
Maturité : demande peu de développements.
Ergonomie : équipements simples compacts et pédagogique.
Responsabilité : informations et échanges avec les acteurs du chantier.
Durabilité : limitée à un chantier donné.

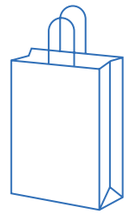
Un Kit Riverain qui serait remis aux habitants et personnes en activité autour d'un futur site-chantier dont voici un descriptif sommaire.

a. Contenant



une boite cartonnée

OU



un sac
(possibilité de l'utiliser pour autre chose et support de communication)

b. Contenu

Informations, contacts, liens utiles et applications

- → Informations et contacts, dont agent de proximité,
- → Lien vers le programme des bruits, type Météo des Chantiers,
- → Information sur les nuisances sonores prévisionnelles ?
- → Application smartphone Radio chantier
- → Application smartphone Dosimètre habitation,

→ Contribution au Livre Blanc Silence Chantier :
→ Lien PDF vers le LBSC
→ Lien vers une boite à idées en ligne.

Programme des échanges et évènements sociaux : réunions, formation, visites, activités
→ Un agenda documenté des rendez-vous avec le chantier.

Notice pour obtenir une aide à l'isolation (plaquette imprimée)
→ La MOA, les EPCI et leur PPBE[1], ainsi que toute autre ressource possible d'aide aux travaux d'isolement acoustique.

Matériel (PICB)

Un casque antibruit actif[2]
Les casques antibruit actifs sont adaptés aux moments où l'on souhaite s'isoler pour lire, travailler ou écouter de la musique à l'intérieur. Ils permettent l'annulation de bruits extérieurs continus et autorisent quand même la communication avec ses proches.

Des bouchons d'oreilles avec la notice d'utilisation[3]
Dans certaines circonstances, des protections auditives peuvent être très appréciées. Mais ce petit cadeau ne doit pas être mal interprété. Il a plutôt une fonction éducative et d'aide que de solution en tant que telle. Il faut faire comprendre qu'il ne remplace pas les solutions plus efficaces et coûteuses, mais qu'il vient en complément.

DVD, clé USB ou carte SD
Ce support contient :
→ Une courte vidéo explicative des dispositifs cités ci-dessus, avec en plus un agent de proximité s'adressant directement au spectateur.
→ Une animation des étapes d'un chantier type.
→ Comment reconnaitre les bruits de chantier.
→ Comment signaler une nuisance sonore.
→ Phases les plus bruyantes et durées estimées de ces phases.
→ Vidéo artistique[4] (composition musicale à partir de séquences vidéo prises sur un chantier).

1. Guide pour l'élaboration des Plans de prévention du bruit dans l'environnement à destination des collectivités locales – connaître pour agir www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/55945_guide_ppbe.pdf
2. On peut trouver des casques antibruit actifs bon marché (autour de 10-20€), mais Il faudra faire une évaluation pour choisir le meilleur rapport qualité prix.
3. Voir LBSC : III. B. ❸ 1. « Protecteurs Individuels Contre le Bruit (PICB) ». Attention : Les protections Individuelles Contre le Bruit ne doivent pas être portés en déplacement, dans la rue ou en conduisant… car ils risquent de mettre en danger la personne qui les porte en empêchant d'entendre une alerte ou un son signalant un danger.
4. Exemple de vidéo musicale à partir des images et des sons d'un lieu : www.guillaumedelaperriere.com/works/lisboa-orchestra

III.
MÉTHODES ET SOLUTIONS PENDANT LE CHANTIER

A. BONNES PRATIQUES

1. Bonnes pratiques courantes pendant travaux

Beaucoup de méthodes pour réduire les nuisances sonores sur les chantiers existent. Elles sont généralement connues mais pas toujours mises en œuvre. Ce sont les « bonnes pratiques ».

Ces bonnes pratiques sur le terrain doivent être enseignées à tous : compagnon, décisionnaires du chantier, fournisseurs, bureaux d'études et donneur d'ordres.[1]

1. Voir LBSC : II. D. « Communication, médiation et pédagogie »

Rappel
Les bonnes pratiques avant travaux sont décrites chapitre II. A. du LBSC « Bonnes pratiques courantes avant travaux ».

a. Organisation

Stratégie préventive concernant la gouvernance
Il s'agit d'ajuster la stratégie de mise en place des actions contre le bruit (MOE, entreprises), avec notamment l'organisation des dispositifs suivants :

- → L'information du voisinage touché.
- → La réception des plaintes du voisinage (nommer et publier les contacts de l'agent de proximité référent).
- → La désignation des responsabilités pour la mise en œuvre d'actions supplémentaires pour la réduction de bruit.
- → La mise en place d'une instance qui décide de la nécessité et de l'ampleur des actions supplémentaires.
- → La détermination de la durée nécessaire et les délais maximaux jusqu'à ce que les actions supplémentaires soient effectives.

Surveillance et contrôles
Contrôles des actions de limitation des émissions sonores telles que visées dans les objectifs inscrits dans le contrat d'entreprise : suivi des actions sur le terrain et monitoring acoustique. En cas de dépassement du seuil de bruit imposé, mentionner la ou les tâches à l'origine de cet écart et présenter les mesures correctives à prendre en compte pour éviter un nouveau dépassement.

Information des personnes touchées par le bruit

- → Signaler au préalable toute tâche exceptionnellement bruyante.
- → Signaler au préalable toute modification exceptionnelle des horaires de travaux.

Information a minima sur :
- → La durée totale du chantier.
- → Les dates et la durée des phases de construction les plus bruyantes.
- → Les mesures prévues pour limiter les émissions.
- → Les coordonnées de l'agent de proximité référent.

Remarque
Une information complète, en concertation avec les autorités locales compétentes, est particulièrement importante pour les travaux de construction très bruyants effectués la nuit.

b. Planification et préparation des travaux

Optimisation de la planification
Les travaux moins bruyants sont à privilégier pendant les périodes plus calmes de la journée.

Remarque
Le choix d'engins et d'équipements les mieux adaptés pour un travail et leur disponibilité au moment voulu peuvent réduire la durée des phases de travaux et ainsi celle de l'influence du bruit.

Machines et engins
- → Placés aussi loin que possible des zones sensibles au bruit.
- → Fonctionnant normalement.
- → En service uniquement lorsque nécessaire.
- → Tenus en bon état.

Remarque
Un faible niveau d'émission sonore d'une machine peu puissante peut conduire à une charge sonore plus importante si la durée des travaux est plus longue.

Exécution simultanée de travaux avec des émissions de bruit forts
Des travaux très bruyants peuvent avoir intérêt à être réalisés simultanément en périodes moins sensibles de la journée. Par exemple aux abords de routes ou voies ferrées, les travaux avec des émissions de bruit élevées seraient à exécuter lors des périodes de trafics importants.

Éviter les chocs dans des conteneurs métalliques
Les matériaux à destination de conteneurs peuvent bénéficier de :
- → Réduction de la vitesse de chute.
- → Diminution de l'angle de choc.
- → Atténuation du choc.
- → Dépose des objets au lieu de les jeter.

Réalisation de travaux préparatoires bruyants (ex. : coffrages) ou de réparation et d'entretien dans des zones non sensibles au bruit

Choix de la localisation des machines fixes
- → Distance aussi grande que possible par rapport au voisinage sensible au bruit.
- → Utiliser les situations en souterrain et les protections (dépôts de matériaux).
- → Empêcher la réflexion sonore vers le voisinage sensible (sol, obstacles absorbants).

Transports de chantier
- → Planifier l'ensemble des transports de façon à minimiser le nombre de trajets et à utiliser les capacités de transports de manière optimale.

Tracé des pistes et routes de chantier
- → À éloigner autant que possible des zones sensibles au bruit.
- → Utiliser l'effet protecteur de la topographie, par exemple celui des dépôts de matériaux.

Ecrans antibruit provisoires
- → Installer des écrans antibruit[2]

2. Voir LBSC : III. B. ❷ 1. « Bâches, palissades et écrans ».

c. Comportement des compagnons minimisant le bruit

- → Implication des personnels à minimiser le bruit des chantiers et instructions en ce sens.
- → Formation des compagnons[3] sur l'origine, la propagation, l'effet et l'atténuation du bruit (avec l'intérêt premier de réduire le bruit au travail).

3. Voir LBSC : II. D. 1. « Formation pour les riverains et les Compagnons ».

B. SOLUTIONS EXISTANTES

Traitements à la source, à la transmission et à la réception

Afin de simplifier et rendre plus cohérentes les actions contre le bruit, le Livre Blanc Silence Chantier distingue :

1 LES TRAITEMENTS À LA SOURCE DU BRUIT

Les plus efficaces, ils agissent au plus proche de l'origine du bruit, citons par exemple:

- → Utilisation de matériels ou procédés moins bruyants.
- → Améliorations par le constructeur du procédé d'action et des composants produisant le son.
- → Changement de la motorisation, limitation des vibrations du moteur, réduction des bruits de ventilation.
- → Capotage d'isolation, d'absorption, silencieux intégré à l'engin, le plus proche possible des sources de bruit, chicanes pour les sorties de bruit et aérations...
- → Amortissement des parties résonnantes, des transmissions solidiennes et autres causes de bruits dues aux actions bruyantes elles-mêmes.

2 LES TRAITEMENTS À LA TRANSMISSION

Ce sont tous les dispositifs de réduction de bruit ajoutés sur le chantier entre la source et le récepteur, donc entre l'engin ou l'action bruyante et la zone où se trouvent les riverains. Il s'agit principalement d'obstacles à la propagation sonore qui auront la fonction d'atténuer le bruit en l'isolant ou l'absorbant; typiquement ça peut être avec des écrans, des buttes de terre, etc.

3 LES TRAITEMENTS À LA LA RÉCEPTION

Ce sont les actions utilisées en dernier ressort car elles ne protègent pas les compagnons ou les espaces riverains extérieurs vis-à-vis du bruit du chantier. Il s'agit de méthodes, procédés et dispositifs chez le riverain, depuis ses fenêtres jusqu'à ses oreilles; comme par exemple le renforcement de l'isolement acoustique de son logement.

1

À la source du bruit

Une des sources de bruit de chantier les plus souvent mentionnées par les riverains est le bruit des alarmes de recul tonales. C'est le fameux bip-bip qui s'active quand la marche arrière des engins est enclenchée pour alerter les piétons du danger. L'alarme de recul est obligatoire sur tous les véhicules utilitaires et engins mobiles. Mais ce type de son qui produit d'importantes nuisances sonores est pourtant peu performant en terme de localisation des risques. C'est pourquoi il existe des alternatives aujourd'hui reconnues et conseillées, moins-nuisantes pour le voisinage et tout aussi sures[1] pour les compagnons, voire plus sures. Ce sont les alarmes bruitées, à bande de bruit ou à fréquences mélangées, qui offrent des améliorations non négligeables sur le bruit des chantiers.

1. Les alarmes de recul bruités

a. Produit « BBS-tek de Brigade Electronics »

Société basée au Royaume-Uni, Brigade Electronics fabrique des systèmes de sécurité pour véhicules industriels : caméra et alarmes de recul, enregistrements numériques, caméras 360°... La société existe depuis 1976 et opère principalement sur les chantiers, dans le monde entier, car les accidents y sont fréquents et les règles de sécurité très contraignantes.

Le principe de l'alarme bruitée ou à fréquences mélangées[1] fut découvert par le fondateur de Brigade, Chris Hanson-Abbott, en voyageant au Japon, et il a été développé par la société dès les années 80. La solution a montré qu'elle était plus sûre, plus respectueuse de l'environnement et de la santé des utilisateurs. C'est aujourd'hui un produit reconnu et utilisé mondialement.

1. https://brigade-electronics.com/fr/vehicules-utilitaires-produits-securite/

b. Cri du Lynx et autres fabricants

Le produit est connu en France et diffusé, sous le nom de « Cri du Lynx » et déposé par la société LPC France. Mais le produit est le même et le nom original utilisé ailleurs dans le monde est BBS-Tek.

Il existe aussi d'autres fabricants travaillant sur des produits du même type avec des particularités légèrement différentes. De plus en plus de constructeurs l'intègrent directement à la construction sur le châssis des engins et les Maîtres d'Ouvrages le recommandent dans leurs cahiers des charges comme un élément de sécurité et de respect de l'environnement indispensable pour les chantiers.

c. Comparaison alarme bruité vs unitonale

Contrairement aux alarmes de recul unitonales (centrées sur une bande de fréquence principale), l'alarme bruitée est :

- → Plus directionnelle et donc entendue surtout à l'arrière du véhicule, là où se situe le danger.
- → Localisable ; par exemple lorsque l'on a plusieurs véhicules, on distingue plusieurs sons différents dans leur directions respectives.
- → Le niveau du son décroit plus vite avec la distance et se perd plus aisément dans le bruit de fond (de la ville, de la circulation et des éléments naturels).

d. Accroître la sécurité et réduire les nuisances sonores, deux fonctions qui ne s'opposent pas mais se complètent

2. Nouveaux dispositifs fabriqués par Brigade

Les radars de reculs ou « radars sonars »[2] offrent une meilleure précision à distance plus élevée : on les place autour du véhicule pour prévenir le conducteur de la présence d'un individu, d'un obstacle, d'un véhicule présent dans son champ de détection ; par exemple un cycliste dépassant un camion-toupie sur la droite en ville.

Aujourd'hui, de plus en plus souvent les données issues des capteurs sont traitées directement par l'ordinateur de bord pour les corréler aux manœuvres, aux dimensions et positions des bras et aux extensions saillantes de l'engin ; de cette façon, si par exemple un bras hydraulique de pelle se rapproche trop d'un obstacle, l'opérateur aura une alerte ou bien la trajectoire pourra être directement corrigée.

Les alarmes peuvent tenir compte d'événements extérieurs, notamment le niveau de bruit extérieur. Il est également possible d'ajuster manuellement ou automatiquement le volume de l'alarme, en fonction du bruit de fond du site.

Ce système permet de faire moins de bruit sur les chantiers où le seuil d'émission sonore est bas, comme les chantiers de nuit ou les chantiers sur lesquels le bruit a déjà été réduit. Par exemple, on n'a pas besoin d'avoir une alarme à pleine puissance lorsqu'un véhicule fait sa marche arrière pour rentrer au dépôt en pleine nuit.

↓

Il serait souhaitable de généraliser les alarmes « bruitées » ou « à fréquence mélangées », qui s'adaptent au niveau de bruit de site, notamment pour les travaux de nuits ou en soirée.

3. Voir LBSC : IV. (ENSCi), projet « PSHTT-pshtt », de Rémi Taulemesse.

Il semble toutefois que pour le moment, les données issues des capteurs de distance ne modulent pas toujours le son produit à l'extérieur du véhicule. Si elles le faisaient, cela permettrait d'informer le compagnon situé dans le champ des manœuvres, de la distance du véhicule, de sa vitesse et de son orientation. Le projet de l'ENSCi « PSHTT-pshtt »[3] propose des solutions pour cela.

Le faisceau sonore pourrait également gagner en directivité dans l'axe du déplacement et plus précisément du premier obstacle.

Des reproches sont parfois exprimés par des acteurs des travaux

publics qui trouvent le son angoissant. Il y aurait donc un petit travail de design sonore avec des tests psychoacoustiques à réaliser afin d'améliorer le son en qualité comme en performances, sans doute déjà en utilisant un transducteur un peu plus large bande (de fréquence). Des aigus plus étendus ne feraient que du bien.

↓

Des améliorations de la sécurité et une réduction supplémentaire des nuisances sont donc encore possibles.

4. https://www.forklifttrainingsystems.com/forklift-blue-light/the-dominator

C'est sans doute à ce prix que les alertes sonores de reculs ne seront pas remplacées par des alertes lumineuses type *blue-light* LED ou laser pour les transpalettes[4], bien moins nuisantes mais aussi moins sécures. En revanche, la combinaison des deux systèmes : audio + visuel améliorés, intelligemment combinés et standards, apporteraient plus de sécurité et moins de nuisance, aussi bien en espace clos qu'en plein air, de jour comme de nuit.

La redondance des informations multimodale (son + lumière…) permet de répondre à davantage de situations particulières, de conditions personnelles et d'améliorer la sécurité.

Il faut également prendre en compte l'acculturation aux signaux sonore, car les signaux normalisés ; auxquels on est habitué, sont toujours les plus faciles à interpréter en situation d'urgence.

2

À la transmission du bruit

1. Bâches, palissades et écrans

a. Les barrières temporaires : bâches et palissades

Les deux équipements sont souvent associés entre eux : les palissades servent à clôturer l'enceinte du chantier et n'ont pas de rôle acoustique ; les bâches viennent en complément pour réduire la transmission acoustique en faisant obstacle vers les zones sensibles.

Il existe différents types de solutions pour les bâches. Par exemple, des bâches qui peuvent être attachées aux simples clôtures du chantier, comme le propose par exemple le projet « Poncho »[1], sont fréquemment utilisées.

On trouvera également les bâches installées sur des supports :
- → proche de la source de bruit ;
- → entre la source et le récepteur pour des opérations bruyantes rapides ;
- → autour de la table d'une scie,
- → …

Certains fabricants sont énumérés ici :
- → Bâche Echo Barrier
- → Bâche antibruit Heras
- → Soundex Constructors Quilt
- → Bâche acoustique de La Palissade

Ce type de solution est souvent limité en hauteur, mais elle est pratique et mobile. Il ne faut toutefois pas s'attendre à des réductions de bruit très significatives.

Néanmoins avec un usage selon de meilleures pratiques[2] (dimensions et étanchéité autour de la source notamment), une réduction de bruit de 5 dB, voire 10 dB en zone sensible directement derrière, devrait être réalisable. Mais ce gain concernera essentiellement les moyennes et hautes fréquences sonores.

Une initiative est à mettre en avant, consistant à réaliser une tente avec ces bâches, la rendant plus efficace pour la source qui se trouve à l'intérieur. Cette tente peut être placée sur roues et devenir mobile.

1. Voir LBSC : IV. (ENCSi), projet « Poncho », de Baptiste Cotten et Romain Thouin.

2. Voir LBSC : I. B. « Acoustique pour tous ».

b. Les obstacles permanents

Durant la période du chantier, qui peut prendre plusieurs mois voire plusieurs années, il est préférable d'avoir des obstacles plus efficaces et permanents, par exemple avec la mise en place d'écrans acoustiques. Ses principales qualités acoustiques en sont sa masse et sa hauteur, ainsi que son pouvoir absorbant.

Dans l'utilisation des écrans on sera vigilant à ne pas détériorer des environnements sonores par la génération de réflexions sonores (avec l'insertion de matériaux réfléchissants). La construction des écrans permanents est souvent de la responsabilité de l'entreprise qui se fait conseiller par un acousticien pour le bon dimensionnement de l'ouvrage.

L'écran acoustique peut être composé de matériaux de construction traditionnels comme le bois et la pierre, et munis d'un revêtement absorbant (typiquement la laine minérale ou le béton-bois).

On installera ces obstacles à la propagation sonore typiquement :
→ En limite extérieure d'emprise du chantier de construction.
→ Pour l'isolation des sources de bruit fixes.
→ Sur des zones d'attente pour les camions.

Par ailleurs, lorsque l'emprise sur site le permet, on peut réaliser des merlons ou buttes de terre pour faire obstacle à la propagation sonore. Ces ouvrages ont par ailleurs l'avantage de posséder des caractéristiques absorbantes du son.

Voici des exemples d'obstacles construits de façon plus ou moins traditionnelle :
→ Avec la terre, voir projet Terre isolante[3].
→ Avec des conteneurs d'expédition, voir chapitre suivant.
→ Avec des écrans constitués de métamatériaux (type Sonobex de Merford).
→ Avec des baraquements de chantier.
→ Avec de grands entrepôts sur site ou une centrale à boue ou des silos.

3. Voir LBSC : IV. (ENSCi), projet « Terre Isolante » de Émile Rebours, Camille Chapuis, Alexandre Fontaine, Solène Jarroux, Morgan Alby.

L'efficacité de ces solutions est dépendante de facteurs tels que ceux décrits dans le chapitre acoustique pour tous[4]. En général, cette efficacité est facilement de 5 à 10 dB et effective pour l'ensemble du voisinage (si pas trop en hauteur), voire de 15 dB si la solution est bien dimensionnée. Ces valeurs peuvent même être plus importantes directement derrière l'écran. Les gains obtenus seront aussi sur une plus large bande fréquentielle des bruits.

4. Voir LBSC : I. B. « Acoustique pour tous ».

c. Cas des conteneurs maritimes et baraquements de chantier

Il est courant d'installer les bases de vie et baraquements de chantier entre les sources de bruit et les habitations. Cette bonne pratique déjà courante lorsque c'est possible sur les chantiers du GPE, pourrait être complétée par l'utilisation d'autres constructions éphémères[5].

Dans l'utilisation de ces solutions, on sera vigilant – comme pour tous les écrans acoustiques – à l'optimisation des dimensions et à l'étanchéité des ouvrages, ainsi qu'à ne pas détériorer des environnements sonores par la génération de réflexions sonores (avec des matériaux réfléchissants).

Une solution peu coûteuse pour réduire les bruits est l'exemple de Munich sur les chantiers d'extensions de l'U-Bahn vers la banlieue. Une des nouvelles stations se situait à proximité immédiate d'un centre de convalescence ; les autorités, conscientes des risques de nuisance sonore, ont donné leur feu vert au projet sous réserve que les constructeurs présentent un plan de réduction des nuisances sonores garantissant que les seuils limites légaux ne seraient pas dépassés.

La solution proposée à Munich consistait à louer des conteneurs et à les empiler entre le chantier et le centre de convalescence.

Le prix de location d'un conteneur de 12 mètres de long est de quelques centaines d'euros par mois, et son l'achat d'occasion représente un montant autour de 1 000 €.

5. Les conteneurs pourraient également être valorisés et utilisés pour d'autres fonctions, d'information, de services aux associations, de commerces provisoires, etc. Voir LBSC : III. C. ❷ 1. « Popup Box : des conteneurs acoustiques multifonctionnels ».

d. Écrans et projet artistique à Copenhague (DK)

Les écrans « Byens Hegn » sont des écrans standards qui ont été détournées pour un projet acoustique et artistique.

Entre 2012 et 2015, un partenariat[6] entre la compagnie de métro danoise Metroselskabet et la ville de Copenhague a été établi pour un projet artistique et social d'intégration urbaine des chantiers, solidaire du voisinage. Il s'agit finalement d'un modèle d'acceptation pour les chantiers urbains.

Les surfaces des écrans acoustiques de 21 chantiers dont 17 nouvelles stations du métro Cityringen de Copenhague, ont été confiées à un large panel d'artistes locaux et internationaux, mais aussi à des amateurs, aux enfants des écoles voisines, à des associations, ou encore à des annonceurs et des projets commerciaux.

6. Présentation complète du projet *Cool Construction Project* en anglais : https://intl.m.dk/#!/about+the+metro/metro+expansion/cool+construction

La mise en œuvre de ces espaces d'expression a été rendue possible grâce à des subventions de l'état ainsi qu'à des aides pour l'action socio-culturelles, et aussi via des incitations auprès d'associations.

Grâce à ce projet, les palissades sont devenues un élément important du voisinage pour une meilleure acceptation du chantier. Encore mieux, la palissade est devenue un nouvel espace festif, renforçant les relations et la cohésion du voisinage. C'est également la plus grande exposition artistique du pays, constituant ainsi l'opportunité pour les artistes de donner une visibilité importante à leur travail.

« Byens Hegn » est une aventure démocratique où chacun est invité. Il y a de la place pour tous sur la palissade : depuis les diplômés des académies des beaux-arts jusqu'aux artistes reconnus du public, en passant par les enfants de l'école maternelle voisine.

Les subventions d'état pour l'art dans les espaces publics concernent souvent des sculptures ou des œuvres murales conçues pour durer des centaines d'années. Sur les palissades du métro au contraire, c'est le temporaire et l'interchangeable qui sont expérimentés avec les riverains. La priorité est d'affirmer que Byens Hegn doit aussi inclure des artistes nouveaux ou non confirmés.

Le chevalet géant que constituent ainsi les palissades de chantier du métro, rassemble une grande diversité de pratiques… Plus de 100 nouveaux projets artistiques sont réalisés avec les palissades chaque année. »

↓

« Byens Hegn est une invitation à tous ceux qui ont une idée et la capacité d'améliorer temporairement l'espace urbain créé par la construction du Métro. Ainsi Byens Hegn n'est pas seulement notre projet, il est également le vôtre »

Henrik Plougmann Olsen, CEO of Metroselskabet

Logo du métro danois (Metroselskabet).

Des aménagements originaux ont été réalisés, dans les espaces libres aménagés à proximité des palissades : terrasses de cafés et restaurants, jardins d'enfant, espaces verts provisoires, parking à vélos…

III. Méthodes et solutions pendant le chantier
B. Solutions existantes
❷ À la transmission du bruit
1. Bâches, palissades et écrans

Des touristes viennent se faire photographier devant les palissades des chantier.[7]

7. *What's behind the wall* par Jacoba Niepoort, 2013, Photo par Lene Skytthe.

↓

« Les autres villes peuvent apprendre beaucoup de Copenhague – surtout comment traiter l'espace public d'une manière acceptable –gérer les vélos, les balcons ou les palissades de chantier. Tout cela afin de créer les villes pour leurs habitants ! »

Jens Böhm, Senior Architect, Strategic Projects Metro, MVG Munich

2. Chantiers en sous-sol

Les méthodes de creusement en sous-sol sont déjà utilisées sur le Grand Paris Express. Il s'agit notamment de la méthode dite « top down » consistant à construire d'abord les parois d'enceinte grâce à la technique des parois moulées, puis à creuser la gare au milieu. Cette technique a l'avantage de masquer voire d'enfouir (tunnelier ensuite) les sources de bruit et de réduire les émissions sonores vers le voisinage à l'extérieur.

La technique du « top down » de haut en bas pourrait bénéficier d'améliorations, et aussi il existe d'autres méthodes en sous-sol également utilisées comme celle dite « wanden dak » de murs-plafond.

Ces méthodes sont décrites ci-dessous.

a. Creusement et construction en surface (de haut-en-bas)

En règle générale, les bâtiments possédant des sous-sols sont construits par la méthode « bottom-up » : en termes simples, les étapes de construction se déroulent alors du bas de la sous-structure jusqu'au-dessus de la superstructure. Ils représentent d'immense projets de génie civil avec souvent des contraintes de longues durée et de gros travaux.

En suivant une logique inverse à cette procédure conventionnelle, la méthode de construction de haut-en-bas consiste en un processus de descente, en creusant jusqu'au niveau du plancher pour le construire, puis en continuant à creuser sous ce plancher jusqu'à atteindre un autre niveau. La procédure se poursuit jusqu'à ce que le plancher de l'étage inférieur soit atteint.

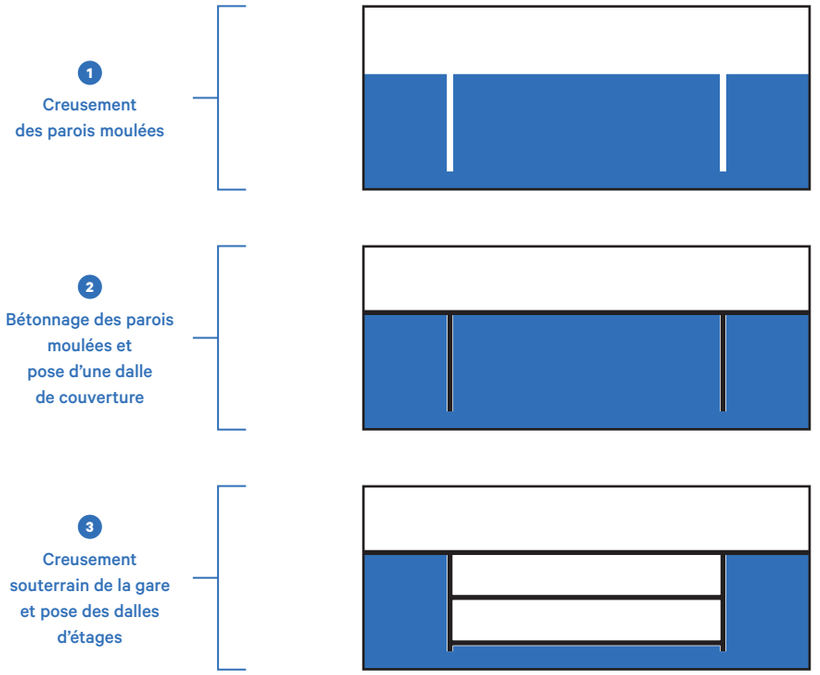
Les avantages de la méthode sont :

- → De permettre une restauration précoce de la surface du sol au-dessus du tunnel. Le support des murs d'excavation est utilisé comme parois structurelles permanentes.
- → Aux dalles structurelles, de servir de contreventement interne pour le soutien de l'excavation, réduisant ainsi la quantité d'ancrages requis et la largeur nécessaire à la zone de construction.
- → Une durée de construction raccourcie grâce à la possibilité de réaliser des activités de construction en parallèle.

Quelques inconvénients :

- → Impossibilité d'installer une imperméabilisation externe.
- → Des connexions plus compliquées pour le toit, le plancher et les dalles de base.
- → Fuites d'eau potentielles au niveau des joints entre les dalles et les murs.
- → Risques que les murs extérieurs (ou les colonnes centrales) dépassent les tolérances d'installation spécifiées et s'étendent à l'intérieur de la ligne nette de l'espace intérieur.
- → Accès à l'excavation limité aux portails ou à travers des puits en toiture.
- → Espaces limités pour l'excavation et la construction de la dalle inférieure.

PRINCIPES DU CREUSEMENT
DE HAUT-EN-BAS (EN FOSSE /SOUS DALLE)



b. Creusement en souterrain : technique de murs-plafond

Un peu comme pour la méthode de « top down » du paragraphe précédent, la méthode « wanden-dak » de murs-plafond permet de creuser en sous-sol ou en taupe[1], mais avec un toit restauré.

Aux Pays-Bas[2], il est coutumier de construire les projets souterrains avec la technique dite « wanden dak » (murs-plafond), une technique proche de la méthode top down consistant à poser d'abord un plafond avant de continuer à creuser l'intégralité de la gare, ce qui a pour effet dans la suite du chantier de réduire considérablement les nuisances sonores transmises vers l'extérieur.

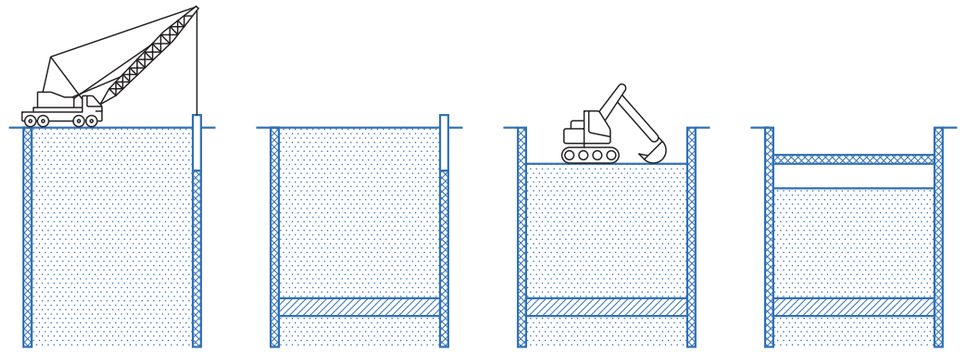
Les creusements sous dalle existent déjà, notamment pour certaines gares[3], par exemple quand les travaux sont réalisés sous une voie ferrée existante ; mais dans le cadre des murs-plafond, la construction est entièrement réalisée en sous-sol avec l'établissement d'accès spécifiques pour les engins et la sortie des déblais.

Par exemple dans le centre d'Amsterdam, la construction de la ligne Nord/Sud du métro (NoordZuidlijn) vient d'être achevée. Cette nouvelle ligne comportait 5 nouvelles stations souterraines.

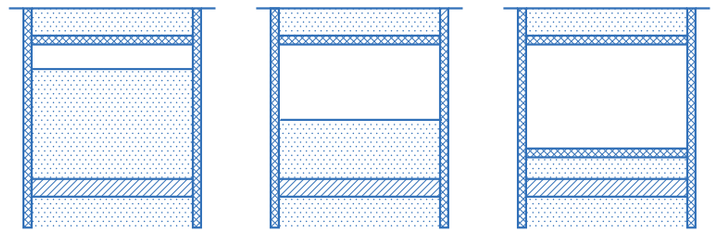
Cette technique a l'avantage de réduire non seulement les nuisances sonores, mais également les poussières et les risques de vol ; elle permet de travailler la nuit sans gêner le voisinage à l'abri des intempéries. Elle diffère du creusement en taupe utilisé pour certaines gares du GPE par le fait que les routes peuvent être immédiatement restaurées.

1. https://www.societedugrandparis.fr/info/methodeconstructive
2. Références :
Tunnel de La Haye : http://oma.eu/projects/souterrain-tram-tunnel,
Ligne nord d'Amsterdam : https://wijnemenjemee.nl
Étude préliminaire de la ligne nord/sud (NAA) : https://www.naa.nl/projecten/mno-vervat-metrolijn-amsterdam-bouwlawaai/
3. Clamart, Champigny.

PRINCIPES DU CREUSEMENT EN MURS-PLAFOND



1. Creuser les parois moulées
2. Faire la couche de rétention d'eau / couche constructive
3. Creuser jusqu'à 4m en dessous niveau de toiture
4. Réaliser la toiture



5. Reconstruire le sol au-dessus de la toiture (le trafic peut reprendre)
6. Continuer le travail de creusement
7. Poser le plancher du tunnel

3. Chantiers sous cloche

Par chantier « sous-cloche » on entend en fait l'encoffrement complet de la zone de travaux. Il s'agit de couvrir le cœur du chantier avec un hangar provisoire acoustiquement isolant. C'est ce qui a déjà été fait par exemple au Royaume-Uni à Chambers Wharf, près de la Tamise à Londres[1], ou encore en Australie et à Hong Kong. Ce type de couverture de chantier est aussi déjà utilisé sur certains chantiers du Grand Paris comme sur celui de Courbevoie pour le chantier de la Gare Eole.

1. https://www.tideway.london/locations/chambers-wharf
https://www.tideway.london

Cette solution, qui peut paraître a priori très coûteuse, peut se révéler finalement plus économique que ce qu'elle n'y parait.
En effet, en plus de la protection des riverains contre le bruit, cette solution empêche les poussières dans le voisinage et fournit de la lumière en permanence, et le chantier est également protégé des intempéries et des intrusions.

Les transports d'objets et de matériaux à l'intérieur peuvent être assurés par un pont roulant, réduisant le nombre d'engins présents sur le chantier. Les machines peuvent rester la nuit à l'intérieur réduisant également les transports d'engins. Enfin, les horaires de travail peuvent être mieux modulés et ventilés en fonction des tâches. Les conditions de travail en sont améliorées et l'efficacité renforcée.

Sur le projet Tideway à Londres, le coût de ce type de protection fut de l'ordre de 600 000€. Le code de la construction britannique impose des performances de réduction des bruits minimales pour les couvertures acoustiques.

Un des autres avantages de la solution est que la performance acoustique de ces structures peut être fixée précisément à l'avance par des acousticiens et par les fabricants. Cela permet de régler en amont l'essentiel du problème de nuisances pour les riverains[2].

2. Cette solution a été envisagée sur plusieurs chantiers de la ligne 15 Sud, mais elle était impossible à mettre en œuvre compte tenu des contraintes d'espace.

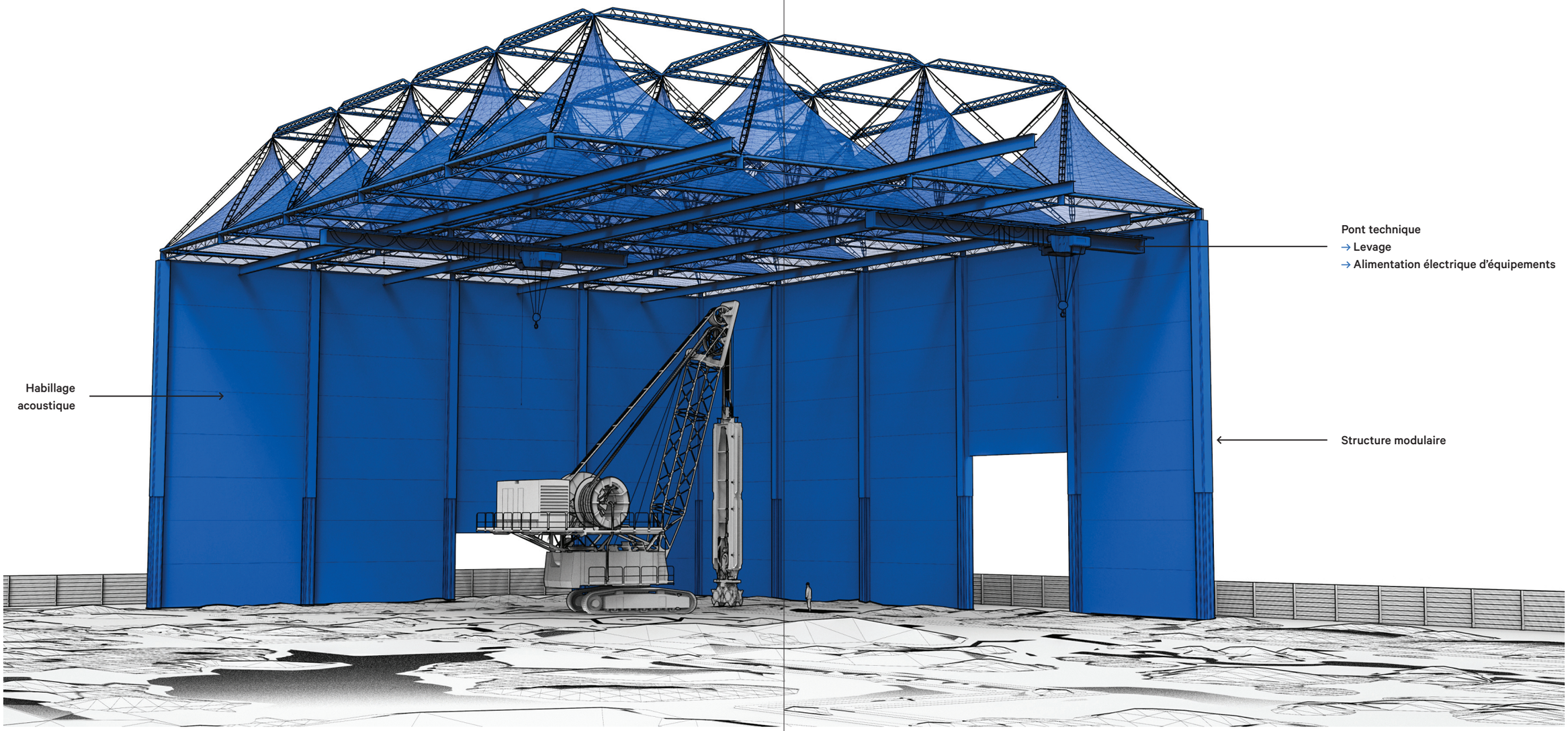
3. https://www.sitecover.com

D'habitude ce sont les maîtres d'ouvrages qui ont la responsabilité de la construction d'un hangar acoustique. Mais il est possible d'externaliser le travail. Pour exemples, l'entreprise Protector Building Systems a réalisé des encoffrements de chantiers en Australie, ou encore SiteCover[3] peut être un partenaire européen.

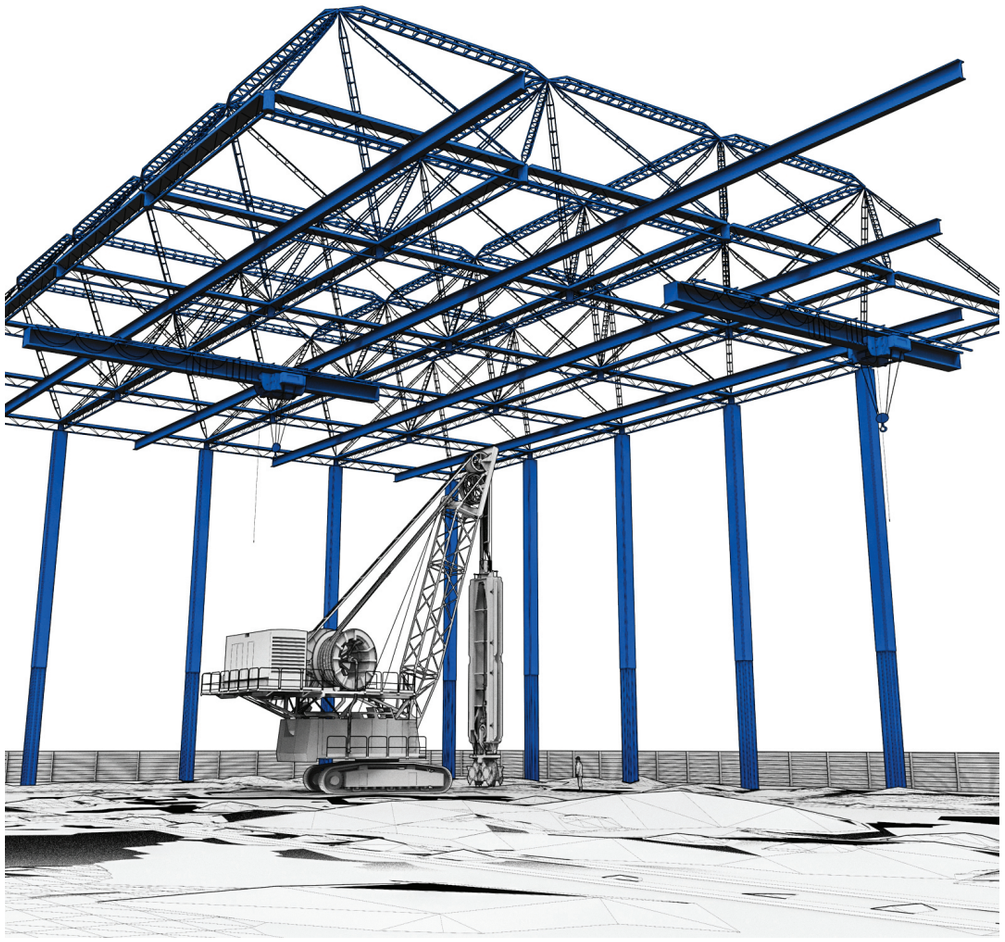
Le système de SiteCover est un peu plus léger à la base et donc s'avérer un peu moins efficace contre le bruit ; mais il est également possible d'équiper le hangar de panneaux acoustiques plus performants ; leur taille maximale est de 86 m par 86 m.

La couverture complète est une solution intéressante pour le travail de nuit. Assortie d'engins électriques, alimentés par batteries ou en filaire, elle garantit un minimum de nuisance pour un maximum d'efficacité.

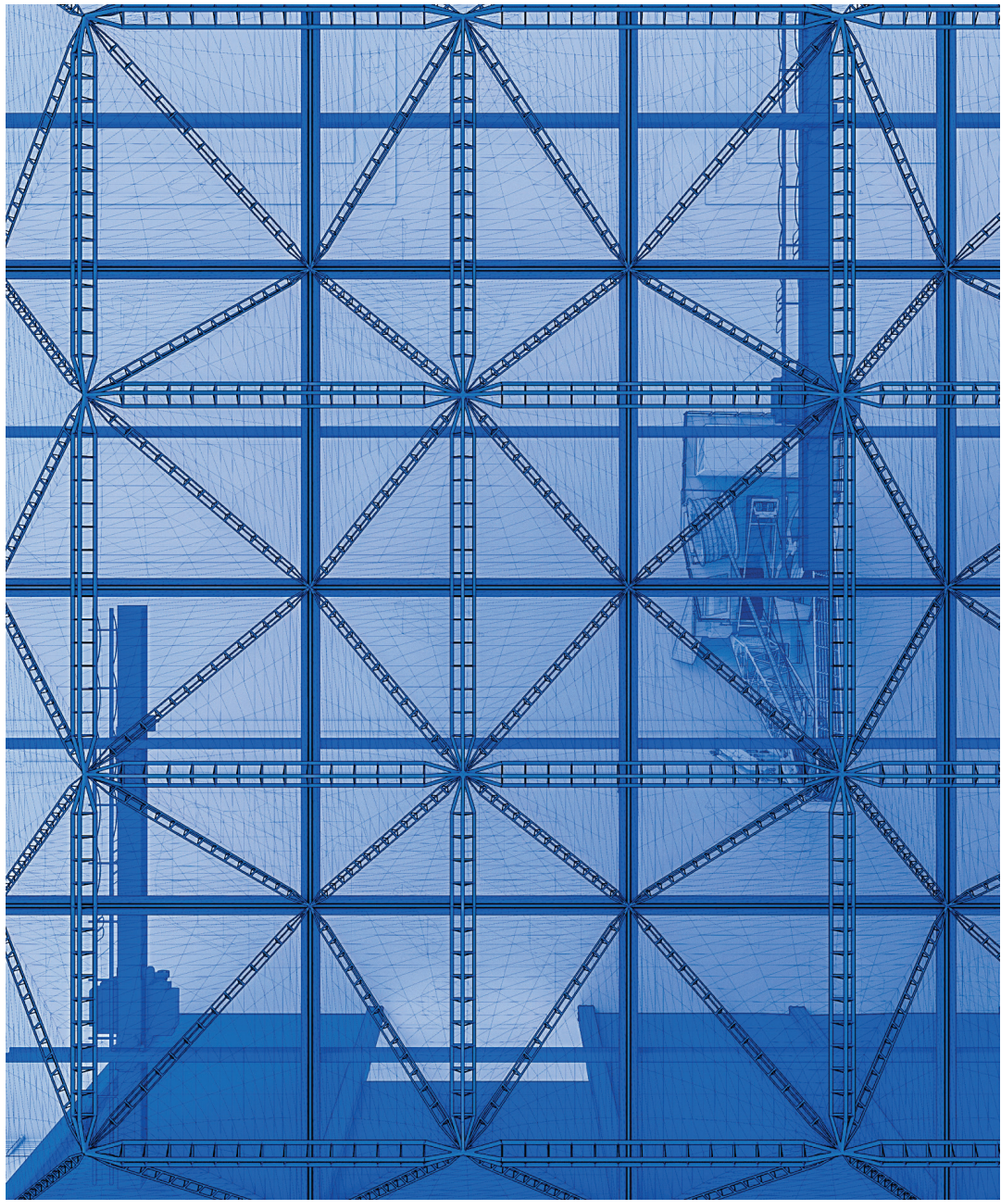
Il reste toutefois que ce type de solution ne règle pas tous les problèmes. Elle n'est pas applicable à tous les sites de chantier – d'autant que c'est dans les zones urbaines les plus denses, où les chantiers se déroulent au plus près des riverains, que les contraintes d'espaces sont les plus fortes – et ne résout pas le problème des rotations de camions et circulations d'engins à l'extérieur de la « cloche ».



III. Méthodes et solutions pendant le chantier
B. Solutions existantes
❷ À la transmission du bruit
3. Chantiers sous cloche : système modulaire de couverture complète d'un chantier



III. Méthodes et solutions pendant le chantier
B. Solutions existantes
❷ À la transmission du bruit
3. Chantiers sous cloche : système modulaire de couverture complète d'un chantier



3 À la réception du bruit

1. Protecteurs Individuels Contre le Bruit (PICB)

a. Protection du personnel des chantiers

L'objectif prioritaire du Livre Blanc Silence Chantier est de protéger les riverains contre le bruit des chantiers. Mais les compagnons sur les chantiers sont les premiers touchés par l'exposition au bruit. La meilleure protection contre le bruit est toujours la réduction du bruit à la source. Elle profite à tous, aux compagnons comme aux riverains. En réduisant le bruit à la source, on limite l'usage de protections individuelles mal supportées, les oreilles restent libres et leur fonction d'alerte et la communication orale fonctionnent normalement. Quand le bruit à la source est suffisamment atténué, les protections ne sont nécessaires que dans les cas extrêmes. Si les effets du bruit sur la santé des ouvriers peuvent être graves, les effets collatéraux et les risques liés à l'usage des PICB ne doivent pas être ignorés.

Risques liés au bruit pour le personnel des chantiers

Les risques liés au bruit sont auditifs et non auditifs

Auditifs
Acouphènes, déficit auditif temporaire, traumatisme auditif, surdité.

Non auditifs
Perte de concentration, stress, anxiété, dépression, insomnie, fatigue, problèmes cardio-vasculaires.

L'exposition au bruit augmente les risques d'accidents du travail, de l'ordre de + 24%[1] selon l'INRS.

Les ouvriers sont les plus exposés

La directive européenne 2003/10/CE[2] sur l'exposition des travailleurs aux risques spécifie les limites d'exposition au bruit pour les employés et qui doivent être protégés.

Au-dessus de 80 dB(A)[3], les employés doivent porter des PICB ; à partir de 85 dB(A) sur 8 heures un programme global de réflexion sur l'exposition sonore de salariés et la réduction du bruit doit être entrepris. Par exemple pour les travaux bruyants comme le marteau piqueur (105 dB(A)) ou pour le travail à proximité des Brise Roches Hydrauliques (BRH)...

1. Accroissement du risque d'accident avec arrêt de travail constaté par l'étude P. Campo, Bruit et agents ototoxiques – INRS ED5028 – 2005.
2. 2003/10/CE transposée en droit français par le décret 2006-892 du 19/07/2006.
3. Dose de bruit de 80 dB(A) sur 8 heures, ou 135 dB(C) en crête pour les sons impulsionnels.

Les PICB font partie des Équipements de Protection Individuelle (EPI) obligatoires pour toute personne sur les chantiers. Dans la réalité ils sont mal supportés, mal portés, ou pas portés du tout. La raison principale en est la gêne qu'ils produisent pour la communication interpersonnelle et pour le travail lui-même, et aussi le sentiment – en partie justifié – d'être exposé à des risques liés à l'obstruction de la perception auditive.

La mesure de la dose d'exposition est obligatoire pour les travaux bruyants. La dose de bruit[4] est fonction du niveau de bruit et du temps d'exposition. Les dosimètres individuels corrects ne coûtent plus grand chose et chacun peut utiliser une application smartphone pour mesurer sa propre exposition[5]. Il en existe des gratuites[6] pour Android comme pour iOS. Il est préférable d'utiliser un micro extérieur[7] afin de mesurer le bruit aérien et non le frottement du téléphone au fond de la poche.

4. INRS ed6035 page 17 et suivantes.
5. Les smartphones ne sont pas des appareils de mesure, mais les valeurs obtenues sont des approximations suffisantes pour cet usage.
6. Noise Dosimeter, SoundLog Noise Dosimeter...
7. Celui de l'écouteur peut suffire s'il est bien exposé et ne frotte pas sur les vêtements.

Silence Chantier propose plusieurs méthodes existantes et innovantes pour mesurer et utiliser cette information afin de réduire le bruit et pas seulement le constater :

→ II. C. 4. « La Sentinelle ».
→ III. C. ❸ 5. « Radio Chantier ».
→ IV. (ENSCi) : projet « Ensemble Contre Le Bruit ».

Réduction à la source versus protections individuelles

Les PICB corrigent les symptômes mais produisent des effets secondaires. Un ouvrier qui porte un casque antibruit est certes protégé contre le bruit, mais en contrepartie, le fait de ne pas entendre :

→ Rend la communication avec les autres plus difficile, ce qui peut ralentir le travail ou provoquer des « malentendus » ;
→ Peut empêcher d'entendre les signaux d'alerte ou des sons informatifs importants (par exemple l'enclenchement d'un verrouillage de sécurité) et provoquer des accidents.

Le bruit comme les protections individuelles affectent l'expérience auditive et peuvent causer des accidents[8]. Moins de bruit à la source reste la meilleure solution pour protéger à la fois le personnel et les riverains.

8. Pour mieux comprendre le vécu du bruit sur les chantiers, lire : Jean-Paul Thibaud (1989). À l'écoute du Chantier. Des productions sonores aux modes de prévention – Centre de Recherche sur l'Espace Sonore (Cresson) (Mai 1989).

Quelles protections individuelles

Il existe des modèles adaptés aux usages et aux travaux. Les critères de choix sont :

→ Le marquage CE.
→ Un affaiblissement acoustique adapté.
→ Le confort du porteur.

9. http://www.hearingprotech.com/pdf/Dossier-Choisir-un-PICB.pdf

→ L'environnement de travail et l'activité.
→ Les éventuels troubles médicaux.
→ La compatibilité avec d'autres équipements de protection individuels (EPI)[9].

Formation du personnel

La formation au bruit du personnel et des compagnons des chantiers est essentielle. Elle permet de sensibiliser les travailleurs au bruit qu'ils produisent comme à celui auquel ils sont exposés pour :

→ Apprendre à se protéger.
→ Comprendre les risques liés au bruit pour la santé et pour la sécurité.
→ Comprendre comment fonctionne le bruit et comment le mesurer.
→ Apprendre à réduire sa production inutile de bruit en adaptant ses techniques de travail.

Pour plus d'information :
– Dossier Bruit : http://www.inrs.fr/risques/bruit/publications-liens-utiles.html
– www.inrs.fr/risques/bruit/reglementation.html
– Dossiers de l'INRS : ED133, ED868, ED6035, ED5028, HS223

Médiation du bruit commune entre riverains et compagnons

Ces formations gagneraient à réunir les riverains avec les compagnons du chantier, au moins pendant une partie de la démarche. Les riverains pourraient d'une part visiter le chantier et comprendre à quel régime de bruit les ouvriers sont soumis, le personnel du chantier pourrait d'autre part visiter les habitations des riverains et constater les nuisances sonores par eux-mêmes.

La formation elle-même pourrait être assurée par un organisme de formation spécialisé et être pilotée par l'agent de proximité, interface entre les parties et représentant de la SGP.

Le contenu de la formation devra être défini et développé pour les différents participants[10]. Le contenu prendra en compte les propositions de Silence Chantier pour être plus efficace sur le terrain, notamment en matière de participation, de médiation, de remontée d'information et de mise en œuvre de solutions.

10. Voir LBSC : II. D. 1. « Formations pour les riverains et les compagnons ».

Le Casque OSCAR Colas, un exemple d'EPI innovant, performant et plus sûr

Oscar, développé par l'e-lab /direction de l'Innovation Bouygues est un casque de chantier multifonction : il dispose d'un éclairage simple, confortable et pratique, d'un système de communication main libre full duplex qui permet à une équipe de 6 personnes de communiquer jusqu'à 250 mètres de distance en champ libre, d'une visière compatible port de lunettes. Il a obtenu les certifications nécessaires pour l'Industrie.

Coté bruit, il atténue et filtre les bruits. Par ailleurs, déjà équipé d'une électronique audio, il pourrait facilement intégrer un système de réduction active du bruit (ANC).

Enfin un système permet d'alerter de la proximité de risques. Colas Rail en a fait son logo et l'utilise déjà sur des chantiers ferroviaires. Le groupe Bouygues dont Colas Rail est une filiale, souhaite pouvoir déployer prochainement OSCAR sur ses chantiers.

b. Stratégies, méthodes et dispositifs de protection individuelle du bruit pour les riverains

Au-delà des mesures prises pour réduire le bruit à la source, qui jusqu'aujourd'hui ont rarement été complètement efficaces, tout un chacun a intérêt à prendre des mesures personnelles en fonction de sa sensibilité. Nous proposons donc des méthodes et outils pour cela.

Attention toutefois, car les niveaux de bruit acceptables pour les riverains, changent avec leurs activités, notamment entre le jour et la nuit[11].

Les Protecteurs Individuels Contre le Bruit (PICB) pour les habitants[12]

La solution de dernier recours, quand rien d'autre n'est suffisant pour arrêter le bruit, reste l'utilisation de protections individuelles. Elles offrent une solution efficace, mais contraignante, et comporte des risques. En effet en empêchant tous les sons de parvenir aux oreilles, la communication auditive et la fonction d'alerte de l'oreille ne peuvent plus fonctionner. Ces protections sont donc à proscrire en extérieur et surtout en mobilité.

Quels PICB choisir ?

Bouchons d'oreille intra-auriculaires en mousse

Les bouchons d'oreilles passifs en mousse de bonne qualité permettent une atténuation de l'ordre de 35 dB. Ils sont réutilisables quelques fois. Pour qu'ils fonctionnent bien il est essentiel de bien les mettre dans l'oreille en respectant la procédure suivante.

Les bouchons d'oreilles professionnels pour les compagnons sont différents et plus chers que les bouchons simples pour les riverains. Ils sont adaptés à la tâche pour atténuer le plus efficacement possible les bruits les plus gênants, impacts ou bruits continus, graves ou aigus... et laisser passer les bons signaux d'alerte ou la parole.
Voir par exemple ce dossier :
www.hearingprotech.com/pdf/Dossier-Choisir-un-PICB.pdf

> **1.** Les rouler entre les doigts pour former un bâtonnet étroit.
> **2.** Enfoncer en profondeur le bouchon roulé dans le conduit auditif, sans toutefois toucher le tympan.
> **3.** Laisser le bouchon gonfler dans le conduit jusqu'à ce qu'il vienne l'occulter hermétiquement.

11. Voir tableau dans LBSC : I. C. 5.

12. Voir LBSC : I. D. « Revue Internationale ».

La mousse à mémoire de forme utilisée permet qu'une fois le bouchon roulé en bâtonnet, il garde cette forme assez longtemps pour être bien positionné dans le conduit, puis reprenne lentement sa taille d'origine et vienne occulter le conduit. La mousse doit être suffisamment dense et lourde pour bien atténuer le bruit. Enfin elle ne doit être ni irritante, ni trop dure pour ne pas faire mal à l'oreille au bout d'un moment.

Pour une centaine d'euros, on peut également faire réaliser par moulage chez un audioprothésiste des bouchons d'oreilles réutilisables sur mesure. Certains offrent de meilleures performances et une possibilité de réglage d'atténuation.

↓

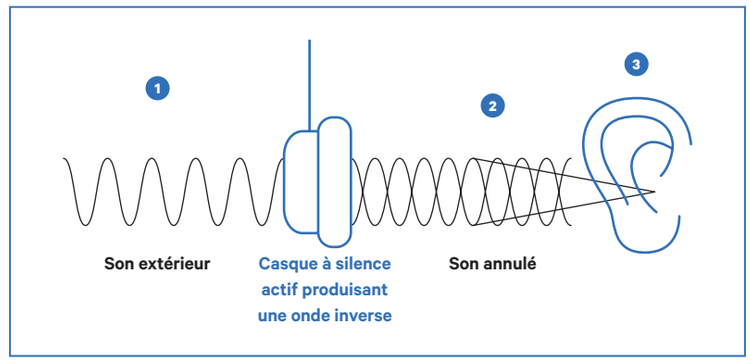
Contrairement aux casques, les bouchons n'empêchent pas de poser la tête confortablement sur l'oreiller.

Casques antibruit passifs

Les casque antibruit passifs ont l'avantage d'être presque inusables, bon marché et de ne pas écraser l'oreille, cependant ils exercent une pression sur les coté du crane qui peut être désagréable. Leur esthétique est également un peu spéciale, même si assez « branchée » en ce moment.

Écouteurs et casques à silence actif : Active Noise Control (ANC)

Il en existe d'excellents et chers, et d'autres moins performants et bon marché, mais les moins chers ne sont pas pour autant à rejeter : leurs prix varient de 50 à 400€, ceux des écouteurs de 25 à 300€, selon la qualité sonore, l'efficacité du traitement antibruit, le confort et la marque. On trouve d'excellents comparatifs sur Internet.
Ces dispositifs, surtout ceux de mauvaise qualité, produisent parfois un bourdonnement et une sensation d'oreille bouchée qui peut être désagréable. Ceux opérant un traitement audio actif sont par ailleurs nécessairement munis d'une batterie.



1 Un micro de référence capte le son.
2 Le son extérieur est inversé et le haut-parleur mélange le signal du contre-bruit (i.e. en opposition de phase) avec celui de la voix ou de la musique.
3 Le signal anti bruit annule le bruit extérieur et délivre une musique ou un son de conversations claires.

2. International compensation et isolation riverains

Revue Européenne des Pratiques de réduction des nuisances sonores sur les chantiers métropolitains

a. Traitement phonique isolant des fenêtres chez Crossrail (UK)

À l'occasion des chantiers d'extension du métro Londonien (London tube), les travaux sont à proximité immédiate des fenêtres des riverains. Les responsables proposent aux riverains l'isolation des façades directement exposées qui sont protégés par une loi : The Crossrail act votée au parlement en 2008.

Réglementation

Au Royaume-Uni, il n'y a pas de réglementation nationale concernant les problèmes d'environnement et de bruit, mais les collectivités locales ont autorité pour fixer une limite de bruit[1]. De plus, il existe un système de protection des riverains plus efficace qu'en France qui leur permet notamment de se retourner vers les responsables des nuisances sonores.

Par exemple à Londres (City of London) : si du bruit est attendu sur un chantier, un accord du gouvernement local (Local Council) est nécessaire. Toutefois si les activités de creusement et terrassement durent plus de 6 mois, une limite de 55 dB(A) est fixée[2].

Prise en compte du gène des riverains

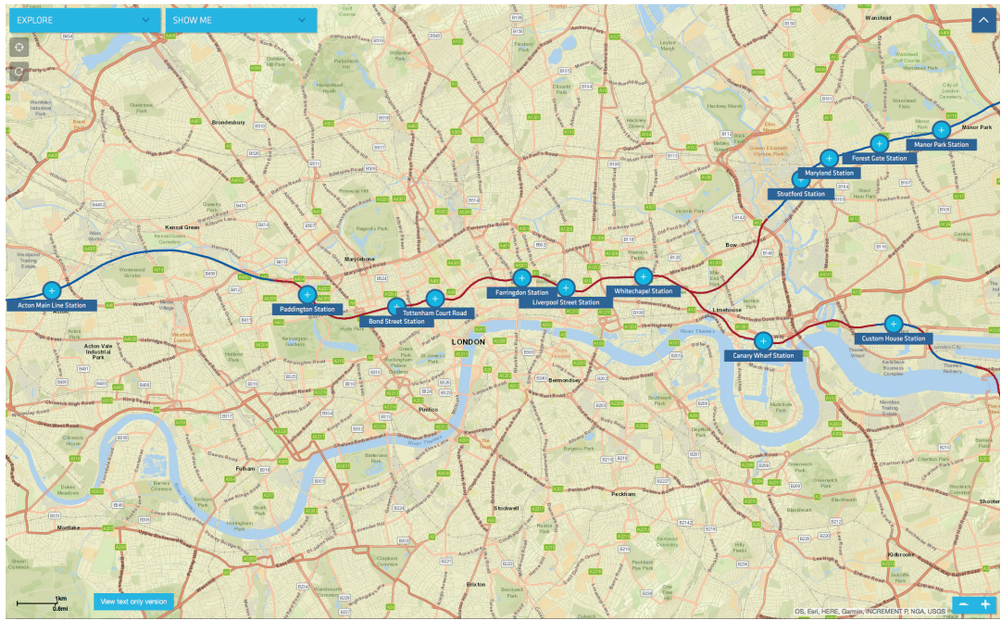
Si le bruit d'un chantier est considéré comme invasif, c'est-à-dire qu'il dépasse par exemple ; 70 dB(A) depuis les fenêtres les plus proches, ou bien qu'il émerge par exemple de 5 à 10 dB(A) au-dessus du de bruit ambiant ; les résidents auront droit gratuitement à l'installation du traitement acoustique de leur façade[3], une compensation ou une proposition de relogement temporaire.

Les coûts juridiques, les conséquences des poursuites, notamment les retards sont trop dangereux pour Crossrail. Pour éviter cela, la loi Crossrail Act, propose des compensations, notamment grâce au *Noise Insulation Package*. Ce qui pourrait apparaître comme un coût supplémentaire permet, *in fine* de réduire le coût global du projet.

1. The Crossrail Act : http://www.crossrail.co.uk/about-us/crossrail-act-2008/ http://www.legislation.gov.uk/ukpga/2008/18/contents

2. London City Code of practice for Deconstruction and Construction Sites Eighth Edition October 2017.

3. Control of Pollution Act 1974.



The Crossrail Act : www.crossrail.co.uk/about-us/crossrail-act-2008 – www.legislation.gov.uk/ukpga/2008/18/contents

L'entreprise responsable de la construction ou de l'ensemble du projet est obligée d'informer les résidents de leurs droits. Ce qui est réalisé grâce à un document disponible en ligne sur le site de Crossrail.

The Noise Insulation Package

Un document simple téléchargeable sur Internet informe d'une manière simple et efficace les résidents et leur donne accès aux compensations. Après une enquête acoustique préalable au début du chantier, chaque résident exposé à une forte pression sonore est notifié grâce à ce documents, disponible en 12 langues, braille et audio.

b. Compensations pour les riverains des chantiers du Cityringen Metroselskabet à Copenhague (DK)

À Copenhague, les chantiers du nouveau métro Cityringen, une ligne circulaire en centre-ville, touchent les habitations. En 2015, les plaintes pour nuisances sonores ont retardé les travaux de plusieurs mois. Pour résoudre ce problème, un texte légal a été voté, l'enveloppe pour le voisinage : le kit riverain « the Neighbor package order » ou « nabopakke ».

↓

https://www.retsinformation.dk/pdfPrint.aspx?id=164045

Comme pour le projet Crossrail, le fait de disposer d'un texte de loi spécifique permet au maître d'ouvrage de maîtriser les mesure vis à vis des nuisances environnementales.

Le *nabopakke* spécifie les règles et modèles de calcul des nuisances que tout chantier doit respecter. Si le niveau de bruit dépasse certains seuils, les habitants ont droit à une compensation pouvant aller jusqu'à 2300€ par mois ; c'est à dire suffisamment pour pouvoir envisager un relogement provisoire. Cet arrangement étant finalement moins cher pour le constructeur que les tribunaux et les retards accumulés sur les chantiers.

Le volume sonore sur les façades est prédit au moyen d'un modèle de calcul évolué avant le début des travaux. Ces calculs sont réalisés par des acousticiens certifiés et les cartes prévisionnelles de bruit Støjkort sont publiées sur Internet.

↓

https://www.m.dk/#!/om+metroen/metrobyggeriet/byggepladserne/kompensation+og+cityringslov/

> *Suite à la modification de la loi de 2014 et de la publication de l'ordonnance du « Neighbour Package Order » du ministère des Transports, les ménages les plus durement touchés par le bruit se sont vus offrir le choix entre une acquisition de leur maison, un relogement temporaire ou une indemnisation financière plafonnée. Près de 99% de ces ménages ont opté pour une compensation financière. Un peu plus de 1% ont choisi de quitter leurs maisons, dont six ont été acquises, tandis qu'un seul ménage a accepté un relogement temporaire. Depuis mi-2014, 4 243 ménages ont reçu une compensation financière pour les effets néfastes du voisinage d'un chantier de construction du métro.*

Tableaux de calcul des compensations financières en fonction des niveaux de bruit

Le calcul est basé sur une prédiction de niveau de pression acoustique continu équivalent LAeq pour les périodes en soirée et de nuit. (Pour simplifier nous n'affichons ici que les cas 2 pièces ou plus de 4 pièces).

Bruit en soirée 18:00 à 22:00 en semaine, 16:00 à 22:00 les week-ends et jours fériés.

Niveau de bruit	55 < dB ≤ 60	60 < dB ≤ 65	65 < dB ≤ 70	70 < dB ≤ 75	75 < dB
% compensation	0%	20%	35%	50%	100%
2 pièces	0€	195€	341€	488€	975€
Plus de 4 pièces	0€	520€	910€	130€	2 600€

Bruit de nuit 22:00 à 07:00 en semaine, 22:00 à 09:00 les week-ends et jours fériés.

Niveau de bruit	55 < dB ≤ 60	60 < dB ≤ 65	65 < dB ≤ 70	70 < dB ≤ 75	75 < dB
% compensation	35%	50%	100%	100%	100%
2 pièces	341€	488€	975€	975€	975€
Plus de 4 pièces	0€	130€	2 600€	2 600€	2 600€

3. Rénovation de la façade permanente

La rénovation de façade implique le renforcement de l'isolement acoustique d'un logement, et peut donc avoir un bénéfice également sur son isolation thermique. Par opposition à des solutions temporaires[1] comme double les fenêtres, les rideaux ou les boucliers de fenêtre, il est également possible de profiter du chantier pour réaliser une amélioration permanente des façades.

Il s'agit d'un traitement durable pour le confort de l'habitat ; mais uniquement à l'intérieur des pièces dont les fenêtres devront rester fermées.

1. Voir LBSC : III. C. ❸ 3. « Isolation acoustique à l'intérieur de l'habitat ».

a. Pourquoi choisir une solution durable

À défaut de pouvoir intervenir suffisamment à la source de bruit ou sur la propagation sonore, notamment pour des logements proches du chantier, cette solution sera la bienvenue. Elle aura l'avantage d'apporter une compensation au riverain en améliorant son confort domestique en le protégeant mieux du bruit et en améliorant l'isolation thermique, et logiquement les effets perdureront après la fin du chantier. Cette double action thermique et acoustique sur le bâti peut faire l'objet de subventions accordées aux MOA pour aider les riverains à la réalisation de travaux d'isolement.

Une solution permanente est dans sa nature plus chère qu'une solution temporaire. Cependant, elle apporte des avantages supplémentaires. Par exemple, par rapport à une barrière acoustique placée dans le chemin de propagation, l'isolation de toute une façade agit également contre le bruit ambiant[2] (trafic, installations, construction des bâtiments environnants). Et logiquement, lorsque la période de travaux est terminée l'amélioration perdure.

2. C.a.d le bruit présent avant et après le chantier.

Un autre argument est que la présence de gare peut accroître les flux de trafic et donc continuer d'exposer les mêmes riverains au bruit que lors de la construction.

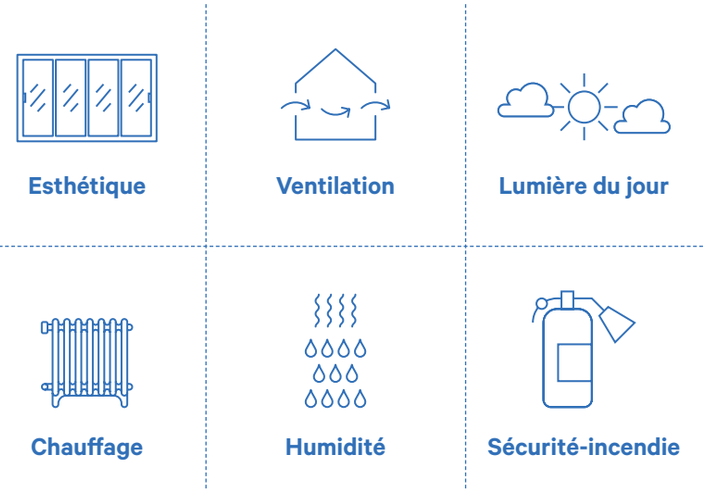
Enfin une façade acoustique améliorée peut permettre d'améliorer également la performance thermique de la façade. Il existe des incitations et financement pour l'amélioration thermique des façades. Les travaux étant programmés longtemps à l'avance, cela laisse le temps au MOA ou aux collectivités locales pour contacter les propriétaires, organiser des co-financements, planifier et réaliser les travaux avant le début du chantier de la gare.

b. Efficacité et contraintes

L'efficacité de la solution est limitée à des ouvertures fermées (fenêtres, portes). Par une bonne isolation aux bruits extérieurs, il arrive que les occupants des logements deviennent plus réceptifs aux bruits intérieurs du bâtiment (équipements, voisinage).

Il s'agit donc de bien dimensionner l'isolement acoustique souhaité, cela passe généralement par le remplacement des fenêtres et le traitement des fuites possibles (aérations, cheminée…).

Il faut être vigilant sur plusieurs contraintes liées aux façades, comme par exemple :



c. Financement des installations de protection

La partie la plus difficile est de déterminer qui paie pour quoi. Quelques considérations entrant dans la mise en place du plan de financement :

- → Importance escomptée de la gêne.
- → Coût d'une solution temporaire comparée à la rénovation de façade.
- → Économie pour le chantier (e.g. plus besoin d'équipements moins bruyants et plus cher).
- → Augmentation de la valeur du bâtiment conséquente à la rénovation.
- → Statut social de la population locale et apport de fonds sociaux (e.g. parent célibataire avec 3 enfants, étudiants, immigrants versus populations plus aisées).
- → Financements possibles de l'état, des collectivités et agences spécialisées, subventions, prêts, déductions fiscales… etc.

Une fois les coûts répartis, les plans d'aménagements peuvent être conçus, coordonnées ou réalisés par les entreprises en charge de la gare ou des prestataires indépendants. Bien entendu, la rénovation doit être terminé au moment du démarrage du chantier de la gare.

C. SOLUTIONS INNOVANTES À DÉVELOPPER

Traitements à la source, à la transmission et à la réception

Afin de simplifier et rendre plus cohérentes les actions contre le bruit, le Livre Blanc Silence Chantier distingue :

1 LES TRAITEMENTS À LA SOURCE DU BRUIT

Les plus efficaces, ils agissent au plus proche de l'origine du bruit, citons par exemple:

- → Utilisation de matériels ou procédés moins bruyants.
- → Améliorations par le constructeur du procédé d'action et des composants produisant le son.
- → Changement de la motorisation, limitation des vibrations du moteur, réduction des bruits de ventilation.
- → Capotage d'isolation, d'absorption, silencieux intégré à l'engin, le plus proche possible des sources de bruit, chicanes pour les sorties de bruit et aérations...
- → Amortissement des parties résonnantes, des transmissions solidiennes et autres causes de bruits dues aux actions bruyantes elles-mêmes.

2 LES TRAITEMENTS À LA TRANSMISSION

Ce sont tous les dispositifs de réduction de bruit ajoutés sur le chantier entre la source et le récepteur, donc entre l'engin ou l'action bruyante et la zone où se trouvent les riverains. Il s'agit principalement d'obstacles à la propagation sonore qui auront la fonction d'atténuer le bruit en l'isolant ou l'absorbant; typiquement ça peut être avec des écrans, des buttes de terre, etc.

3 LES TRAITEMENTS À LA LA RÉCEPTION

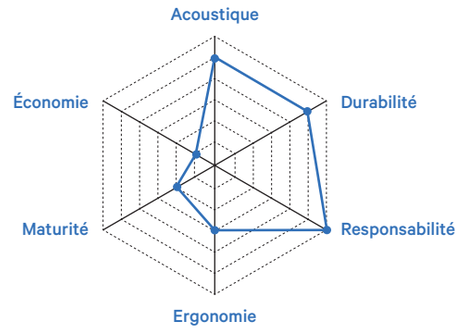
Ce sont les actions utilisées en dernier ressort car elles ne protègent pas les compagnons ou les espaces riverains extérieurs vis-à-vis du bruit du chantier. Il s'agit de méthodes, procédés et dispositifs chez le riverain, depuis ses fenêtres jusqu'à ses oreilles; comme par exemple le renforcement de l'isolement acoustique de son logement.

1

À la source du bruit

1. Électrification

ÉVALUATION



Acoustique : excellente efficacité sur les bruits moteur, pas sur les bruits d'actions.
Économie : investissement potentiellement importants pour remplacer le parc existant.
Maturité : développements et transition en cours. Progrès important escompté dans les prochaines années
Ergonomie : contraintes d'utilisation, notamment pour les rechargements électriques.
Responsabilité : écologique,
Durabilité : investissements durables.

Électrification = réduction d'émission de gaz d'échappement + réduction du bruit à la source.

« Le 1er août 2018, l'humanité aura dépensé l'ensemble des ressources que la Terre peut régénérer en une année. C'est le Jour du dépassement. Si le monde entier vivait comme les Français, ce même jour aurait eu lieu le 5 mai 2018. Pour le WWF[1], ce constat est d'autant plus alarmant que l'Hexagone avait, sur la période 2008-2015, réduit de façon continue son empreinte écologique. Celle-ci est, depuis, repartie à la hausse, avec une augmentation de 5 % entre 2015 et 2018. Un mauvais résultat dû principalement à une poussée des émissions de gaz à effet de serre dans les secteurs du bâtiment et des transports. »[2]

En 2015, le secteur de la construction a consommé 3,7 mégatonnes équivalent pétrole (Mtep) d'énergie, soit 2,5 % de la consommation finale d'énergie en France. La facture énergétique s'élève à 4,1 milliards d'euros.[3]

1. Rapport World Wide Fund For Nature 2018 L'autre Déficit de la France, 5 mai 2018 : Jour du dépassement pour la France.
2. Le Monde 03/05/2017 La France creuse sa « dette écologique ».
3. Les produits pétroliers étant la principale énergie dans le secteur de la construction, les chantiers constituent une part non négligeable de la production des gaz à effet de serre. DATA LAB – Commissariat général au développement durable Juillet 2017. Les produits pétroliers, principale énergie dans le secteur de la construction.

a. Électrification des matériels de chantier : une solution à long terme à mettre en œuvre dès maintenant

Le bruit des engins et équipements de chantier est dû en grande partie au bruit des moteurs thermiques des engins et équipements.

Souvent le bruit du moteur est plus gênant, même s'il est moins fort, que le bruit de l'action produite par l'équipement, sa durée d'activité est beaucoup plus importante. Il suffit pour s'en convaincre de se rendre aux abords de quelques chantier[4]
Par exemple, le bruit d'un compresseur, même insonorisé, peut-être plus gênant que le marteau piqueur lui-même car les basses portent plus loin et la modulation du régime du compresseur produit une variation saillante du bruit et des vibrations. Les moteurs électriques sont ou peuvent être parfaitement silencieux.

Le remplacement des moteurs thermiques par des moteurs électriques silencieux est donc un enjeu majeur. La technologie est disponible, le marché est déjà dans la transition[5]. Jamais les conditions n'ont été plus propices. Les MOA ont tout intérêt à accompagner le mouvement, ou mieux, à l'anticiper. Reste maintenant à accélérer cette transition par la volonté politique et le modèle économique…

4. Ou d'écouter cette vidéo : https://www.youtube.com/watch?v=-NBzOEiMUWg où même le BRH est couvert.

5. Voir LBSC : V. « Interviews » de Pyc Media.

b. Les conditions sont aujourd'hui réunies pour accompagner le passage à l'électrique sur les chantiers

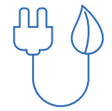
L'électrification des véhicules et des engins remonte à la fin du XIX[e] siècle. Dans les années 1920/30, la plupart des flottes servant aux livraisons (poste, boissons en zone urbaine, bagages…) utilisaient des véhicules électriques. Puis, pour de multiples raisons – rayon d'action limité, poids des batteries, puissance limitée… – ceux-ci s'effacèrent progressivement du paysage, hormis quelques exceptions dans les gares, sur les tarmacs d'aéroports…

Le XXI[e] siècle signe un renouveau avec une croissance exponentielle des véhicules électriques et hybrides dans tous les domaines, notamment grâce à l'accélération des avancées des batteries, aux incitations publiques et au combat écologiste.

Le matériel de chantier n'est pas en reste et de plus en plus de constructeurs investissent dans des motorisations électriques et hybrides pour toutes les gammes d'engins et de machines. Tous les signaux semblent passer au vert :

III. Méthodes et solutions pendant le chantier
C. Solutions innovantes à développer
❶ À la source du bruit
1. Électrification

6. https://fr.wikipedia.org/wiki/Taxe_carbone_en_France
7. La loi de Finances 2019 supprime le taux réduit de TICPE (taxe intérieure de consommation sur les produits énergétiques) pour 2021 et propose un crédit d'impôt sur la transition énergétique (CITE)
8. Ce à quoi il faut ajouter les lourdes pénalités imposées par la Commission Européenne à la France pour non respect des normes européennes concernant les émissions de NOX en région IDF. Cf. Le Monde 01/10/18.

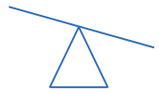


1

Les fabricants sont déjà dans la course, le matériel existe et la gamme des engins disponibles en motorisation électrique et hybride s'enrichit rapidement.

2

Les loueurs sont également intéressés, notamment car l'entretien des engins électriques est moins cher. Cela les motive pour proposer des tarifs attractifs.



3

Les entreprises de génie civil n'ont pas encore basculé. Il revient aux MOA d'appuyer du bon côté.

4

L'augmentation programmée de la taxe carbone[6] ainsi que la fin des taux réduits de TICEP du Gazole[7] ajoutera des coûts importants dans les années à venir[8].

5

Les équipements utilisé en souterrains des mines et des tunnels sont entièrement électrifiés depuis longtemps.

↓

POURQUOI ALORS LES CHANTIERS DE SURFACE CONTINUENT-ILS DE RÉSISTER IRRÉDUCTIBLEMENT ?

Sans doute faut-il trouver les bonnes solutions pour équiper les chantiers de creusement et terrassement à ciel ouvert et en fosse de matériel électrique silencieux et non polluant. En égard aux nuisances multiples, le plus tôt sera le mieux !

c. Stratégie : le Grand Paris Express est à même d'accélérer la transition énergétique tout en réduisant les nuisances sonores

Le projet du Grand Paris Express est actuellement le plus grand chantier d'Europe. En s'engageant à réduire simultanément les gaz à effet de serre et le bruit sur ses chantiers dans les prochaines années, la SGP participera de manière déterminante à consolider la transition énergétique et sera la première à en bénéficier.

Un tel engagement comparable à ceux de la ville de Paris et d'autres capitales Européennes, assorti de mesures incitatives[9], d'une surveillance efficace et publique de limites normalisées, d'obligations contractuelles, d'alertes et de sanctions en cas de dépassement, permettrait d'obtenir en quelques années une diminution importante de la gêne due aux émissions polluantes des chantiers et notamment du bruit.

Pourquoi ?

En créant simultanément des obligations de réduction de nuisance auprès des entreprises tout en les incitant à investir dans les engins électriques, la SGP contribuera au niveau européen à consolider la confiance dans les investissements éco-durables.

Mais qui financera cet investissement ? comment fait-on dans un contexte de réduction budgétaire drastique ?

En renforçant la demande, les MOA comme la SGP encouragera de nouveaux investisseurs et contributeurs à se joindre aux efforts dans ce domaine.

Les entreprises de génie civil et les loueurs pourront emprunter plus facilement qu'aujourd'hui pour acheter du matériel électrique et le mettre à disposition des chantiers. Elles pourront bénéficier d'aides publiques. Elles pourront surtout réaliser un retour suffisant sur leur investissement pour enclencher la transition :

- → En économisant sur le carburant, la taxe carbone.
- → En réduisant les risques d'interruption de chantiers, les risques pour la santé des compagnons et des riverains.
- → En diversifiant les horaires.
- → Et, surtout, en diminuant drastiquement leurs coûts de maintenance.

Comment ?

- → En encourageant les fabricants à accélérer la mise sur le marché de modèles électriques les moins bruyants possibles pour l'ensemble des travaux.
- → En encourageant les entreprises et les loueurs à s'équiper et à mettre à disposition du matériel électrique à un prix attractif.

9. Voir LBSC : II. B. ❶ 1. « Conception juridique ».

- → En incitant fortement dès que possible à utiliser le matériel électrique pour le travail de nuit, quand l'alternative électrique est crédible, ou en soumettant les dérogations, notamment pour le travail de nuit, à l'utilisation d'engins électriques sur les chantiers concernés[10] puis en étendant cette obligation.
- → En conditionnant les contrats de fourniture d'électricité au développement et à la mise en œuvre de nouveaux systèmes d'alimentation et de recharge de batterie adaptées aux chantiers, plus pratiques, rapide et sécurisés.
- → En communicant largement sur l'électrification des chantiers pour rassurer les riverains, les constructeurs et les marchés.
- → En tirant parti des avantages donnés aux investissements verts et en favorisant de nouvelles sources de financement dans l'électrification des chantiers urbains.
- → En insistant pour que l'électrique soit préféré lors de l'achat de matériel neuf.

10. Pour obtenir une dérogation le chantier devra être électrifié de jour comme de nuit. Les camions ne pourront circuler que le jour ou en respectant une norme type Piek... etc.

d. De l'intérêt d'utiliser le matériel électrique

Le matériel électrique produit moins d'émissions polluantes, moins de gaz à effet de serre et moins de bruit que le matériel diesel.

Les nuisances envers les riverains diminuent et la qualité des conditions de travail des compagnons est considérablement améliorée : moins de fatigue, moins de stress, moins de malentendus, moins de malentendants, moins de maladies professionnelles, plus d'efficacité et de qualité.

Ajoutons que le matériel électrique demande également moins d'entretien[11] et permet une réduction des coûts de carburant car à l'achat, car à énergie égale, l'électricité est moins cher que le diesel[12]. Enfin les économies sur la taxe carbone en hausse[13] vont devenir de plus en plus significatives.

Pénétration actuelle sur le marché

Actuellement le matériel électrique sur les chantiers représente une infime partie des équipements sur le terrain.

Toutefois la plupart des grands fabricants d'équipement proposent des engins électriques et hybrides pour les chantiers. La plupart des marques de gros matériel de chantier mettent en avant l'hybride et l'électrique sur les salons.

Nous avons pu rencontrer et nous entretenir avec quelques acteurs du domaine sur le salon Intermat 2018. La star électrique du salon est sans aucun doute la pelle hydraulique sur pneus MECALAC « e12 »[14], un exemple d'innovation dans ce domaine.

11. Environ ¾ du coût d'un véhicule thermique selon une analyse coûts bénéfices des véhicules électriques du Commissariat général au développement durable.
12. Le coût de la consommation à énergie égale d'une voiture diesel est d'environ 3,5 fois supérieure à celui d'une voiture électrique.
13. En augmentation croissante : 86€/tonne en 2022, >100€/tonne en 2025.
14. https://www.mecalac.com/en/news-and-press/mecalac-e12-electric-wheel-excavator.html

Entièrement électrique, zéro émission, compacte, et offrant déjà des performances un peu meilleures que ses sœurs à motorisation thermique (12MTX), la « e12 » propose 8 heure[15] d'autonomie pour une puissance de 146 kW(h). Elle a déjà accumulé de nombreux prix[16], apporte des améliorations sérieuses de sécurité sur les chantiers et son moteur est SILENCIEUX. Selon son conducteur, elle apporte un confort et une précision inégalées pour l'utilisateur, on entend enfin les actions des vérins hydrauliques ce qui permet de contrôler les opérations également à l'oreille.

Éric Lepine, Directeur des Opérations chez Mecalac (Mécanique du Lac Groupe International basé à Annecy) fier de cette innovation explique :

> *« C'est une première mondiale dans cette catégorie de machine. Elle est équivalente à la 12 MTX, mais le moteur thermique est remplacé par un moteur électrique de puissance équivalente et des batteries. Nous réduisons les émissions polluantes de nos matériels qui respectent la norme EU Stage V[17], mais déjà des métropoles interdisent l'entrée des véhicules diesel et nous pensons que pour les chantiers urbains, qui sont au cœur de notre activité, l'électrification sera un plus important dans les prochaines années. La mise sur le marché de la « e12 » est prévue mi 2019. Nous travaillons au modèle de financement, notamment pour la gestion des batteries, probablement un système de location, un peu comme pour l'automobile, afin que le coût d'exploitation ne soit pas plus élevé que celui d'une machine diesel et que les batteries conservent pendant 8 ans au minimum 80% de leur capacité initiale de charge. Le chargement des batteries se fait sur une borne standard, la même que pour les voitures.*
>
> *L'investissement de départ étant actuellement environ deux fois plus élevé que pour un modèle diesel, il faut donc trouver de bons arguments commerciaux et d'autres avantages pour développer ce marché, faire baisser les coûts et réussir la transition vers l'électrique. Tous les avantages financiers et les incitations possibles peuvent y contribuer, comme par exemple la gratuité de la recharge des voitures électriques dans Paris. Enfin, la « e12 » offre de nouvelles fonctions d'automatisations et améliore la connexion des objets afin d'accélérer et mieux sécuriser ces opérations et nous entendons continuer à développer ces innovations. »*

15. Pour un temps de chargement de 6-7h.
16. Design Award of Bauma Innovation Award, Prix Intermat de l'Innovation.

17. La règlementation européenne Stage V, Regulation, 2016/1628 définit les limites d'émissions, de gaz polluants CO, HC, NOx PM PN, mais pas le niveau de bruit pour les NRE (Non Road Engines). https://www.dieselnet.com/standards/eu/nonroad.php

Autres exemples : Ausa crée la Chargeuse Électrique D100 AHA avec la Ville de Paris

À l'initiative de Mme la Maire Anne Hidalgo, la Ville de Paris a réuni différents acteurs de l'électrification pour leur demander de proposer des matériels électriques pour la ville. Parmi les mesures mises en œuvre, la Ville de Paris a commandé à l'entreprise Espagnole AUSA pour les parcs, jardins et entretien une soixantaine de dumpers à motorisation électrique. La D100 AHA est entièrement électrique et déplace une charge d'1tonne de terre, gravats… Hors l'électrification et l'absence d'émissions, la D100 AHA électrique a exactement les mêmes caractéristiques que la version diesel : même poids, même sécurité, mêmes standards.

Laurent Patry, responsable Commercial IDF explique lui aussi la situation actuelle d'une industrie innovante en recherche de nouveaux modèles industriels pour lancer leurs produits sur le marché international. Il appelle de ses vœux les loueurs à s'équiper, ainsi que les décideurs politiques et maîtres d'ouvrages des grands projets à s'engager. La meilleure façon d'accélérer la transition zéro émission est d'augmenter le volume des ventes de gros matériel électrique et hybride. Dès que les loueurs commanderont des centaines d'unités, les problèmes de nuisances des chantiers seront en grande partie résolus.

Le coût actuel d'un engin électrique de 2 à 3 fois supérieur aux versions diesels, est principalement dû à l'amortissement des études et aux pièces réalisés en petite quantités, mais si la demande et la production augmentent significativement et que le rapport coût / performances des batteries est amélioré, le prix baissera et les performances progresseront.

DMS réalise la motorisation électrique des mini pelles Takeuchi TB210, 216 et 235. Ces machines pas plus bruyantes qu'un lave-vaisselle, alimentés par câble commercialisés depuis les années 80 sont déjà déployés sur de nombreux chantiers notamment en Allemagne.

Matériel existant : offre début 2018

- → Mecalac : « e12 » électrique disponibilité sur le marché mi-2019
- → DMS Takeuchi TB210-216-235 Hybride
- → Ausa : Dumper électrique D100 AHA
- → Manitou : Nacelles hybrides et compactes électriques
- → Wacker Neuson : mini pelles, dumpers, chargeuses, pilonneuses électriques « zéro emission »,
- → Kramer de son côté propose la 5055^{e}, une chargeuse électrique sur roues

18. Système de récupération cinétique.

- → Komatsu : Pelles Hybrides HB 215LC et 365LC : Une batterie récupère l'énergie dès que c'est possible[18]. Elle alimente le moteur électrique et vient en appui du moteur diesel en cas de besoin d'énergie pour les pompes hydrauliques, lui permettant de tourner à bas régime constant et donc de produire moins de bruit. Le moteur électrique est également utilisé pour les rotations.
- → Hitachi : Pelles hybrides de taille moyenne sur chenilles ZH210LC-5 utilisent les mêmes procédés
- → Caterpillar : Chargeuse hybride hydraulique sur pneus 988K XE et bulldozer D7E
- → Kobelco : Grande pelle sur chenilles hybride SK210H
- → Colas Renault propose depuis 2009 Hybris un camion benne hybride
- → Cummins : Aeos semi-remorque électrique.
- → Liebherr : HS 8300 HD est une grue à flèche treillis hybride.
- → etc.

Afin de compléter cette liste et aider les entreprises à choisir des solutions matériel électrique, nous suggérons de créer et tenir à jour un site web avec la liste des machines hybrides et électrique existantes et en cours de développement, les mesures de bruit, les coûts, les retours d'utilisation, les investissements possibles dans leur développement…

19. https://www.volvoce.com/global/en/spirit-magazine/electrifying-research/

Le cas Volvo

Dès 2008 Volvo s'est lancée dans une politique offensive en matière d'électrification[19] avec un projet de chantier tout électrique dans les prochaines années et en partie robotisé. La marque propose de nouveaux modèles hybrides et électriques d'engins de chantier avec pour l'instant la des prototypes dont la mise sur le marché est attendue en 2020.

Le LX1 est un chargeur hybride de grande capacité sur pneus.
La pelle hydraulique multifonction EX02 est une pelle à chenille électrique efficace et silencieuse 38 kW/h. HX1 est une pelle hybride et HX2 un chargeur / benne électrique télécommandé. Le 17 novembre 2017, le Président Emmanuel Macron visitait le siège du groupe à Gothenburg et signait un accord de partenariat stratégique pour l'innovation, la transformation digitale et les solutions éco-durables.

20. Voir LBSC : II. B. ❶ 1. « Conception juridique ».

Perspectives 2020 à 2025

Le Grand Paris pourrait encourager le développement des engins électrique sur ses chantiers dans les prochaines années sous la forme d'un plan d'équipement pouvant donner lieu à une attribution de Points Bruit[20].

- → 2020 – 15% des engins bruyants et polluant en motorisations électriques sur les chantiers à proximité des riverains
- → 2025 – 50%
- → 2030 – 100%

e. Problèmes à résoudre

21. Voir LBSC : V. « Interviews », Jean-Noël Onfield.
22. Voir LBSC : III. C. ❶ 1. « Électrification ».

Alimentation

Des risques d'accident électriques existent si on laisse traîner des fils électriques sur les chantiers[21]. Il faudra donc trouver des solutions à ce problème.

- → Alimentation filaire hors des circulations et des zones de travail + engins autonomes sur batteries.
- → Systèmes de recharge rapides directement sur les chantiers[22].
- → Système d'échange de batteries sur le chantier.
- → Batteries mobiles sur roue.

Nouvelles techniques de batteries

Les batteries progressent de plus en plus vite. Ces dernières années, les publications scientifiques sur des nouvelles batterie se sont multipliées. Des constructeurs automobiles intègrent déjà des batteries plus performances que les lithium-ion actuelles dans leurs modèles pour 2020. Dans un horizon proche, les batteries coûteront moins cher qu'aujourd'hui, seront en mesure de délivrer des puissances plus fortes, se rechargeront en quelques minutes au lieu de quelques heures ; elles utiliseront également des matériaux plus courants et durables. Enfin, elles offriront un nombre de cycles de charge plus important. À chaque renouvellement des batteries d'un engin, on peut donc attendre des progrès importants. Les véhicules hybrides à récupération cinétique utilisent également des super condensateurs pour récupérer l'énergie, progressent très vite jusqu'à venir concurrencer les batteries sur certains secteurs.

23. La SGP a réalisé en Juillet 2018 sa première émission obligataire verte (GB) qui a attiré un grand nombres d'investisseurs. https://www.latribune.fr/regions/ile-de-france/un-green-bond-de-5-milliards-pour-financer-le-grand-paris-express-787307.html
24. www.usinenouvelle.com/editorial/les-fonds-verts-attirent-les-investisseurs-mais-doivent-trouver-plus-de-projets.N682044

Confiance des investisseurs

Le fait que le Grand Paris demande l'électrification d'une part des véhicules et engins de chantier aura vraisemblablement un effet d'accélération sur la transition écologique. Cet appel d'air permettrait notamment de faire appel à des fonds verts (Green Bonds) pour accélérer le remplacement rapide ou la location de matériel électrique[23].

↓

« Le marché des fonds verts européen a bondi de 49 % en 2017. Selon le centre d'étude de Novethic, les encours investis dans des actions et obligations cotées a atteint 32,2 milliards d'euros l'année dernière, après 22 milliards d'euros en 2016."[24]
Ce serait une question à approfondir avec des experts.

Pour consolider la confiance des investisseurs, il est important :

1

De consolider les obligations environnementales sur les chantiers par l'incitation, la jurisprudence et l'obligation contractuelle

2

D'étendre l'échelle du marché des chantiers éco-durables.

La SGP pourrait initier ou collaborer à un label environnemental européen pour ses chantiers.[25]

Les Entreprises de Génie Civiles internationales pourraient s'unir autour d'une charte environnementale et offrir de meilleures garanties.

Chantiers de nuits complètement silencieux.

Avec l'électrification à 100%, l'obtention de dérogations pour le travail de nuit (passage en 3 postes) pourrait être soumise à une régulation / label de silence des chantier Grand Paris :

- → 100% électrique et donc beaucoup plus silencieux. Durées maximum et volumes d'émission contrôlées et sanctionnées[26].
- → Vérification des niveaux à la source[27] et alertes en temps réel sur le chantier[28].
- → Dispositifs de silencieux, encoffrement d'activités.
- → Sécurité accrue des travailleurs.

Moteur plus silencieux

Attention, les moteurs électriques ne sont pas toujours silencieux, surtout pour les fortes puissances qui ont besoin de refroidissement. Les causes de vibration et donc de bruit dans un moteur électrique sont principalement dues aux :

25. Voir LBSC : II. B. ❷ 1. « Engagements de garantie de Chantier moins-nuisant ».

26. Voir LBSC : II. B. ❷ 2. b. « Certificat de licence pour les livraison de nuit ».
27. Voir LBSC : II. C. 4. « La Sentinelle ».
28. Voir LBSC : II. C. 5. « Les Acousticks ».

- → Bruits d'origine aérodynamiques, lesquels prennent naissance dans les systèmes de ventilation et dans les parties tournantes des moteurs, comme, par exemple, les têtes de bobines.
- → Bruits d'origine mécanique, essentiellement dus aux :
  - → Chocs de roulements,
  - → Frottements de paliers,
  - → Déséquilibres de l'ensemble mobile.
- → Bruits d'origine magnétique, qui ont pour origine les ondulations du champ magnétique et les vibrations induites par la commutation.[29]

Il existe des solutions pour réduire chacun de ses bruits et il est aujourd'hui possible de réaliser des moteurs électriques très petits, très puissants et très silencieux.

↓

Les mesures précises et complètes de bruit d'engins de chantier sont trop rarement disponibles sur les fiches techniques et les vidéos publicitaires pour les engins électriques sont trop souvent couvertes d'une musique musclée empêchant d'évaluer l'ambiance du chantier améliorée par la motorisation électrique.

29. Acoustique Industrielle : Bruiteurs par Jean Catalifaud – Metravib RDS, https://studylibfr.com/doc/1912259/f---altracustica https://docplayer.fr/13848262-Acoustique-industrielle-bruiteurs.html

2. Une hydrofraise électrique

Revue Internationale des pratiques de réduction des nuisances sonores sur les chantiers métropolitains
V – Solutions Techniques

Article relu par Stéphane Monleau (SB)

a. Électrification des engins de chantier

L'un des principaux engins de chantier participant au creusement des gares et des puits du Grand Paris Express est l'Hydrofraise. Son rôle est de forer les parois moulées. C'est un engin important, qui travaille en permanence, et qui donc produit du bruit en continu. Il participe ainsi à la production de nuisances sonores. L'origine du bruit n'est pas le forage qui se fait dans le sol, ni même les manœuvres, mais le moteur diesel et son refroidissement aérien. Une Hydrofraise électrique a cependant été testée récemment. Moins bruyante, elle présente néanmoins d'autres contraintes.

Les Hydrofraises, inventées dans les années 70 par Soletanche Bachy, sont une technologie innovante française, source de fierté nationale : elles sont maintenant utilisées dans le monde entier. Elles sont l'un des principaux instruments de la technique des parois moulées et sont déployées sur tous les chantiers de creusement des gares et puits d'aération du Grand Paris Express. Le principe : creuser autour de la future excavation des panneaux de 0,5 m à 1,8 m d'épaisseur et de 3 à 7 m de longueur sur la profondeur (entre 25 et 80 m). Puis introduire dans chaque panneau des cages d'armature et remplir le panneau de béton. Les panneaux peuvent être réalisés successivement ou au rythme d'un panneau sur deux (primaire) en venant ensuite forer le panneau secondaire[1].

Cependant les Hydrofraises du Grand Paris Express sont actuellement équipées d'un power pack diesel. Elles ont besoin d'une grande puissance : sols compacts, panneaux profonds, … Elles émettent donc un bruit continu pendant la durée du poste de travail, sur des périodes pouvant atteindre plusieurs mois. Elles participent donc à la production d'émissions sonores sur les chantiers du Grand Paris Express.

1. Ce qui implique de déplacer l'hydrofraise de manière non linéaire d'un panneau à l'autre.

b. L'Hydrofraise électrique du chantier londonien de Thames Tideway

Le tunnel Thames Tideway est un nouvel égout de 25 km traversant Londres de l'Ouest vers l'Est. Il doit permettre d'éviter le rejet des eaux usées dans le fleuve. Sa livraison est prévue en 2023.

Bachy Soletanche Ltd, filiale britannique du groupe Soletanche Bachy dont la filiale française travaille pour le projet du Grand Paris Express, a utilisé récemment une Hydrofraise qui se déplace sur le chantier avec un moteur diesel et qui, une fois en place, fore les parois moulées avec son moteur électrique.

« Le power pack, organe fournissant la puissance hydraulique pour les moteurs des outils de coupe et la pompe, est directement alimenté électriquement. L'électricité est prélevée sur un réseau haute tension pour être ensuite transformée en 400 V sur chantier. Cette Hydrofraise, utilisée pour réaliser des puits sur le projet de Thames Tideway Tunnel est non seulement plus respectueuse de l'environnement, mais aussi plus silencieuse que les modèles conventionnels avec un fonctionnement thermique. »[2]

L'un des responsables du projet de la version électrique, Bertrand Capelle (Soletanche Bachy International), estime que la réduction du bruit entre la version diesel et la version électrique est très significative. La demande de réduction de bruit était venue du client. Des solutions de confinement, déjà utilisés dans le passé à Singapour par exemple, avaient été envisagées, avant de développer une solution électrique.

SBI a travaillé avec des partenaires européens pour la motorisation électrique. Le bruit résiduel est minime et dû aux ventilateurs de refroidissement des huiles hydrauliques. Lorsque les ventilateurs tournent à plein régime, le bruit reste inférieur au bruit de la version diesel.

Pour l'instant, ce prototype n'a encore été utilisé qu'à Londres pour le chantier de projet Thames Tideway. Le magazine en ligne Construction News[3] avait annoncé, le 8 février 2018, le succès de cette expérience. Une Hydrofraise capotée avec des isolants acoustiques[4], mais diesel et très volumineuse, sera utilisée sur deux autres sites du même projet. Si de nouveaux chantiers se présentent avec de fortes contraintes de bruit, le power pack électrique pourrait être remis en circulation assez facilement.

2. Ref. journal interne Solétanche Bachy.

3. https://www.constructionnews.co.uk/events/cn-specialists-awards/innovation-of-the-year-contractor-finalists/10027644.article

4. Comme à Singapour où une hydrofraise a été équipée de bâches acoustiques sur les passerelles pour réduire les bruits.

Cette première est une réussite européenne : commandée pour un projet au Royaume-Uni, pilotée par une entreprise française, avec un moteur européen. L'une des premières difficultés d'utilisation des Hydrofraises électriques est la mobilité réduite due à la présence des câbles d'alimentation. Des solutions sont encore à étudier. Une autre difficulté sur Thames Tideaway a été la gestion de l'alimentation électrique sur le chantier, compliquée par le manque de visibilité en amont, les fournisseurs d'électricité, les incompatibilités de normes techniques anglaises…

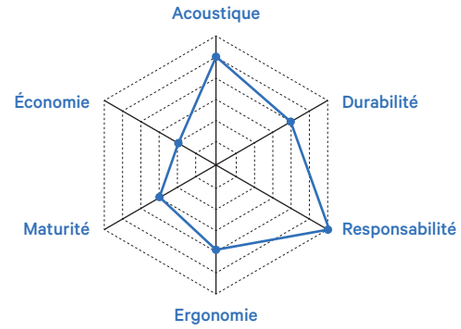
À ce propos, Bertrand Capelle conclut « actuellement, c'est plutôt adapté pour faire des puits, à condition de pouvoir trouver facilement et rapidement la puissance électrique sur le réseau ! »
Le développement des solutions à motorisation électrique implique d'améliorer la disponibilité de fortes puissances électriques sur les chantiers[5]. Une découverte en appelle souvent d'autres.

Communiquer sur les innovations, c'est encourager les entreprises, et ainsi contribuer à ce que les futurs chantiers du Grand Paris Express et d'autres chantiers dans le monde bénéficient de ces avancées. Cette avancée montre que les chantiers pourraient produire moins de bruit, tout en restant performants et plus sures.

5. Voir LBSC : III. C. ❶ 2. « Une hydrofraise électrique ».

3. Alimentation électrique des chantiers et sur les chantiers

ÉVALUATION



Acoustique : bonne efficacité sur les bruits moteur, pas sur les bruits d'actions généralement moins présents.
Économie : dépenses potentiellement importantes pour adapter et remplacer les équipements existants.
Maturité : travail d'adaptations.
Ergonomie : contraintes d'utilisation, de chargement électriques et d'alimentation par câbles.
Responsabilité : écologique.
Durabilité : investissements durables.

L'électrification des chantiers se fait attendre. Alors que sur les chantiers urbains la plupart des engins sont encore diesels, les dispositifs électriques sont malheureusement trop souvent alimentés en électricité par des groupes électrogènes. Elle pourrait bientôt être améliorée par des dispositifs nouveaux et relayés par des batteries.

Les batteries deviennent chaque année plus légères, plus puissantes, plus durables et moins polluantes[1]. Elles peuvent être utilisées directement sur les machines de petite taille et de taille moyenne comme des compacteurs des marteaux piqueurs.

1. Les batteries Aluminium Air, par exemple, offrent des performances intéressantes pour les prochaines générations de machines. https://en.wikipedia.org/wiki/Aluminium–air_battery

Les groupes électrogènes de petites et moyennes puissances pourront également être bientôt remplacés par des stations Powerpack électriques mobiles, complètement silencieuses et zéro émission.

Ces appareils fonctionneraient comme des chariots à batteries roulants. Ils contiendraient un ensemble d'unités de batteries indépendantes, pouvant être chargés toutes ensemble, en branchant la station sur le secteur, ou séparément en amenant une unité de batterie dans un rack de chargement.

On trouve dès aujourd'hui à des prix accessibles des unités de batteries offrant individuellement une puissance de plusieurs kilo Volts Ampères. Il est donc envisageable de remplacer progressivement les groupes électrogènes par ce type d'appareils. Le poste de recharge deviendra probablement un espace dédié sur le chantier.

a. Distribution électrique à l'intérieur des chantiers

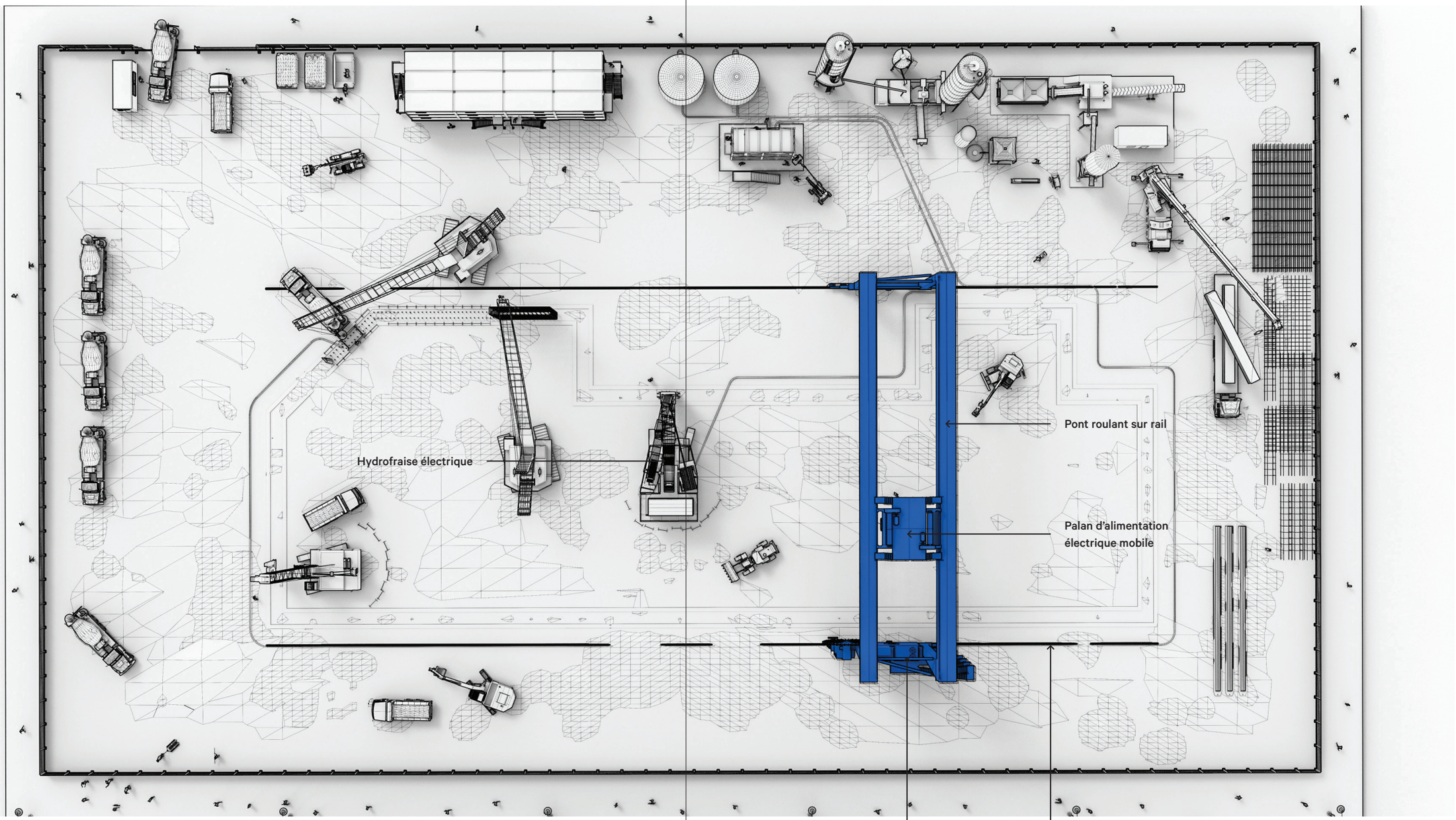
Les fournisseurs d'électricité apportent, quand c'est possible, le courant sur le chantier sous la forme d'armoires électriques, mais le branchement des engins reste à la charge des entreprises de génie civil. Est-ce la meilleure solution ? N'y-aurait-il d'autres moyens et de nouvelles techniques susceptibles d'améliorer la distribution de courant, la sécurité, la gestion des ressources électriques aux différents engins du chantier ?

Voilà quelques questions pour lesquelles nous tentons d'esquisser des éléments de réponses :

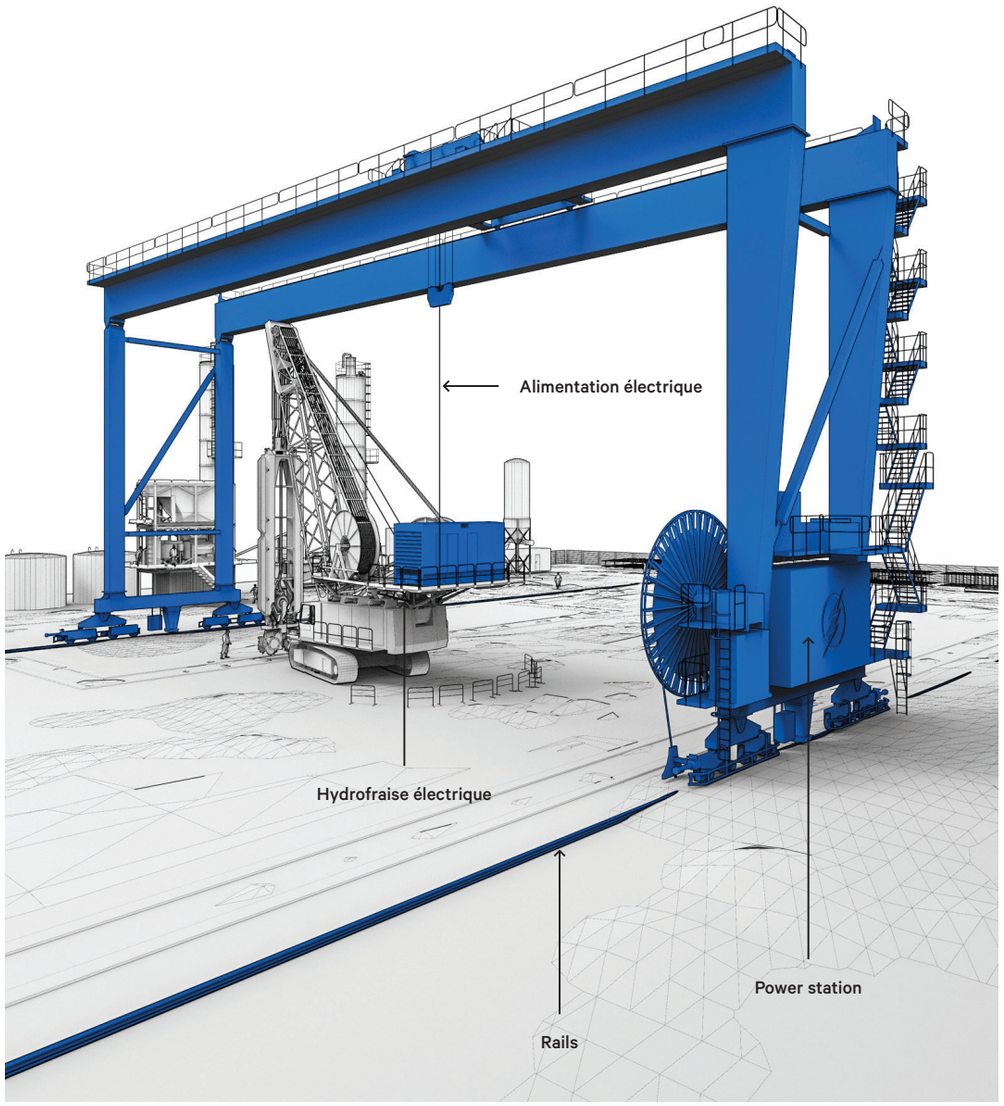
- → Actuellement tous les chantiers urbains ne sont pas reliés au secteur ce qui constitue une cause de pollution.
- → Comment systématiser l'alimentation électrique des chantiers ?
- → Où et comment recharger les batteries des matériels électriques ?
- → Où et comment parquer les engins à motorisation électrique en charge ?
- → Comment amener le courant de forte puissance sur des gros engins mobiles, sans risques pour le personnel des chantiers ?
- → Comment sécuriser les transports de courant vers des engins éclectiques mobiles ?
- → Comment alimenter une hydrofraise électrique mobile sans avoir câbles qui traînent ?
- → Peut-on sans risque accru alimenter par le haut depuis un pont roulant, une grue ou un poteau central ?

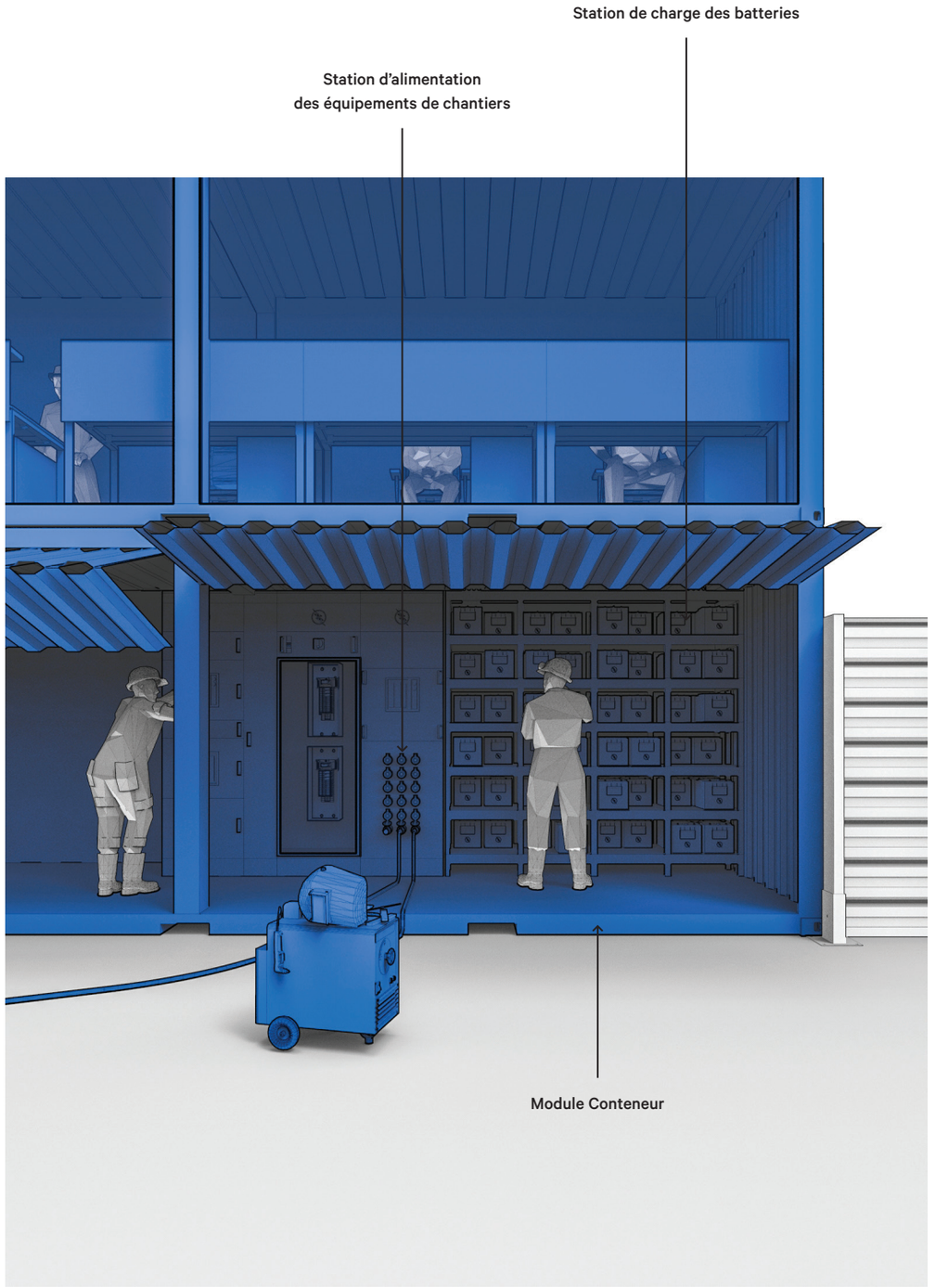
Une solution intéressante pourrait être d'utiliser des ponts roulants comme stations d'alimentations électriques mobiles, qui offrent plusieurs avantages :

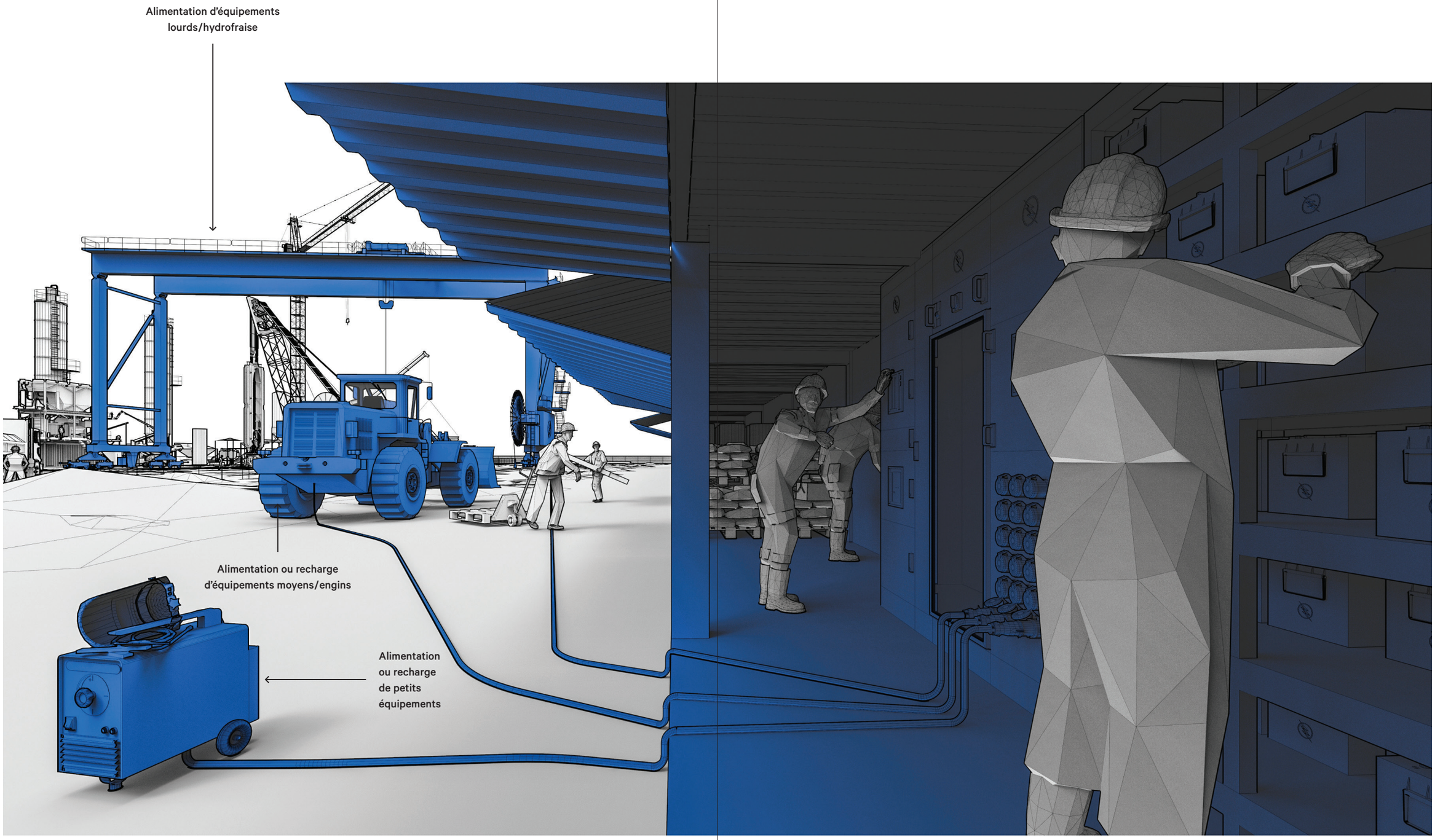
- → S'affranchir des problèmes de câble sur les chantiers grâce à des alimentations aériennes.
- → Remplacement les grues en étendant le rayon d'action.
- → Utilisation des ponts pour le déplacement et la mise en place de boucliers acoustiques.



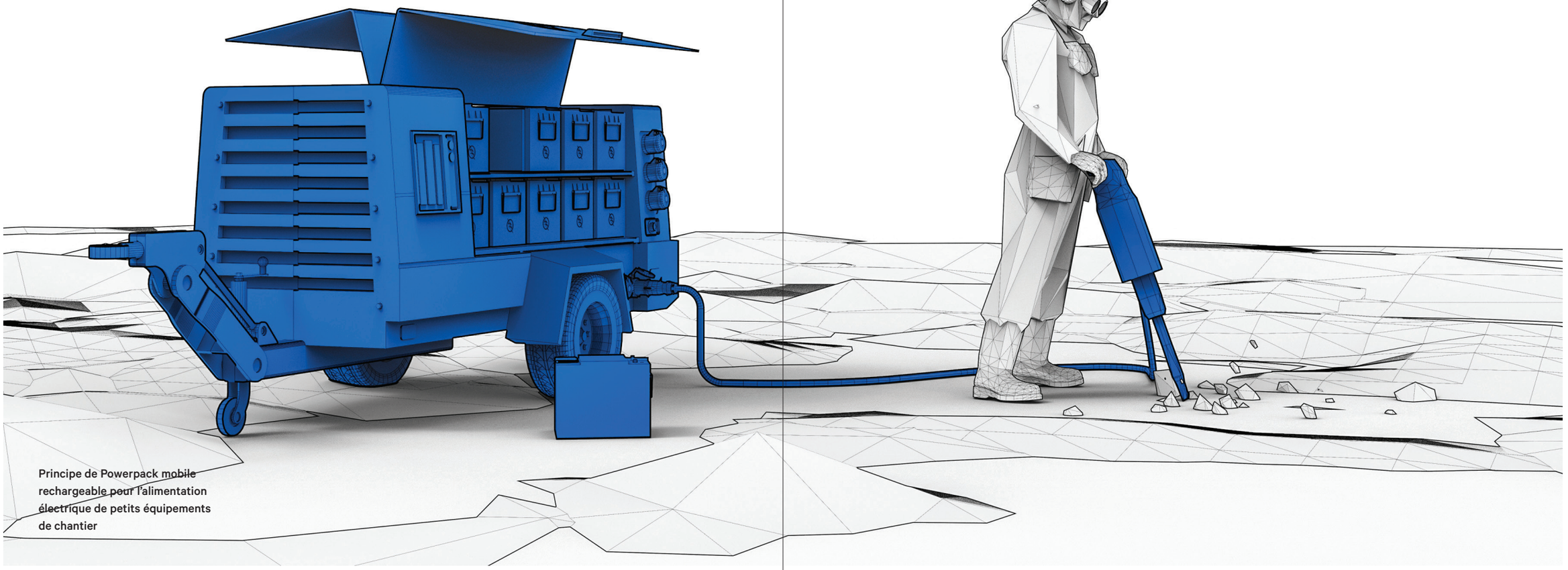
III. Méthodes et solutions pendant le chantier
C. Solutions innovantes à développer
❶ À la source du bruit
3. Alimentation électrique des chantiers et sur les chantiers : station mobile


Alimentation électrique
Hydrofraise électrique
Power station
Rails


Station de charge des batteries
Station d'alimentation des équipements de chantiers
Module Conteneur

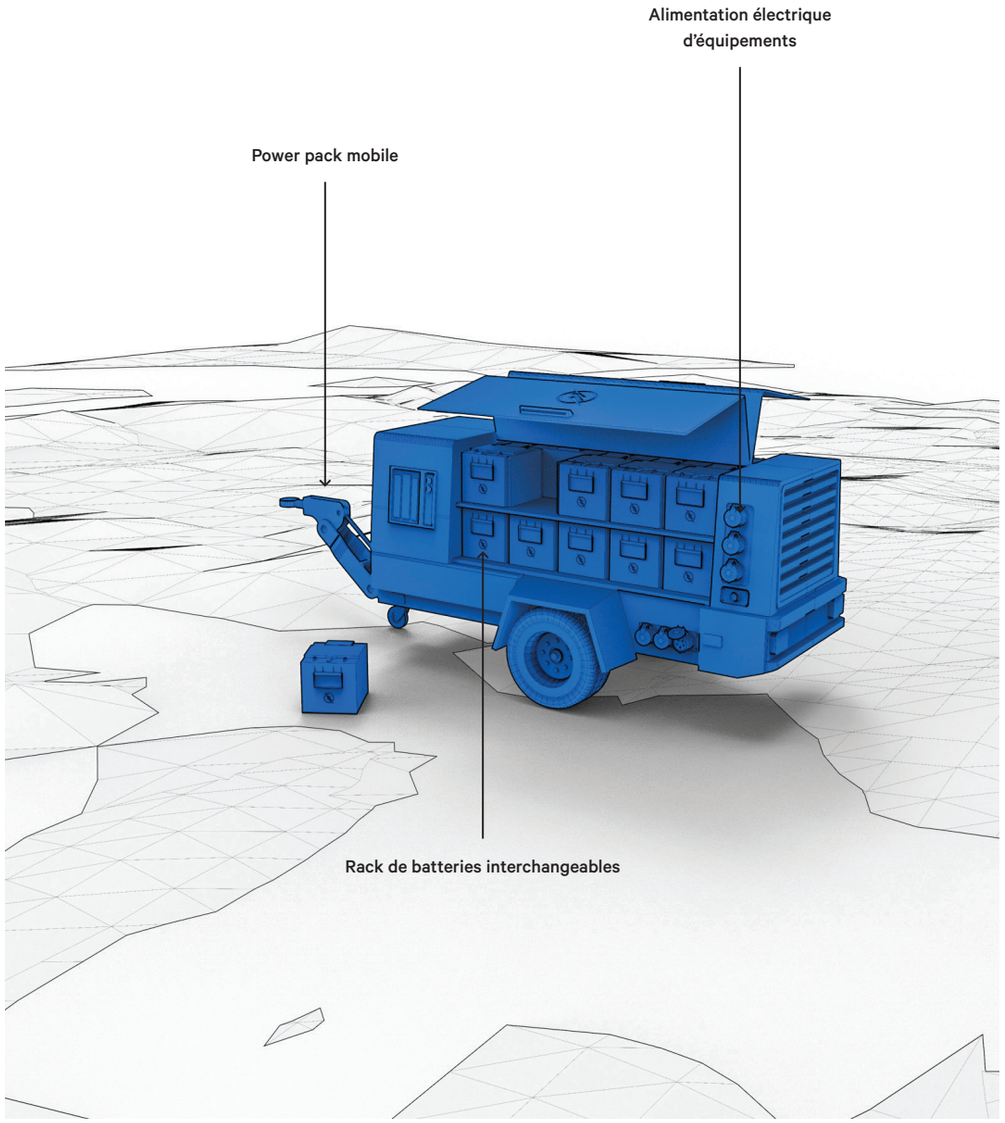


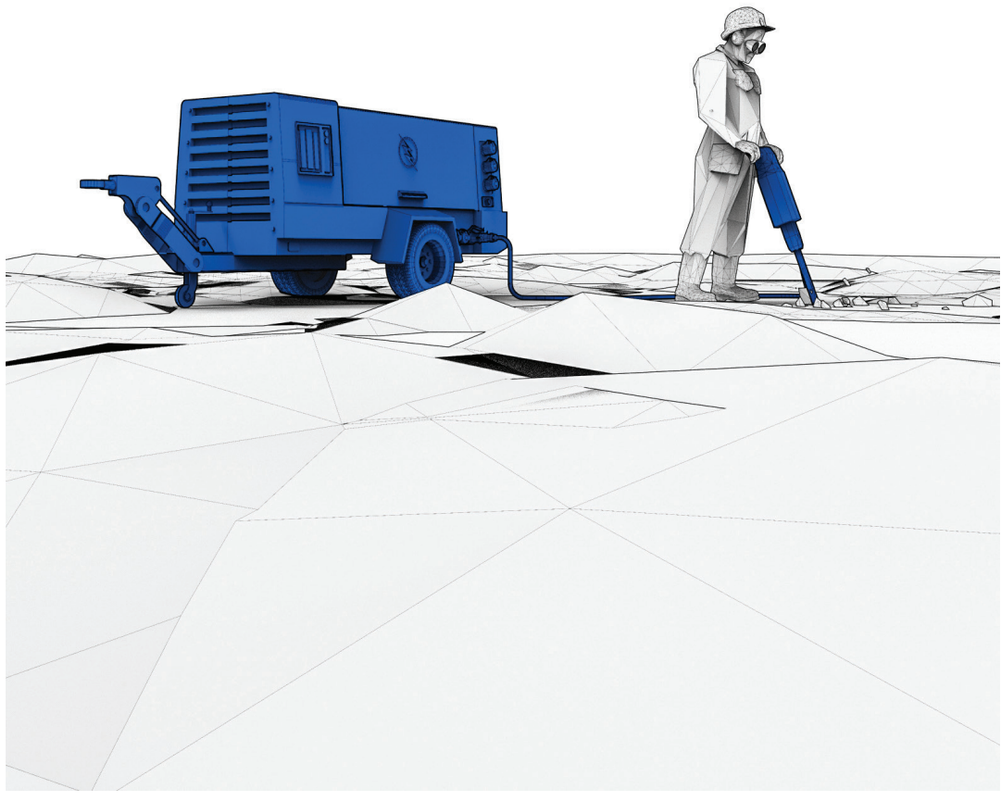
III. Méthodes et solutions pendant le chantier
C. Solutions innovantes à développer
❶ À la source du bruit
3. Alimentation électrique des chantiers et sur les chantiers : station fixe



Principe de Powerpack mobile rechargeable pour l'alimentation électrique de petits équipements de chantier

III. Méthodes et solutions pendant le chantier
C. Solutions innovantes à développer
❶ À la source du bruit
3. Alimentation électrique des chantiers et sur les chantiers : Powerpack mobile

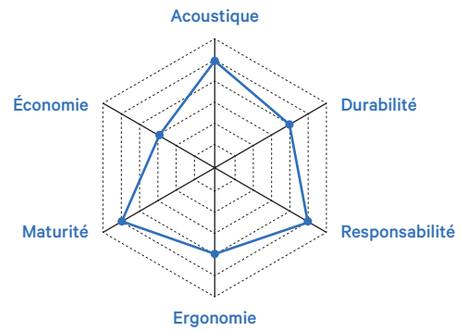

Alimentation électrique d'équipements
Power pack mobile
Rack de batteries interchangeables



2 À la transmission du bruit

1. Popup Box : des conteneurs acoustiques multifonctionnels

ÉVALUATION



Acoustique : bonne efficacité sur la transmission sonore.
Économie : mise en œuvre potentiellement coûteuse.
Maturité : dispositifs déjà utilisés, à améliorer.
Ergonomie : Relativement simples et utiles.
Responsabilité : recyclage d'éléments existants, vertue sociale et de communication.
Durabilité : réutilisation et durabilité pas toujours assurée.

a. Des conteneurs multifonctionnels pour réduire les nuisances sonores et connecter le chantier à la vie de quartier : de la coupure à la Couture

Les conteneurs offrent des possibilités de constructions modulaires pour réaliser les bases-vie des chantiers ou d'autres ouvrages. Judicieusement disposés en forme de mur antibruit, ils peuvent être utilisés pour réduire les nuisances des chantiers comme dans l'article III. B. ❷ 1. c. « Cas des conteneurs maritimes et baraquements de chantier ». Sur les chantiers du Grand Paris Express, les Bases de Vie sont déjà souvent placées entre le chantier et les riverains. La Popup Box propose d'aller plus loin et de tirer parti des possibilités multifonctionnelles de ces modules pour réaliser, quand le terrain s'y prête, une couture urbaine entre les habitions et le chantier.

La Popup Box est une barrière acoustique formée par l'empilement de conteneurs en limite de chantier. L'intérieur des conteneurs intègre des fonctions complémentaires au lieu de garder ces grands volumes vides.

Les parois sont acoustiquement isolantes et de préférence revêtues d'absorbants coté chantier comme à l'intérieur des boites. Les faces côté rue sont transparentes (verre ou polycarbonate) pour laisser entrer la lumière et offrir une vision sur l'extérieur.

b. Architecture et usage

Un enjeu de confort urbain (protection acoustique des bâtiments face au chantier) mais aussi et surtout un enjeu social

→ Créer une couture urbaine plutôt qu'une coupure urbaine.
→ Participer à la vie de la cité.

Certains conteneurs sont orientés avec la face ouvrante vers le chantier. Ils servent de base de vie et offrent d'autres ressources pour le chantier

→ Utilisation de ces conteneurs pour l'intégration des bases vies
→ Possibilité d'utiliser l'intérieur des conteneurs pour stocker et protéger le matériel de chantier
→ Optimisation et rentabilité de l'emprise au sol.

Fonction possible des conteneurs

→ Conteneurs simples (vide) de remplissage
→ Conteneurs escalier pour l'accès aux étages supérieur
→ Fermés / ouverts, vitrés / opaques...

c. Conteneurs multifonctions

Info Box
Conteneurs dédiés à l'information sur le chantier, espace de rencontre avec l'agent de proximité, situé en rez-de-chaussée.

Shop Box
Boutiques éphémères, en rez-de-chaussée, louées par la SGP à des commerçants.

Social Box
Conteneur dédié aux services de proximité, point chaud pour SDF, espace enfants, PMI, info quartier, dépose-minute... 1er étage, salles de réunion riverains – collectivités – associations de quartier, évènements culturels...

Coworking Box
Conteneur de bureaux sous forme d'espace de Coworking, ateliers ou FabLabs en location, 3e et 4e étages.

Building Box
Conteneur mis à disposition du chantier. Accès seulement côté chantier : stockage, sécurisation du matériel, base vie, abris. Conteneurs ateliers traités acoustiquement pour la découpe métal ou autres activités bruyantes. Alimentation haute tension – recharge des batteries de chantier.

Power Box
Alimentation électrique : arrivée haute tension, distribution d'électricité depuis un conteneur spécial sécurisé. Branchement extérieur ou dans un conteneur annexe pour la recharge des engins et de batteries de chantier.

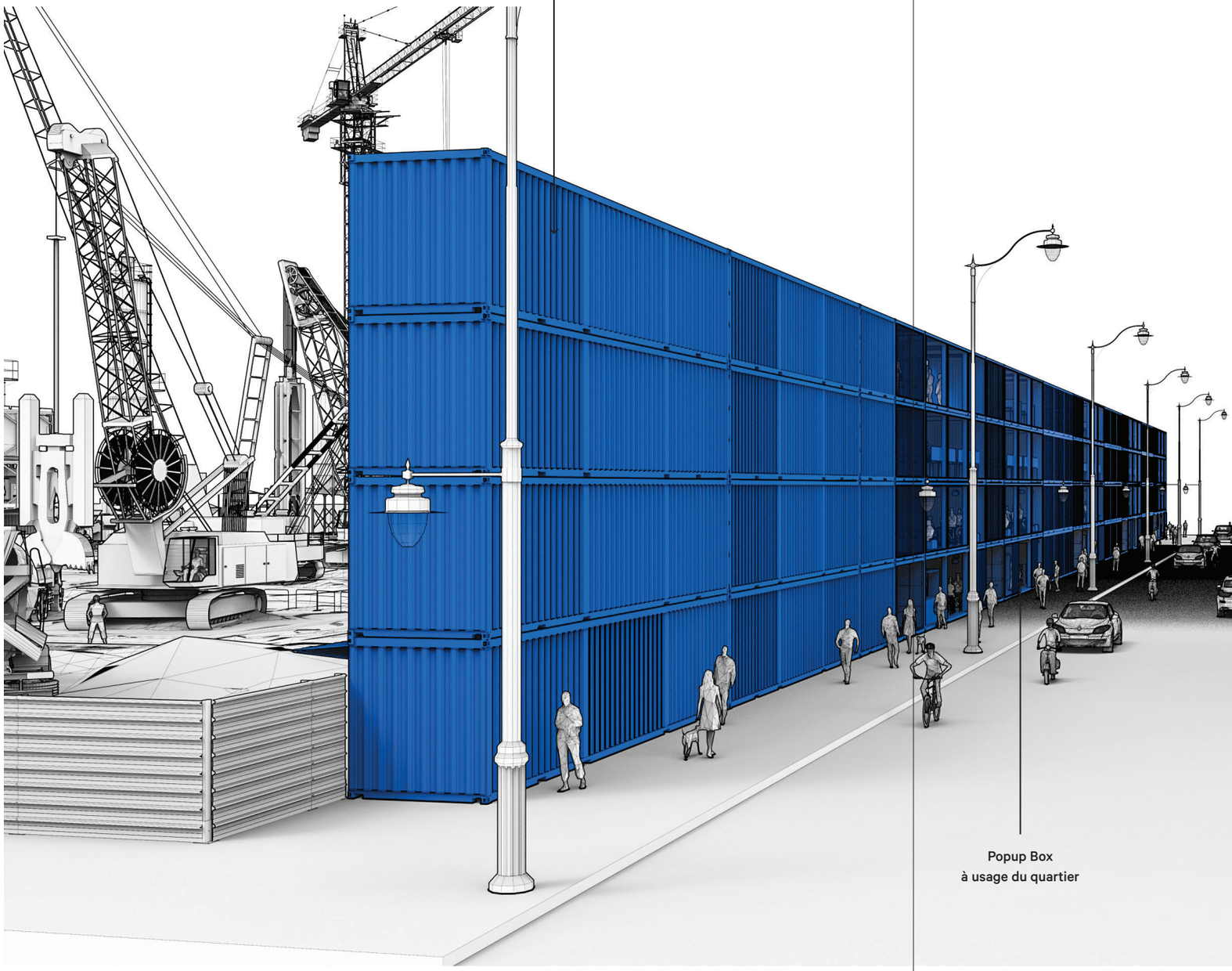
Isolation phonique et thermique
Une bonne isolation à la fois phonique et thermique est nécessaire : atténuation des bruits provenant du chantier par une double peau absorbante coté chantier. La face intérieure des conteneurs est isolée thermiquement et phoniquement par un revêtement adapté aux différents usages de chaque conteneur.

Belvédère Box
Conteneur offrant une vision panoramique sur le chantier) | 4e étage.

Fonctions de vie
Éclairage chantier et coté rue en hauteur.

Water Box
Alimentation en eau, toilettes, cuisine...

Identité
Des conteneurs bleus pour une identification SGP.
Une belle surface de communication : la face fermée côté rue des parties accessibles côté chantier peut être dédiée à l'affichage et à la communication SGP, ou bien être utilisée comme support d'information, de publicité ou de projection les soirs d'été ... offrant ainsi un modèle économique possible.


Popup Box
à usage du chantier

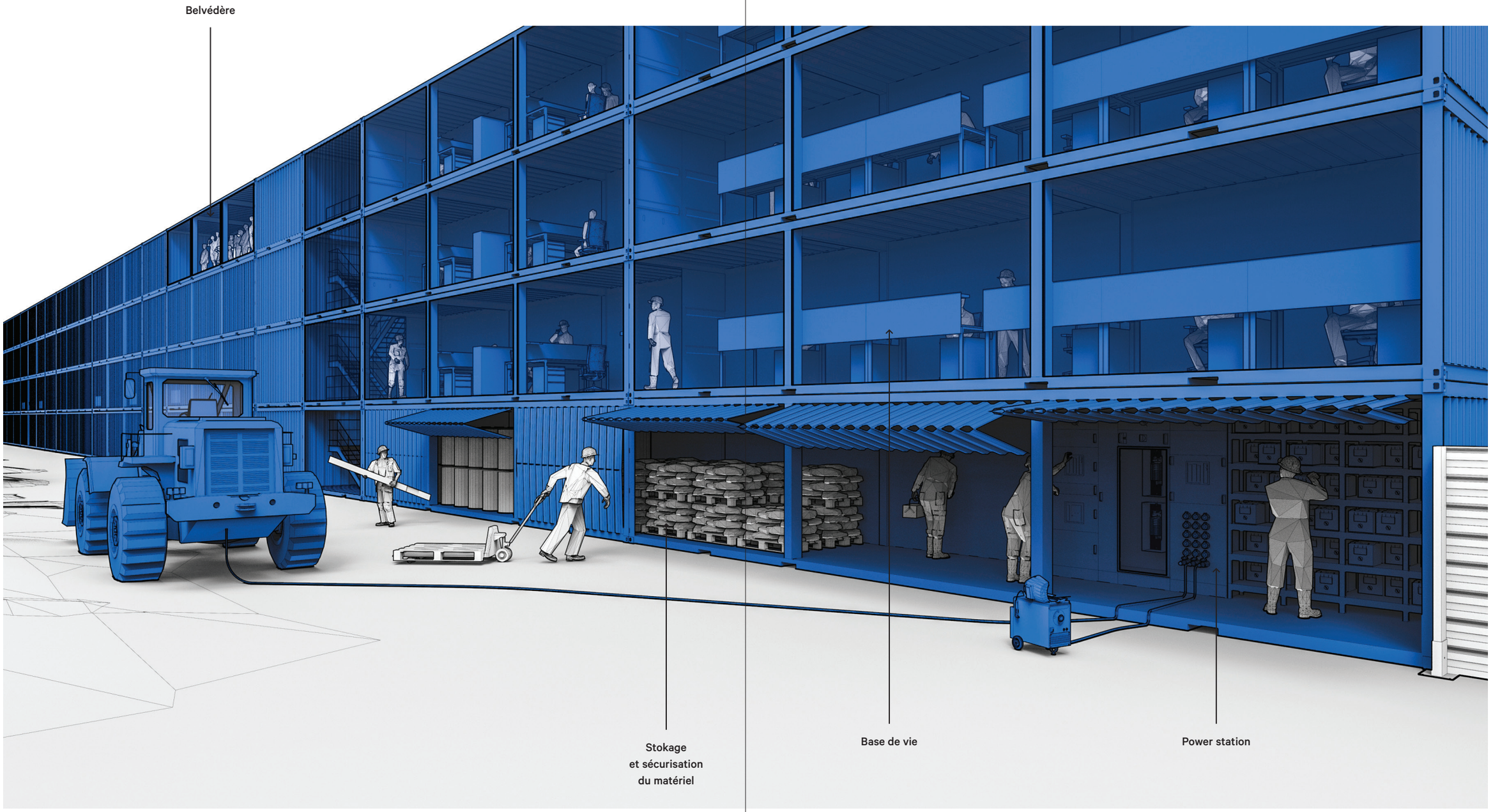
Popup Box
à usage du quartier

RDC = Pop up stores, cafés & info chantier
R+1 = Social box
R+2 et R+3 = Cow working box

III. Méthodes et solutions pendant le chantier
C. Solutions innovantes à développer
❷ À la transmission du bruit
1. Popup Box : des conteneurs acoustiques multifonctionnels à usage du quartier

Le belvédère

III. Méthodes et solutions pendant le chantier
C. Solutions innovantes à développer
❷ À la transmission du bruit
1. Popup Box : des conteneurs acoustiques multifonctionnels à usage du quartier



III. Méthodes et solutions pendant le chantier
C. Solutions innovantes à développer
❷ À la transmission du bruit
1. Popup Box : des conteneurs acoustiques multifonctionnels à usage du chantier

2. Habillages isolants modulaires

Cloisonner temporairement les activités les plus bruyantes est un bon moyen de circonscrire le bruit. Mais les configurations des chantiers étant souvent très différentes, il n'y a pas de solution simple ni universelle. C'est pourquoi le LBSC propose différents dispositifs pratiques répondant aux usages les plus fréquents.

Des revêtements acoustiques de palissades de chantiers efficaces existent, mais les chantiers préfèrent souvent par économie installer des bâches portant l'inscription « acoustique »., mais dont l'efficacité est minime.

La plupart des fonctionnalités de montage pourraient être traitées avec un même assemblage de matériaux, voire un matériau unique. Ce matériau doit être :

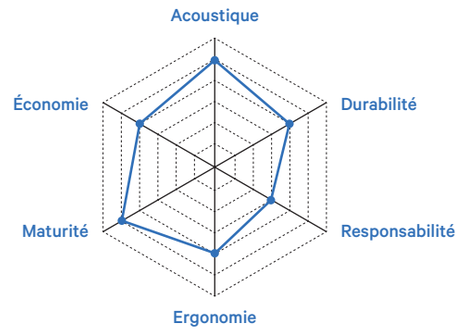
- → **Absorbant** coté source de bruit.
- → **Isolant** coté opposé, donc d'une certaine masse : notre recommandation entre 5 et 15 kg par m².
- → Facile à **mettre en œuvre** : accrochage, transport et stockage facile.
- → **Réutilisable**.
- → **Adaptable** aux différents contextes d'usage, possibilité de chaînage et d'assemblage permettant de composer des surfaces de différents formats.
- → **Souple**.
- → **Robuste**, durable, résistant à la poussière, aux chocs, aux débris, à l'eau et aux UV.
- → **Imprimable** afin de l'utiliser directement comme support de communication, sans altération de la qualité acoustique.

Nous développons dans ce chapitre 4 propositions adaptés à un ensemble de situations d'usage :

- → Cloisonnements temporaires.
- → Corridors acoustiques.
- → Encoffrements.
- → Palissades en périphérie de chantier.

a. Encoffrements

ÉVALUATION

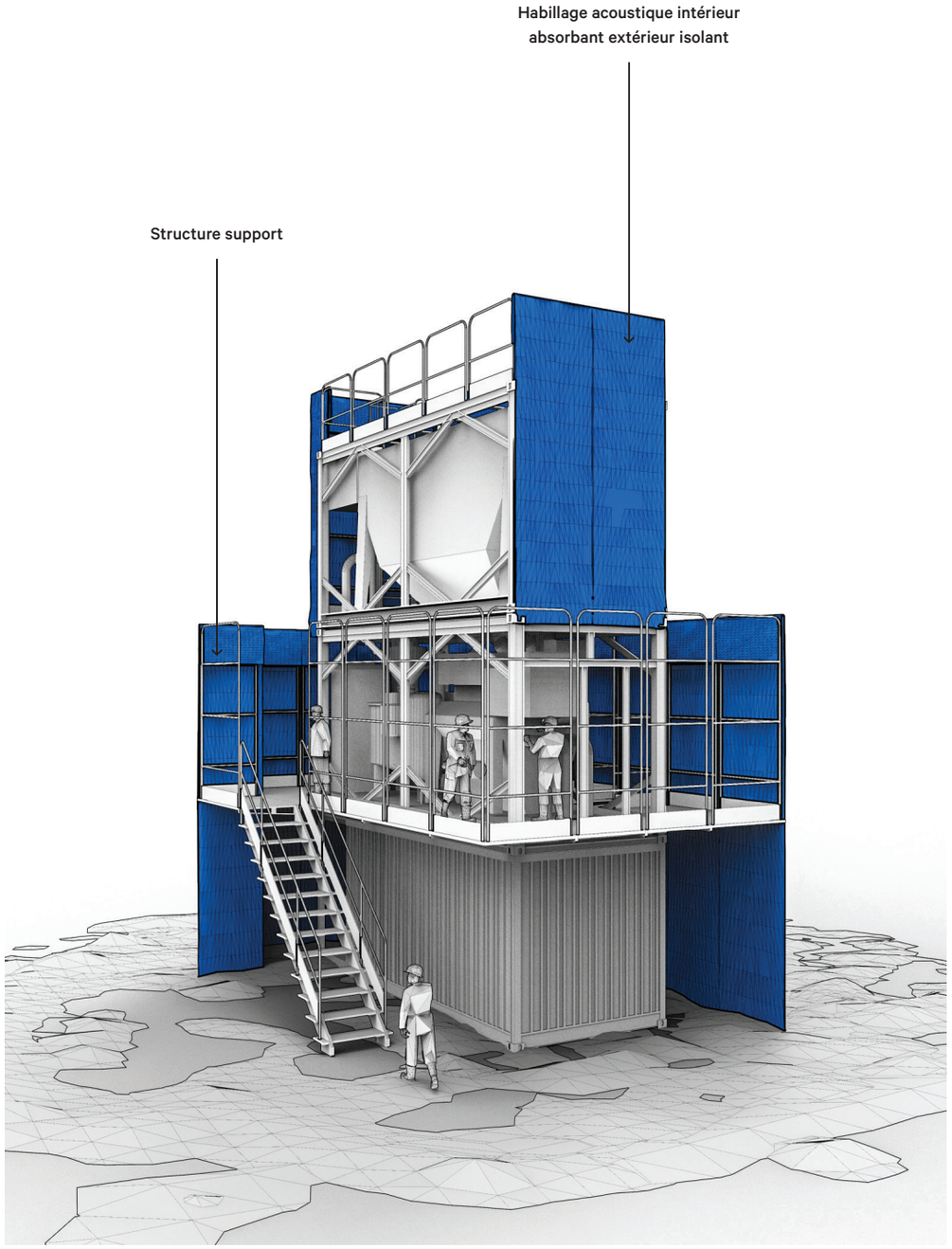


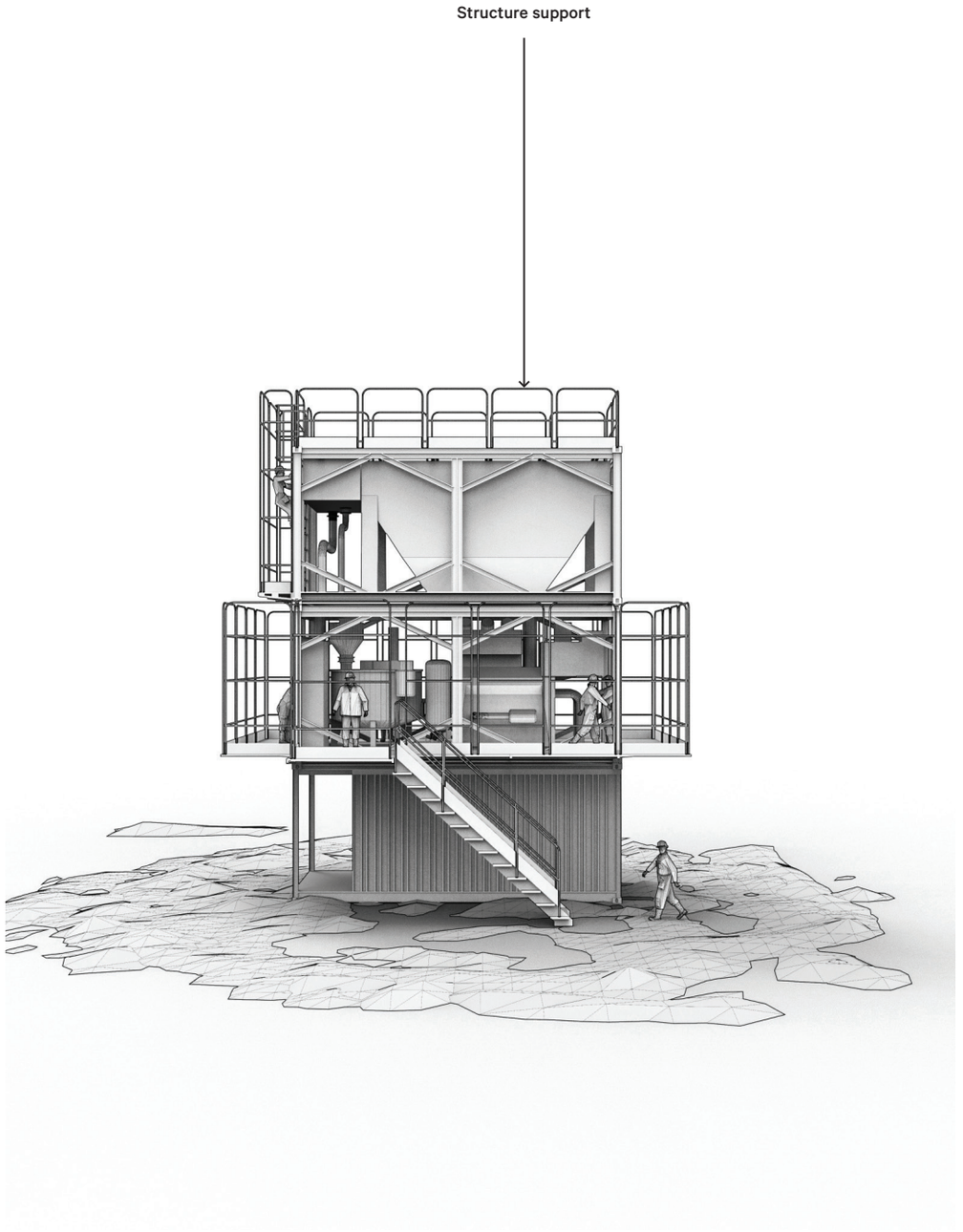
Acoustique : bonne atténiation à la source.
Économie : coûts variables.
Maturité : dispositifs existants adaptables aux chantiers.
Ergonomie : difficiles à adapter et à manipuler.
Responsabilité : impact assez neutre.
Durabilité : réutilisations possibles.

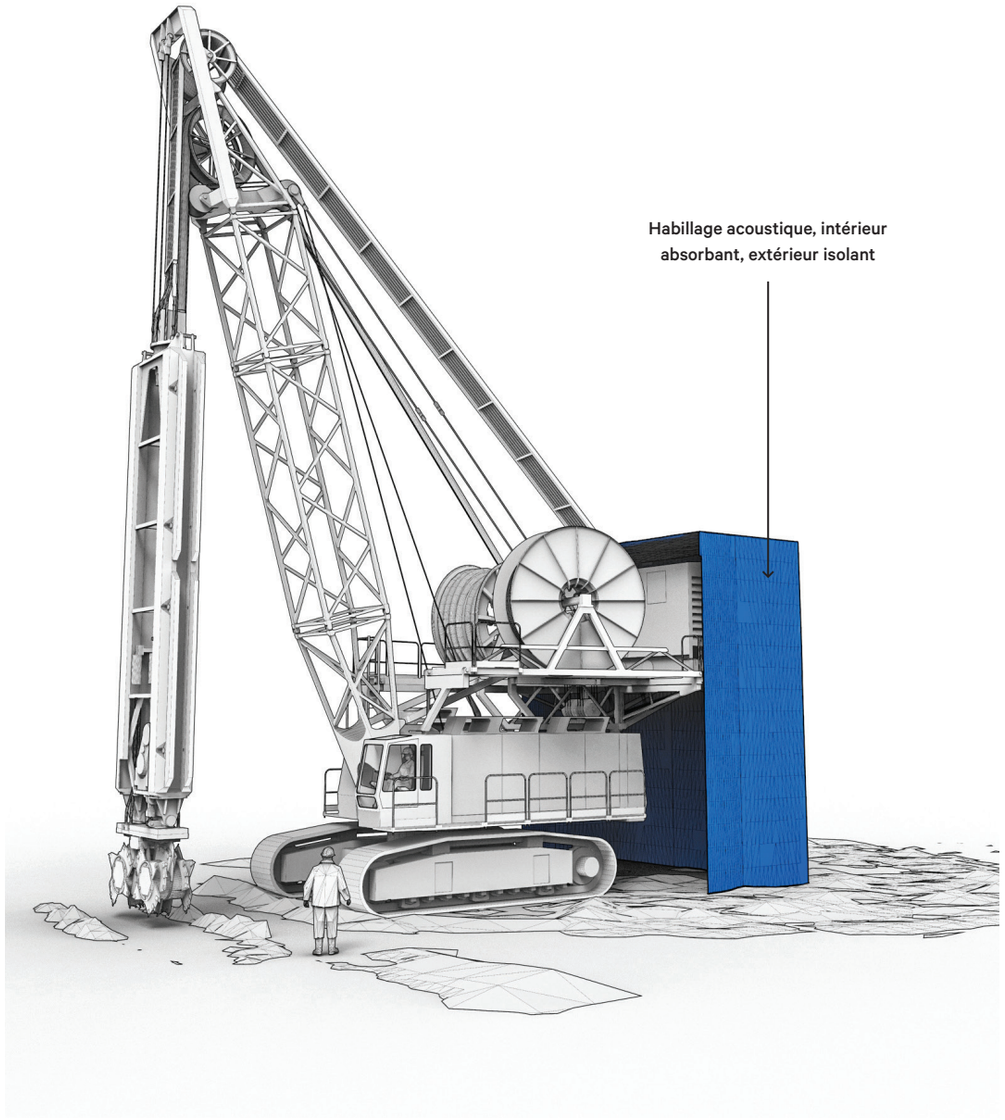
Dispositif type harnachement ou couverture enveloppante pour capotage d'engin bruyant ou d'activité locale comme les pompes, powerpack, centrales à boue, centrales à béton...

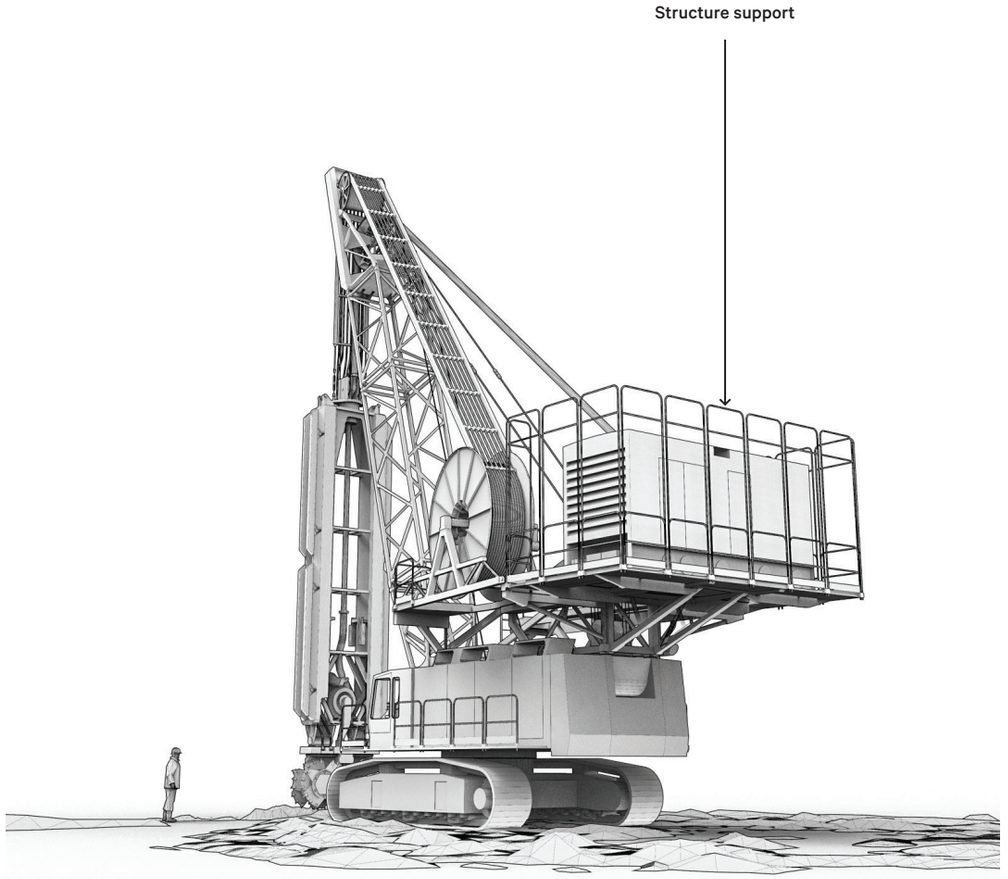
Pour les Centrales à Boues, qui sont une des principales sources de bruit des chantiers, nous remplaçons les gardes corps tubulaires par des supports tubulaires identiques mais plus haut sur lesquels nous fixons les habillages isolants[1].

1. Le capotage des centrales à boue n'est pas une idée nouvelle, ayant déjà été mis en œuvre, notamment sur certains chantiers du GPE. Mais beaucoup de centrales ou d'éléments annexes bruyants ne sont pas isolés, notamment pour des raisons de coût et d'ergonomie. Il existe donc un potentiel de progrès dans ce domaine auquel le LBSC tente de répondre.


Habillage acoustique intérieur
absorbant extérieur isolant
Structure support

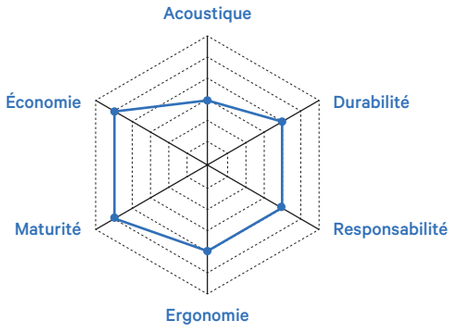

Structure support


Habillage acoustique, intérieur
absorbant, extérieur isolant


Structure support

b. Palissades en périphérie de chantier

ÉVALUATION



Acoustique : efficacité modérée et localisée.
Économie : peu coûteuses.
Maturité : disponible sur le marché, améliorations possibles sur l'efficacité et l'ergonomie.
Ergonomie : encombrantes mais relativement légères.
Responsabilité : support de communication également.
Durabilité : usages multiples sur différentes opérations.

On vient se fixer sur les palissades existantes, un peu comme les bâches mais en plus efficace et plus fonctionnel.

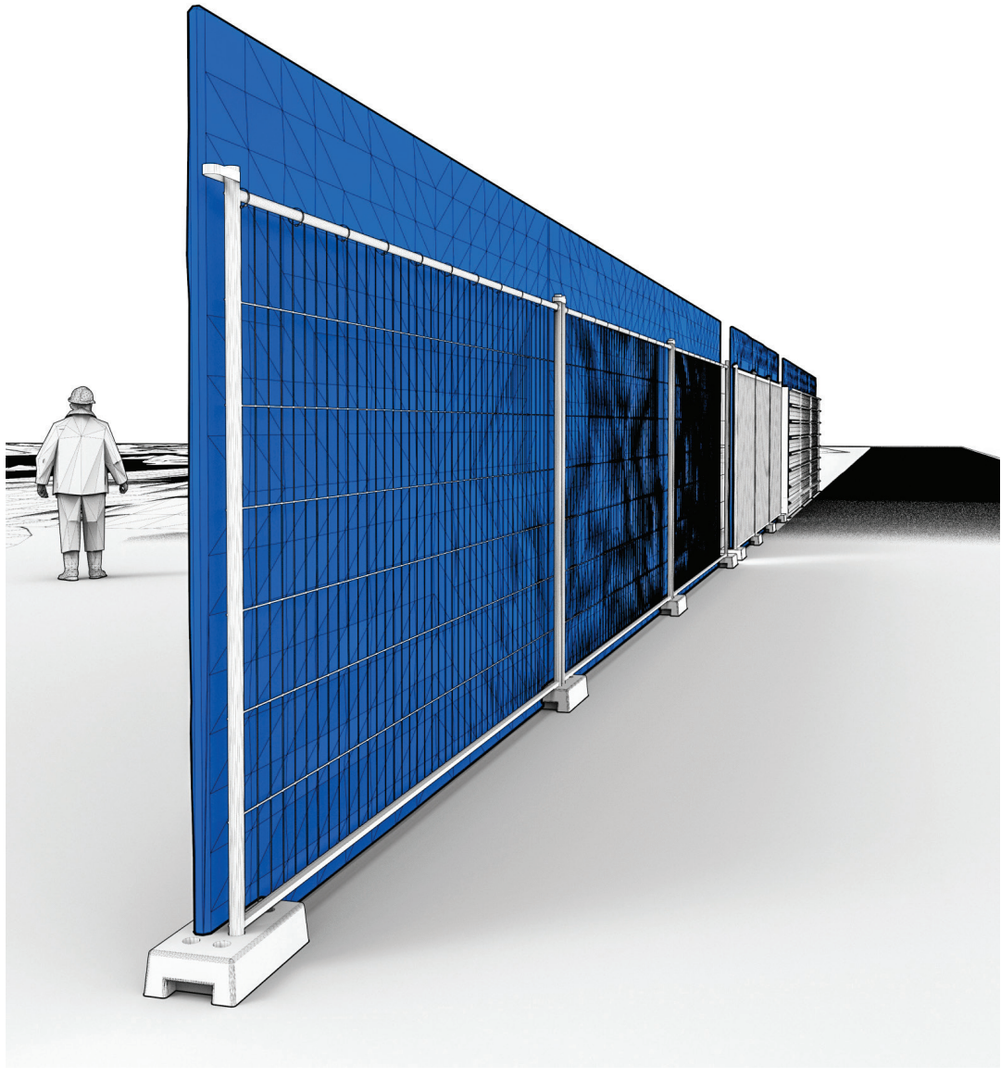
→ **Soit l'habillage est débordant ce qui permet de créer un bandeau communicant au-dessus de la palissade,**

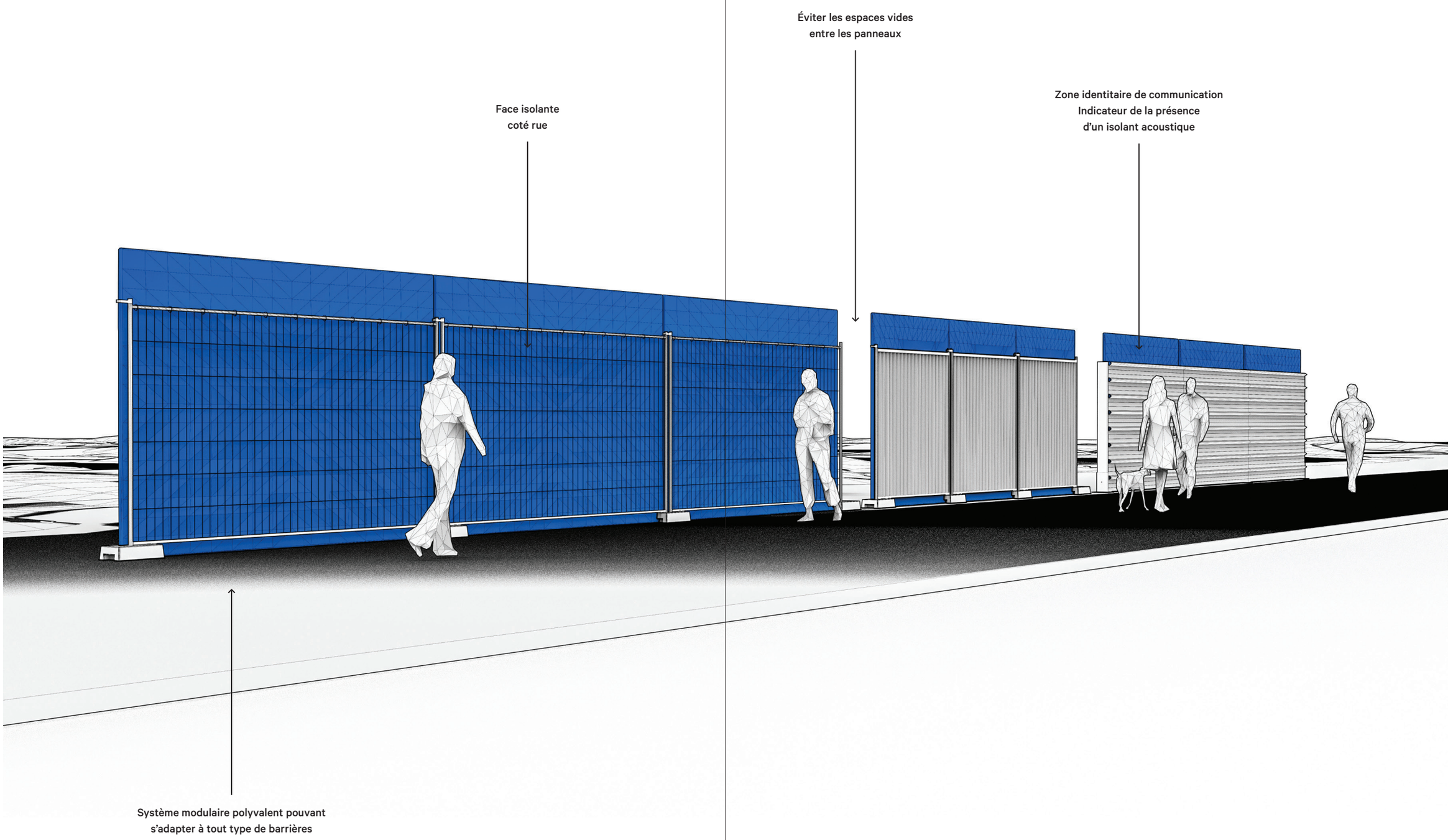
→ **Soit il est replié sur la palissade, là aussi le bandeau extérieur peut servir de support de communication.**

Contrairement aux bâches acoustiques, peu efficaces utilisées le plus souvent, dans les deux cas, le revêtement acoustique est visible et efficace. On voit clairement que le chantier est équipé d'un traitement acoustique. Mais également, la palissade continue à remplir ses fonctions complètes de communication et de protection du chantier.

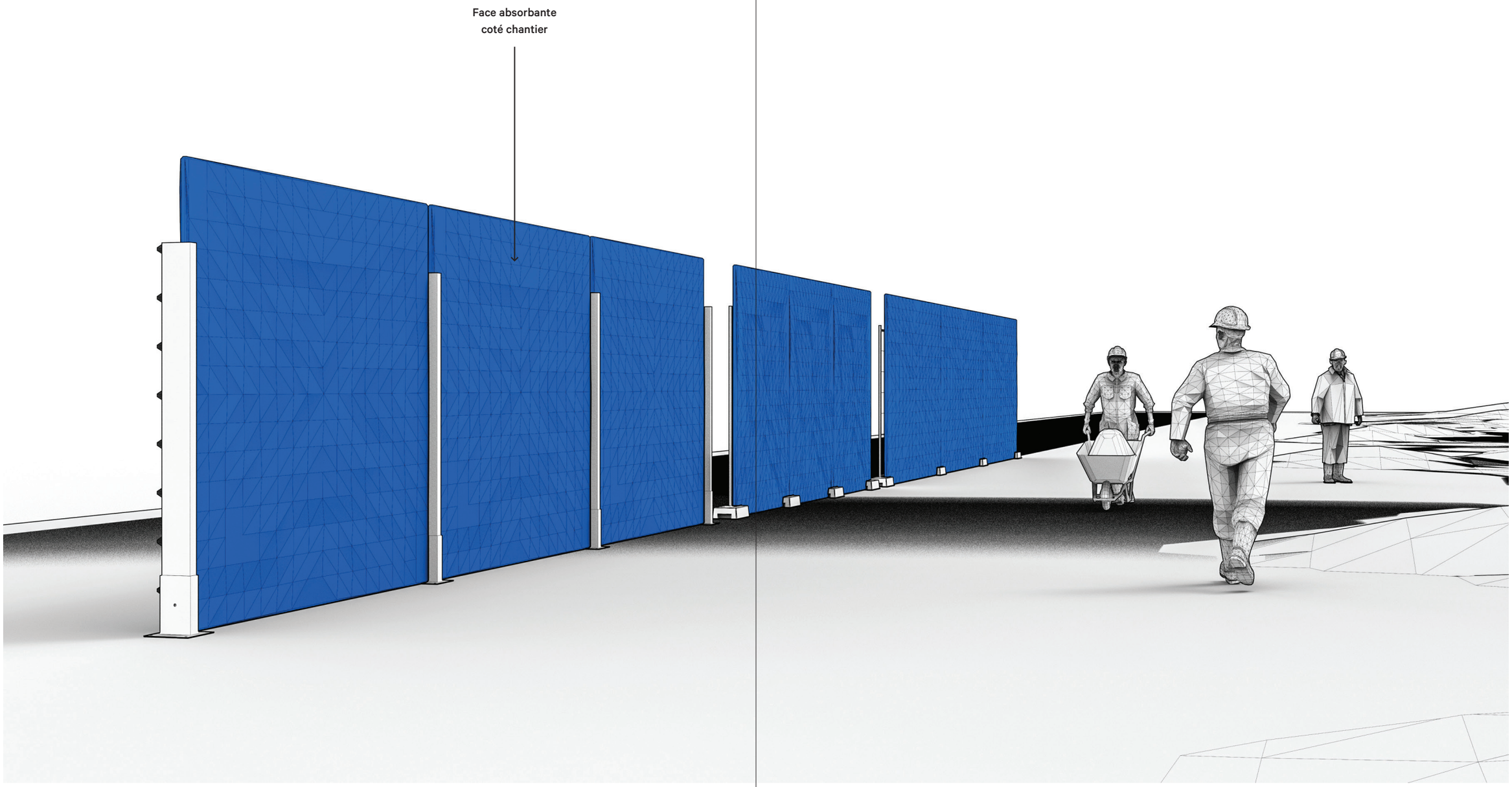
Cette barrière n'aura pas plus d'effet que les systèmes actuels pour les habitations en hauteur, mais permettra une réelle amélioration pour la vie de quartier : commerces, espaces piétons, jardins...Etc situés au niveau du sol.

III. Méthodes et solutions pendant le chantier
C. Solutions innovantes à développer
❷ À la transmission du bruit
2. Habillages isolants modulaires
b. Palissade en périphérie de chantier





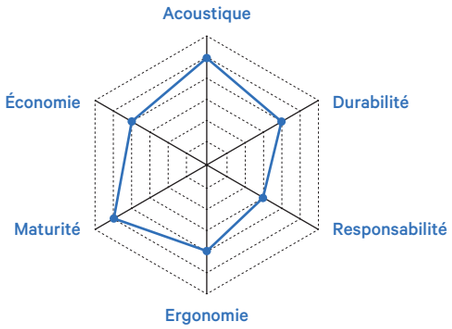
III. Méthodes et solutions pendant le chantier
C. Solutions innovantes à développer
❷ À la transmission du bruit
2. Habillages isolants modulaires
b. Palissade en périphérie de chantier : côté rue



III. Méthodes et solutions pendant le chantier
C. Solutions innovantes à développer
❷ À la transmission du bruit
2. Habillages isolants modulaires
b. Palissade en périphérie de chantier : côté chantier

c. Cloisonnements temporaires

ÉVALUATION

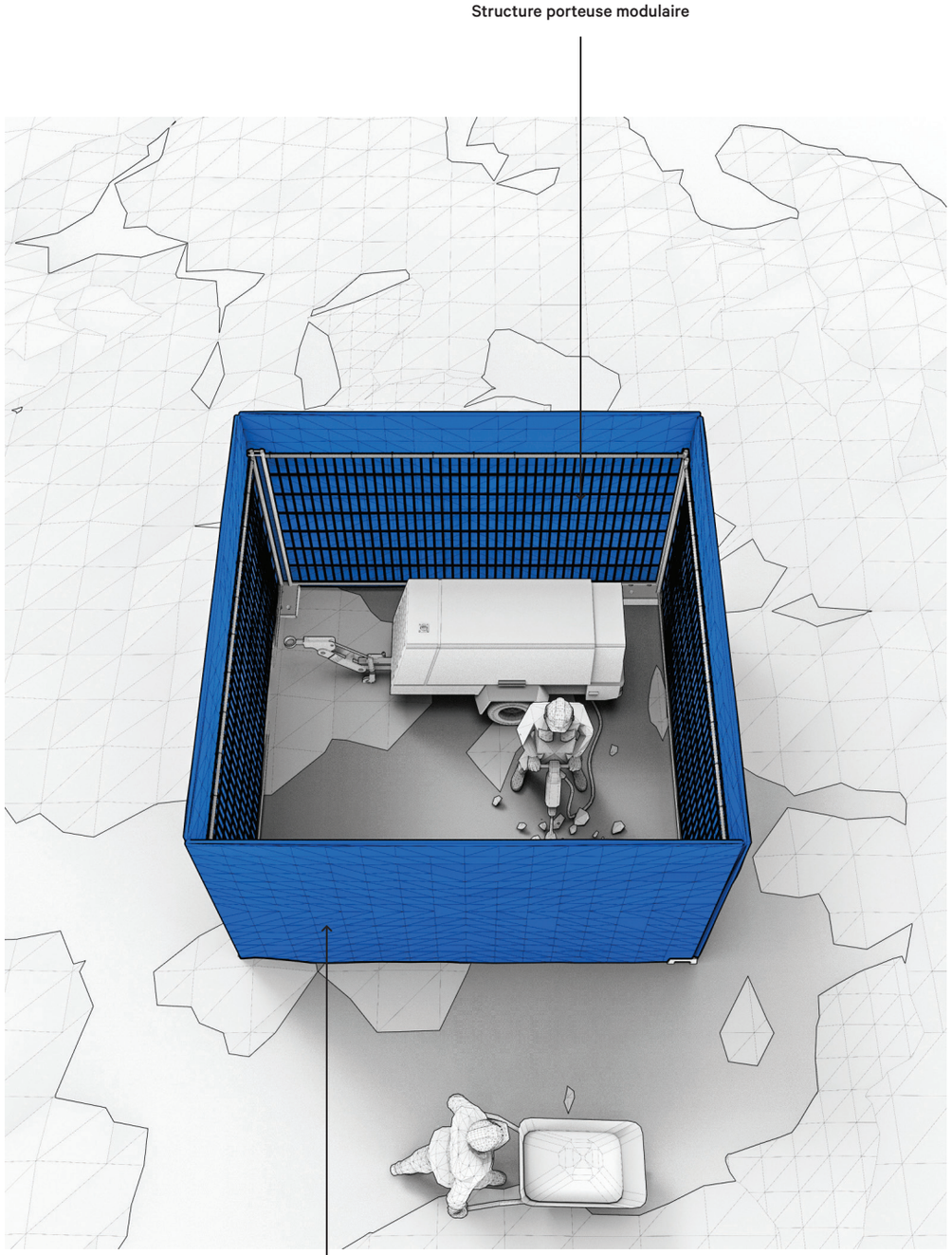


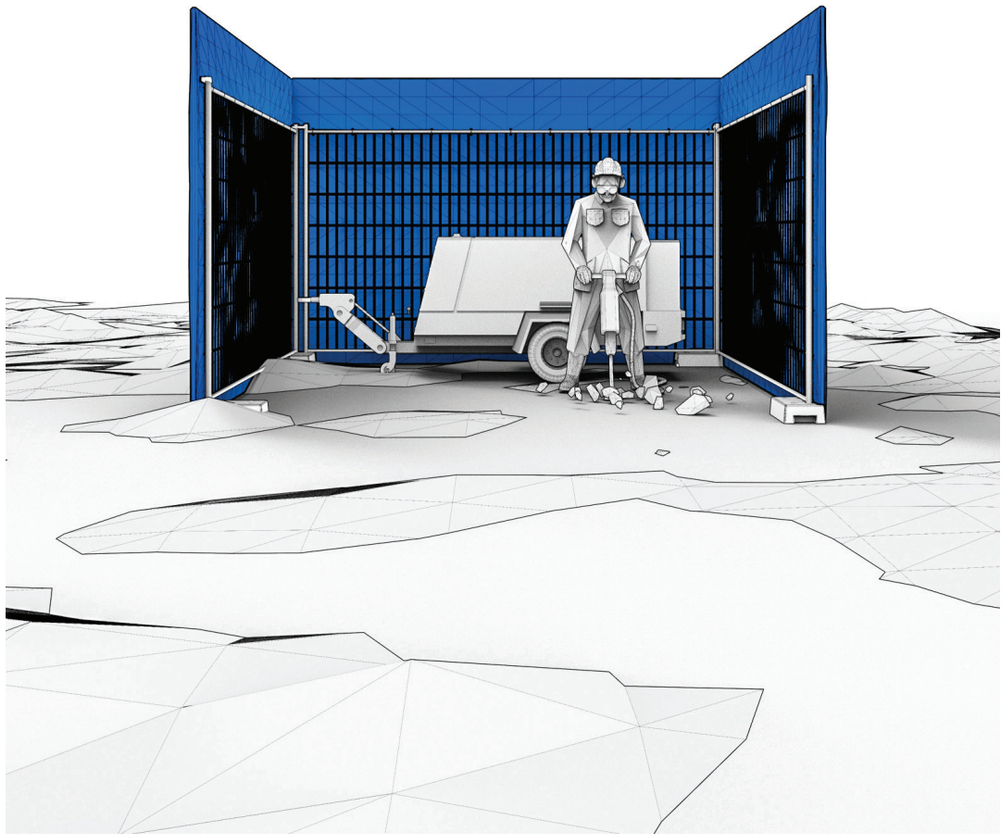
Acoustique : efficace si bien dimensionnés.
Économie : coût assez modéré.
Maturité : systèmes existants, ergonomie et efficacité à améliorer.
Ergonomie : peuvent être difficile à manipuler.
Responsabilité : impact assez neutre.
Durabilité : usages multiples sur différentes opérations.

Cloison installée provisoirement autour d'une activité bruyante[2], offrant à la fois modularité, ergonomie d'usage et réutilisation.
Exemple : marteau piqueur.

2. Les dispositifs présentés dans cette section peuvent paraître complexes à mettre en œuvre, car les cloisonnements temporaires seraient amenés à être déplacés régulièrement, alourdiraient la gestion du chantier et demanderaient de la main-d'œuvre supplémentaire. Nous considérons toutefois que l'investissement et la complexification sont réduits par rapport au bénéfice obtenu en terme d'acceptation du chantier. Le design de ces dispositifs fabriqués à l'avance peut les rendre plus fonctionnels, efficaces, ergonomiques et économiquement viables que les dispositifs bricolés pour parer aux urgences. Ils peuvent également porter d'autres fonctionnalités comme renforcer la sécurité des chantiers, leur protection anti-vol ou l'éclairage…

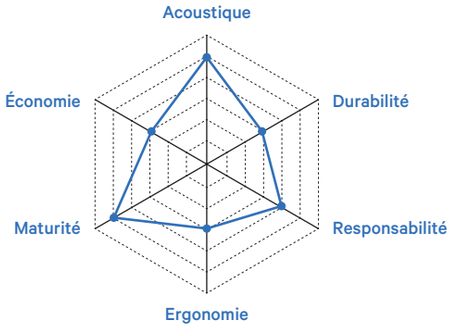
III. Méthodes et solutions pendant le chantier
C. Solutions innovantes à développer
❷ À la transmission du bruit
2. Habillages isolants modulaires
c. Cloisonnements temporaires


Structure porteuse modulaire
Habillage acoustique, intérieur absorbant, extérieur isolant



d. Corridors acoustiques

ÉVALUATION



Acoustique : bonne atténuation des bruits moteur attendue.
Économie : coûts moyens.
Maturité : systèmes existants à adapter.
Ergonomie : encombrants et potentiellement lourds.
Responsabilité : peu pertinent, note médiane.
Durabilité : limitée à un ou plusieurs chantiers.

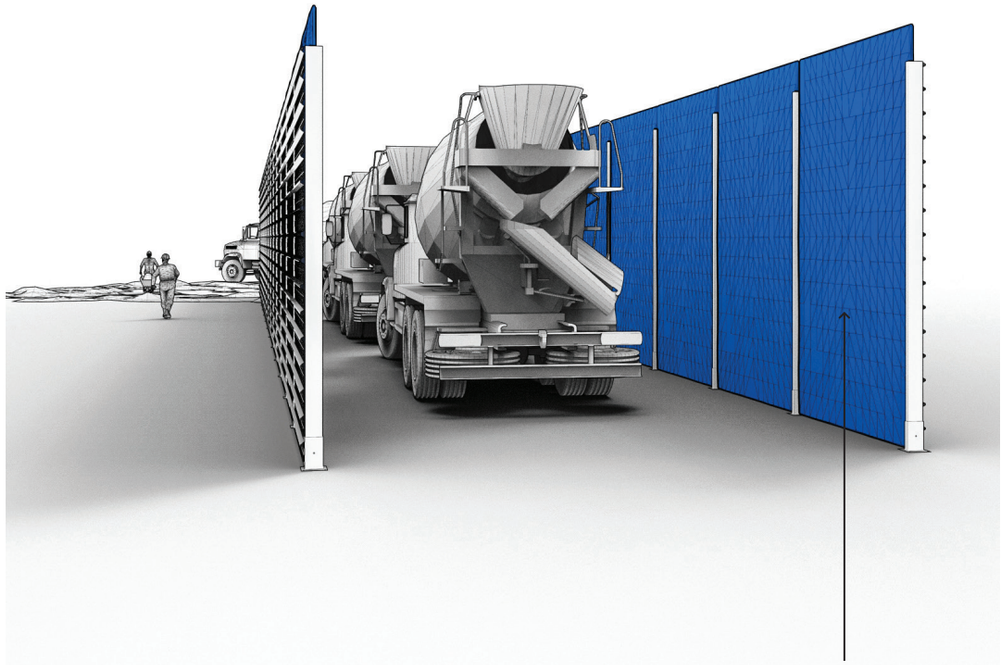
La rotation des camions d'évacuation de déblai et des toupies, produit des engorgements à l'entrée ou à la sortie des chantiers. Sur certains chantiers, les camions font la queue, moteur en marche en façade des riverains, ce qui constitue une source importante de bruit.

Un corridor enveloppant ces circulations permettrait d'absorber l'essentiel du bruit des moteurs de camions et des toupies. Ce corridor composé d'une double palissade à la fois isolante et absorbante coté camions, permettrait de créer une zone tampon moins-nuisante dans laquelle les camions attendraient leur tour.

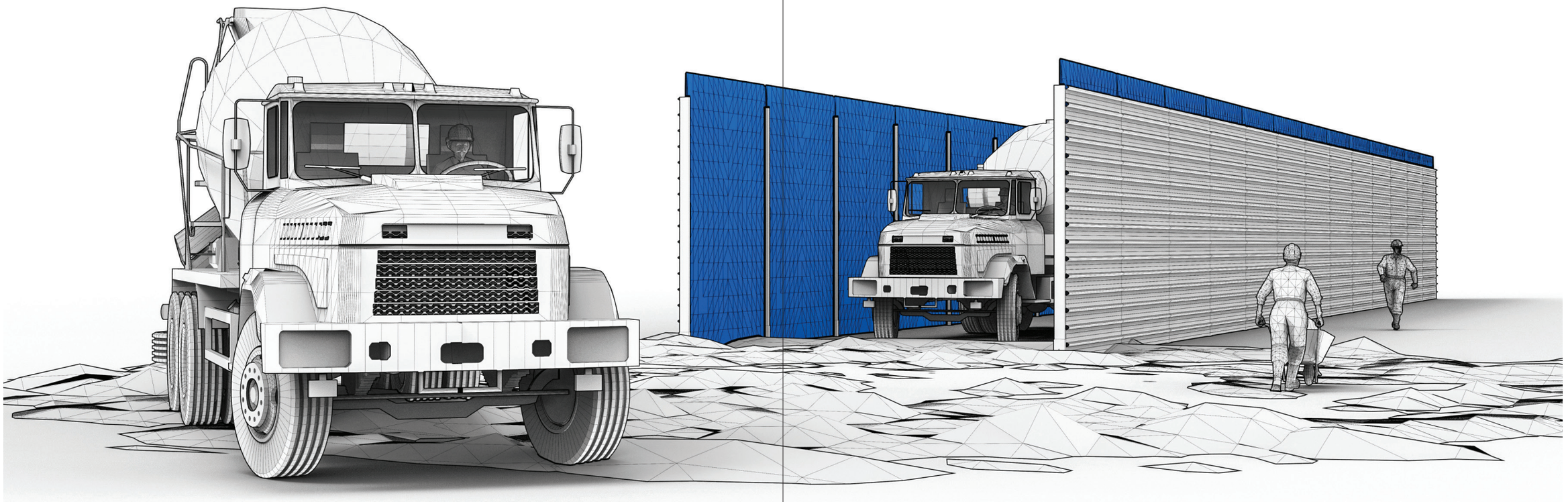
Les circulations et les files d'attente de camions constituent une source importante de bruit sur les chantiers. Les camions toupies conservent leurs moteurs diesels allumés en permanence[3] pour faire tourner les toupies, pourtant aucun dispositif acoustique n'existe sur la plupart des chantiers.

3. Il existe des camions toupie hybrides silencieux et sans émissions de CO2 comme Vicat Oxygène.

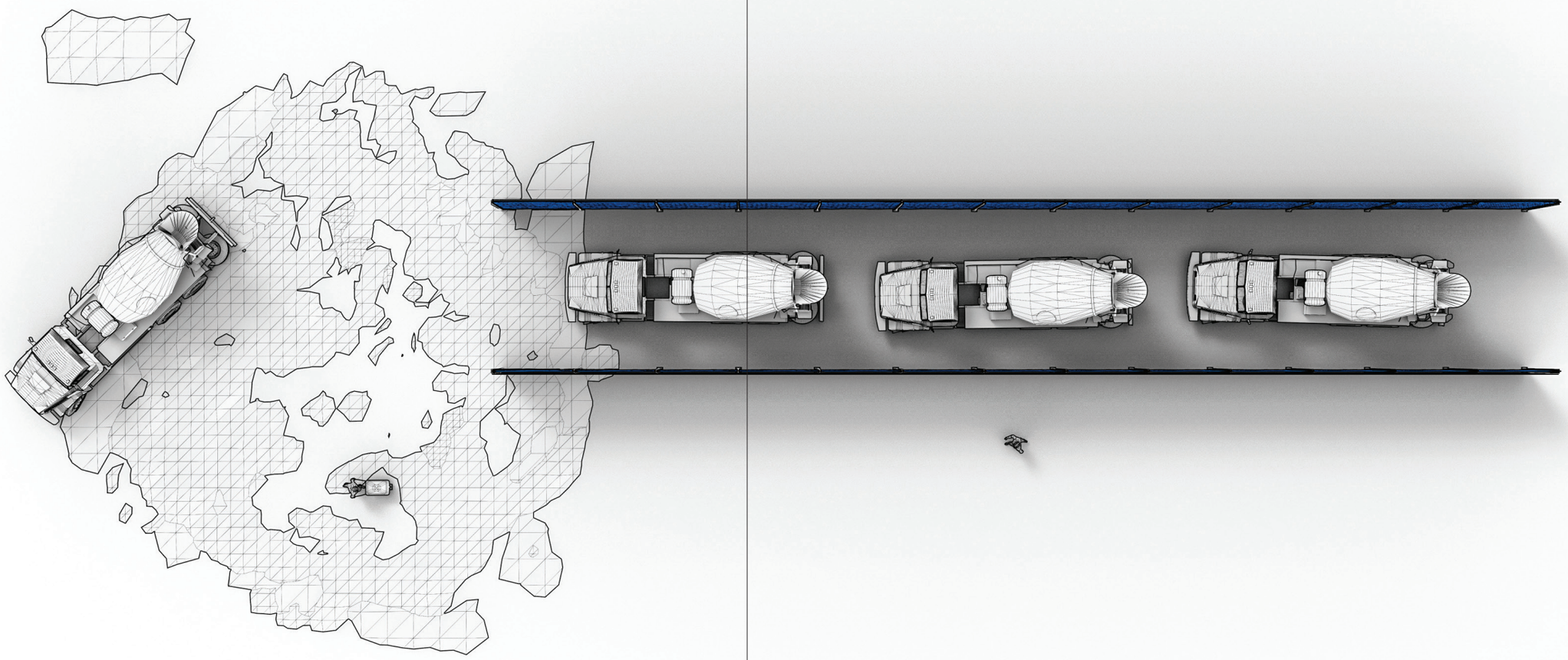
III. Méthodes et solutions pendant le chantier
C. Solutions innovantes à développer
❷ À la transmission du bruit
2. Habillages isolants modulaires
d. Corridors acoustiques



Habillage acoustique, intérieur absorbant, extérieur isolant



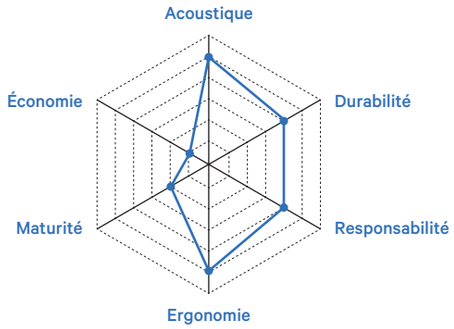
III. Méthodes et solutions pendant le chantier
C. Solutions innovantes à développer
❷ À la transmission du bruit
2. Habillages isolants modulaires
d. Corridors acoustiques



III. Méthodes et solutions pendant le chantier
C. Solutions innovantes à développer
❷ À la transmission du bruit
2. Habillages isolants modulaires
d. Corridors acoustiques

3. Cristaux soniques et métamatériaux

ÉVALUATION



Acoustique : bonne efficacité attendue sur la transmission sonore.
Économie : coût potentiellement élevé.
Maturité : recherche et développements en cours.
Ergonomie : pratique pour des besoins spécifiques car perméables.
Responsabilité : utilisation de matériaux naturels envisageable.
Durabilité : limitée à un chantier.

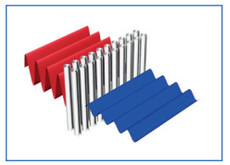
Écrans acoustiques réalisés avec des Cristaux Phononiques/Soniques pour les zones inondables

Les cristaux soniques sont des réseaux de résonateurs accordés précisément et disposés périodiquement. Le bruit qui entre est atténué en les traversant. Organisés en lignes, ils forment une barrière discontinue laissant passer l'air, l'eau, les petits animaux...

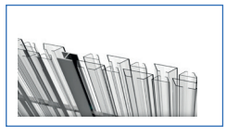
Les cristaux soniques peuvent être réalisés avec des matériaux rigides mis en forme de manière classique par usinage, cintrage ou pliage, ce qui réduit considérablement les coûts ainsi que les problèmes de moisissures et autres altérations des matériaux poreux. Ils peuvent également être mis en forme à condition de respecter des contraintes acoustiques et physiques précises.

Néanmoins, cette technique est encore considérée comme de la science-fiction et perçue avec incrédulité par beaucoup d'acousticiens.

1. Voir LBSC : V. « Interviews », de Jean-Philippe Groby.
2. www.sonobex.com



Atténuation du bruit traversant un réseau de tubes résonnant.

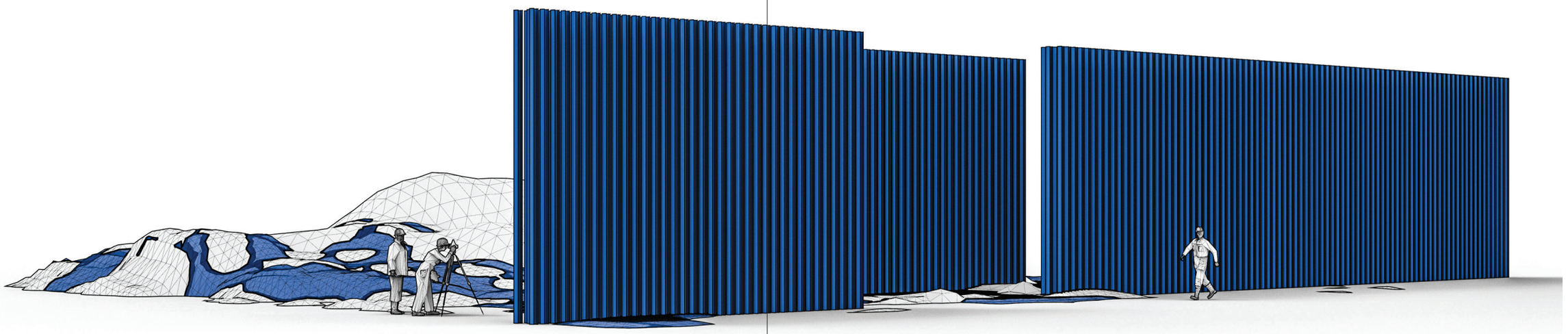


Produits Sonobex.

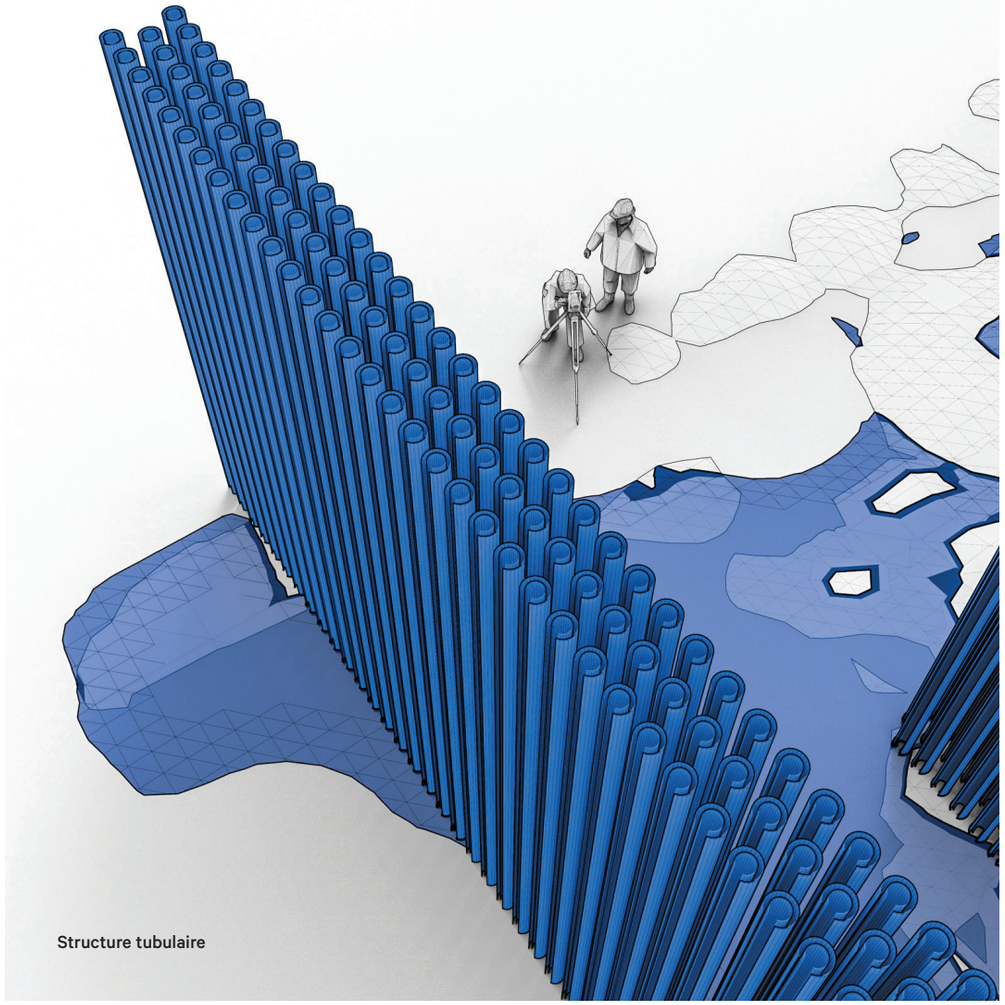
Pourtant les plus grands laboratoires d'acoustique produisent des publications sur le sujet depuis de nombreuses années[1], les procédés progressent et des sociétés sont créées pour en exploiter les résultats. Depuis quelques années, des industriels conçoivent, produisent, vendent et installent ce type d'écran.

Sonobex[2] (UK) par exemple propose des solutions annonçant des atténuations importantes pour les gros transformateurs électriques et plus généralement, pour les sources sonores de grande taille devant rester aérées.

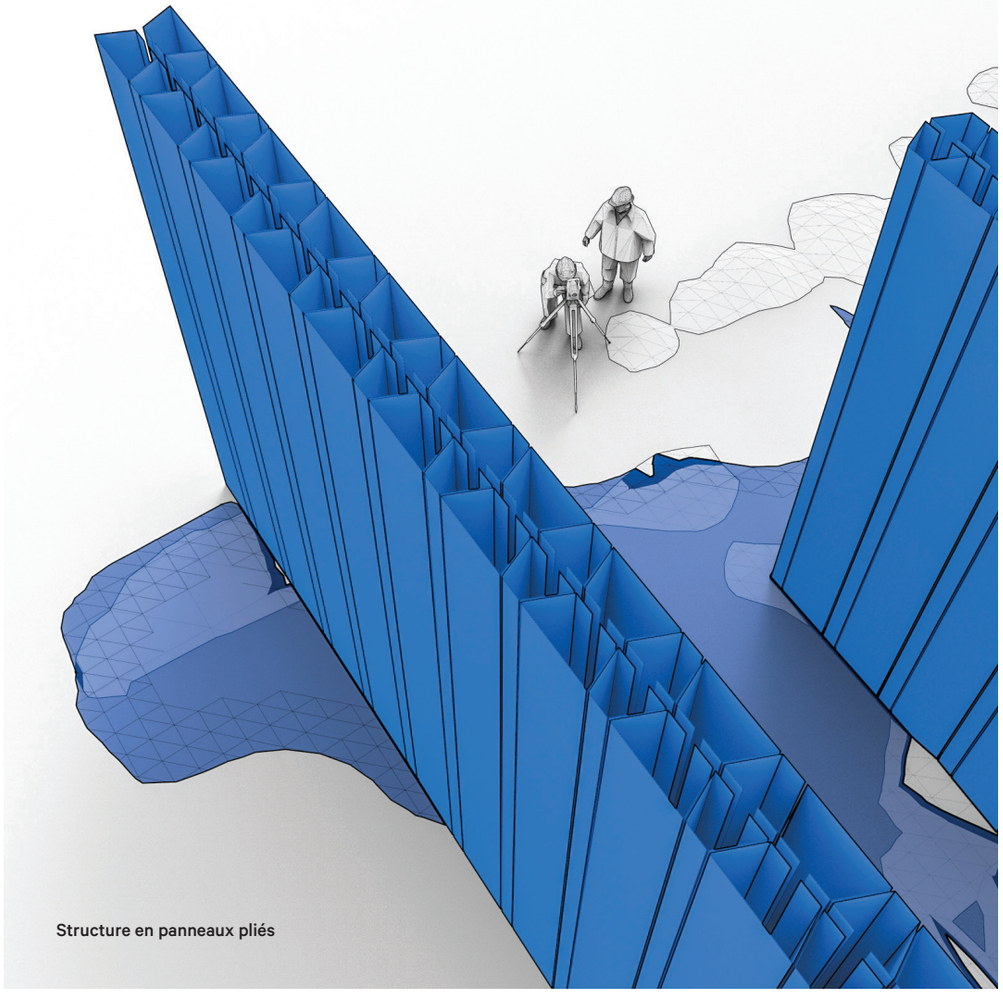
Les cristaux soniques ou phononiques offrent des solutions intéressantes pour les palissades acoustiques en zone inondables à des coûts accessibles. En effet, les chantiers en zone inondables ne peuvent pas être clôturées hermétiquement car cela empêcherait l'eau de circuler et de se retirer. Une barrière réalisée de cette manière permettrait à la fois d'obtenir une bonne réduction du bruit et de laisser passer l'eau.



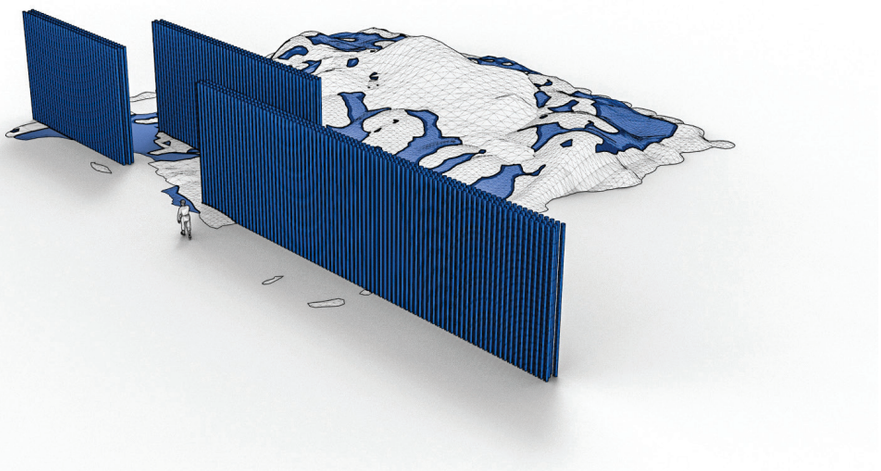
III. Méthodes et solutions pendant le chantier
C. Solutions innovantes à développer
❷ À la transmission du bruit
3. Cristaux soniques et métamatériaux



Structure tubulaire

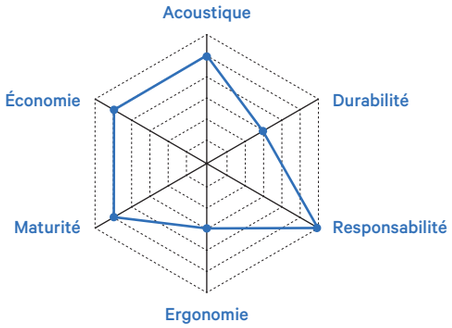


Structure en panneaux pliés



4. Big Bags

ÉVALUATION



Acoustique : bonne efficacité sur la trasnmission sonore.
Économie : peu coûteux.
Maturité : système déjà testé par ailleurs.
Ergonomie : difficiles à manier.
Responsabilité : recyclage des matériaux en local.
Durabilité : usage limité pendant le chantier.

Les sacs Big Bags sont déjà utilisés sur les chantiers pour contenir et déplacer la terre de déblai et les gravats[1]. Empilés et assemblés en muraille, ils offrent une excellente isolation acoustique.

L'utilisation des Bigs Bags comme barrières acoustique temporaire, en attente d'enlèvement au jour et horaires adaptés, offre un potentiel de contrôle pour les bruits du chantier et pour le transport des déblais. Il faut néanmoins souligner que ces sacs restent encombrants, éventuellement peu stables sur de grandes hauteurs et d'une manipulation assez lourde. Nous avons donc souhaité modéliser leur utilisation et des pistes techniques de mise en œuvre :

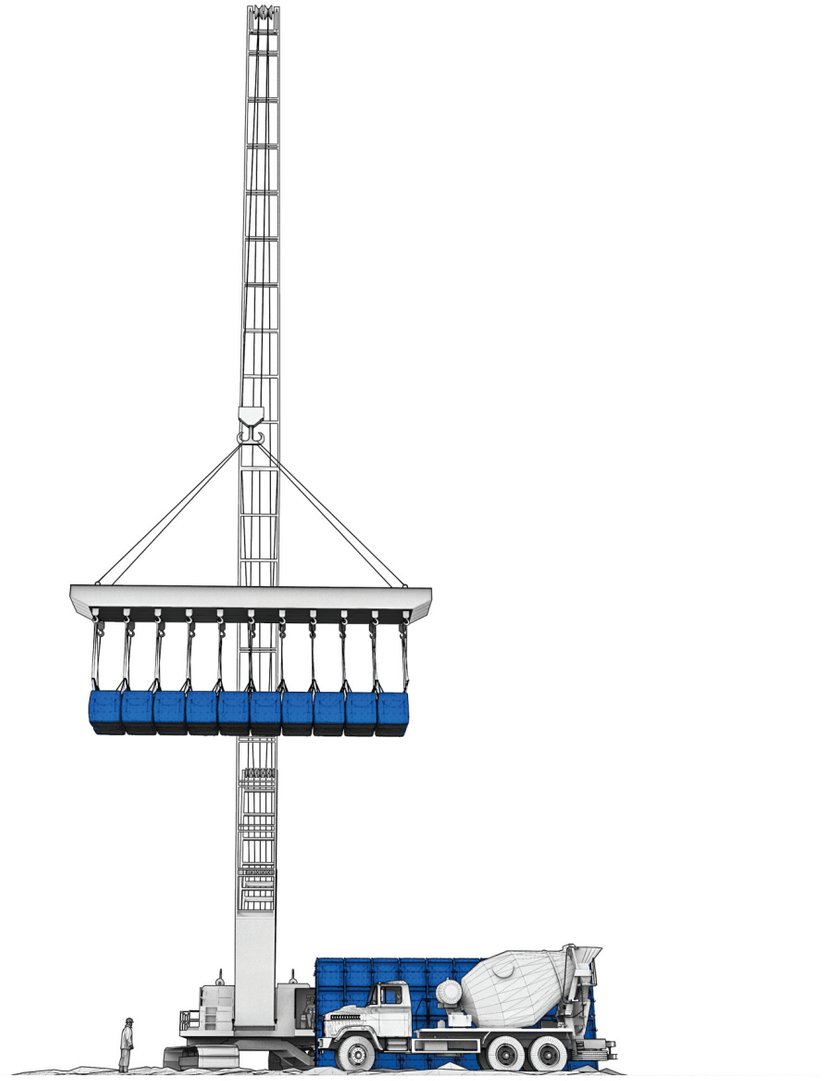
- → Mises en place de parois isolantes par l'empilement de sacs de type Big Bags remplis de la terre du chantier pour les zones de circulations ou de stationnement des camions ; signalons que cette protection acoustique peut se faire aussi à l'aide de palissades ou de couvertures complètes formant ainsi un « corridor acoustique ».
- → Entrées et sorties de chantier.
- → Espaces de déchargement ou de chargement.
- → Barrières provisoires.

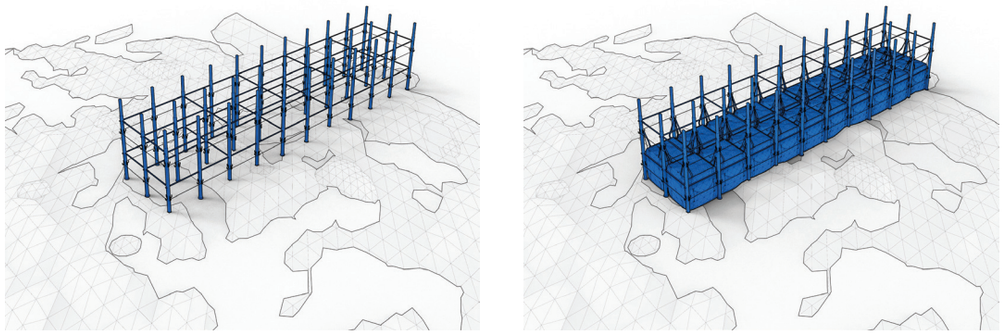
Coté structure, les Big Bags pourraient être rassemblés par douzaines ou vingtaines sur des palettes empilables en tubes métalliques. Ce qui permettrait de les manipuler et de les emporter plus rapidement. Ces palettes pourraient être dimensionnées afin d'être transportées directement vers les exutoires et pour permettre un vidage rapide par le bas.[2]

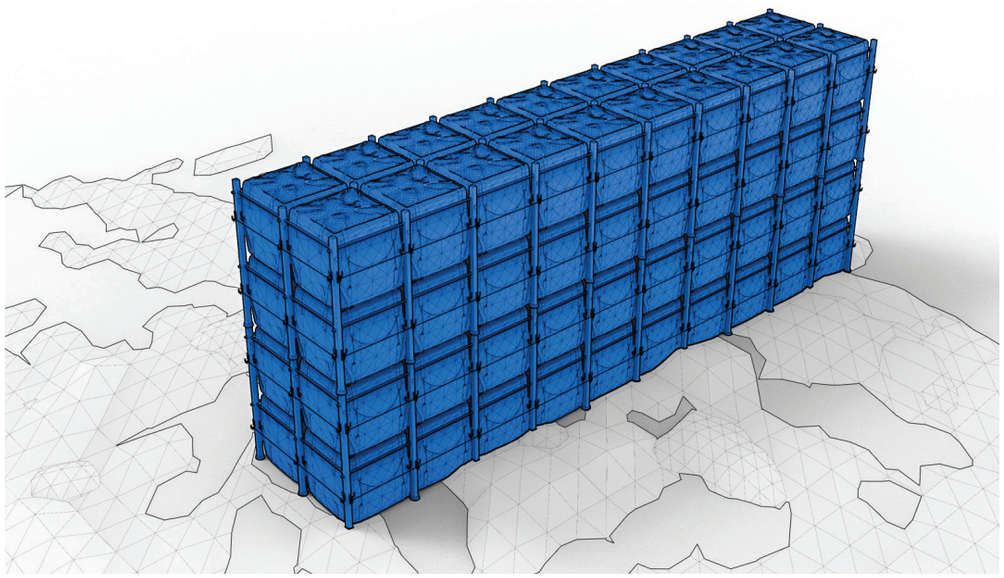
1. Concerne la terre et les déchets inertes : cf directive européenne 1999/31/CE du 26/04/99.

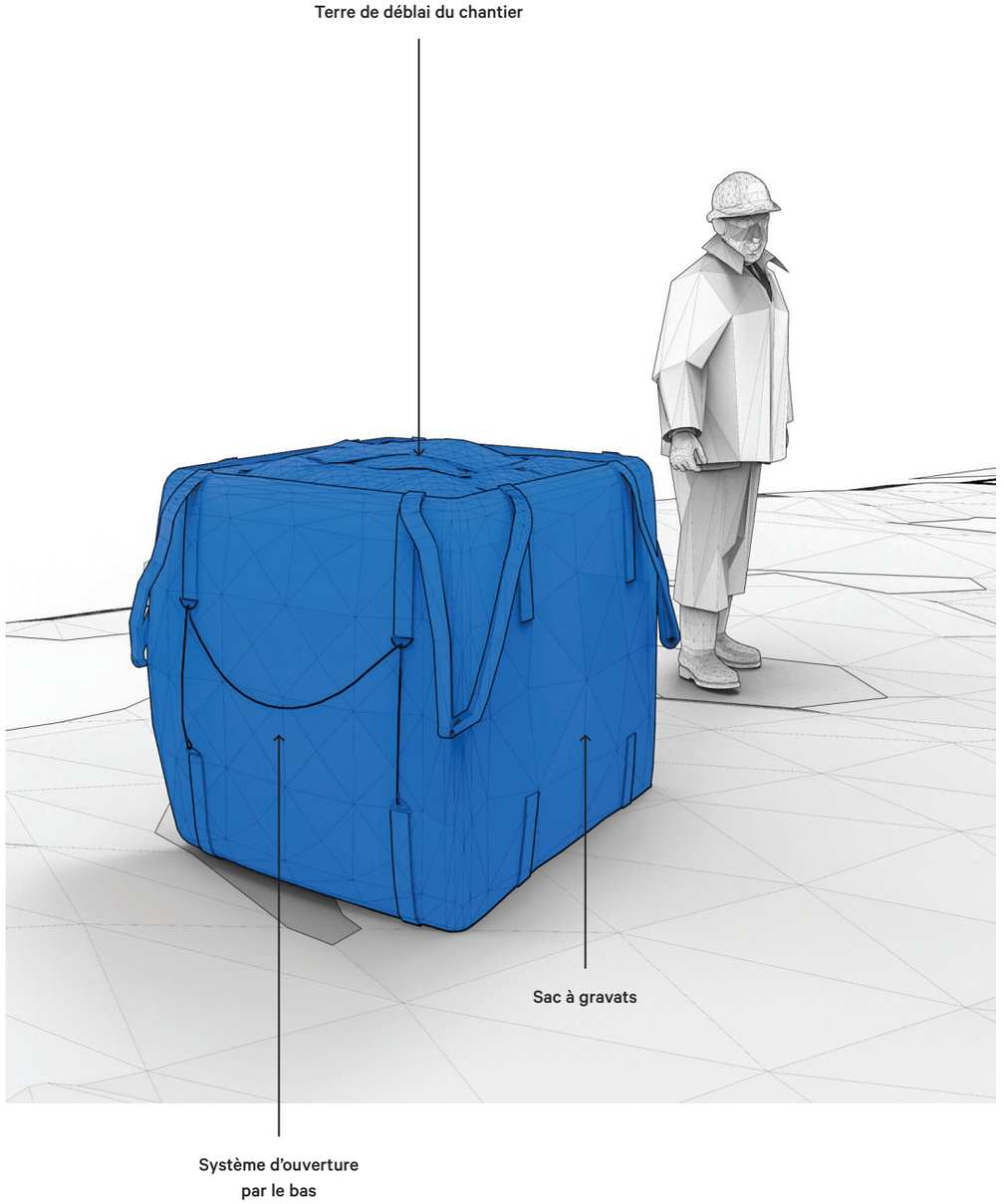
2. Voir LBSC : IV. (ENSCi), projet « Terre isolante » de Émile Rebours, Camille Chapuis, Alexandre Fontaine, Solène Jarroux et Morgan Alby.

III. Méthodes et solutions pendant le chantier
C. Solutions innovantes à développer
❷ À la transmission du bruit
4. Big Bags

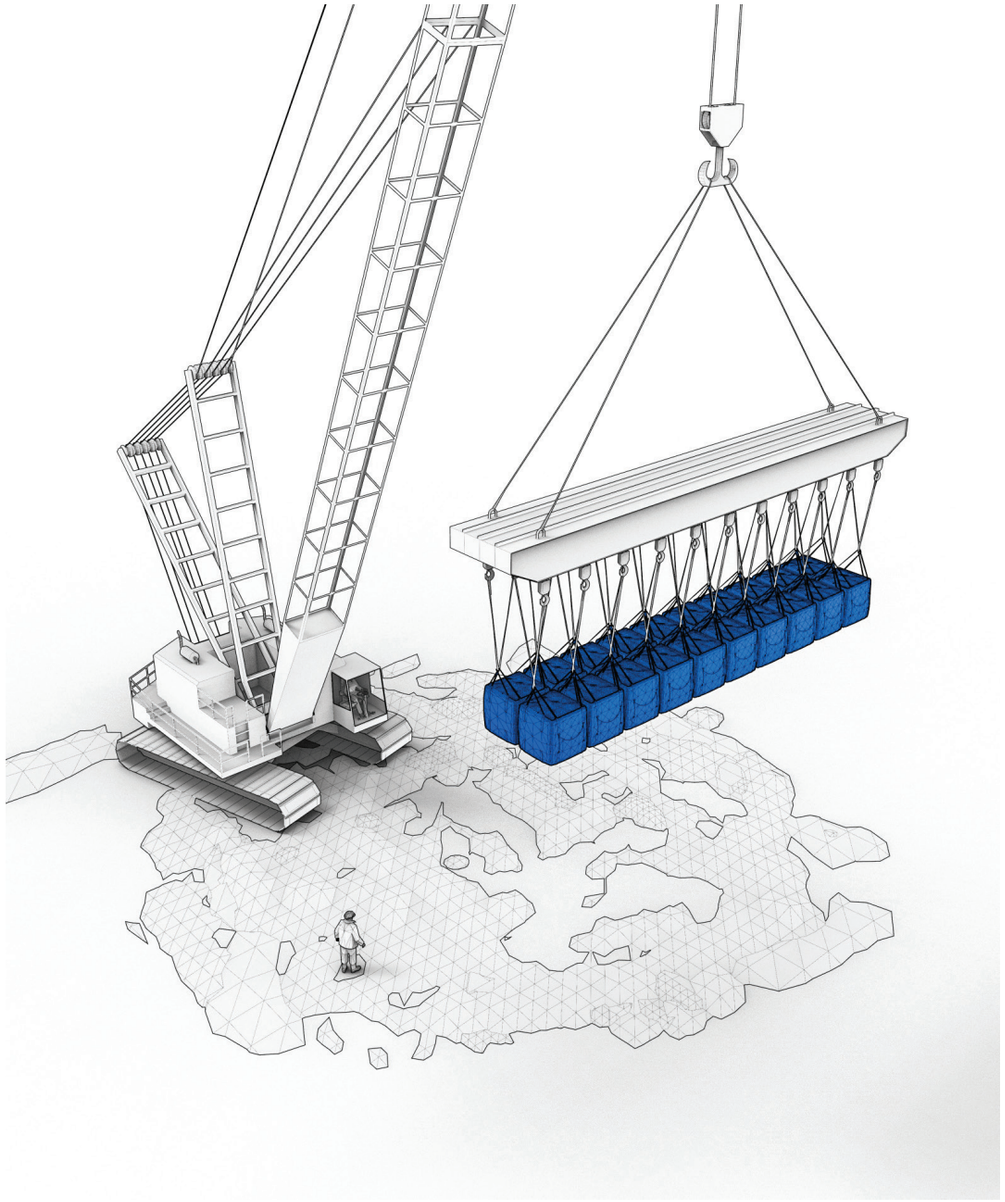


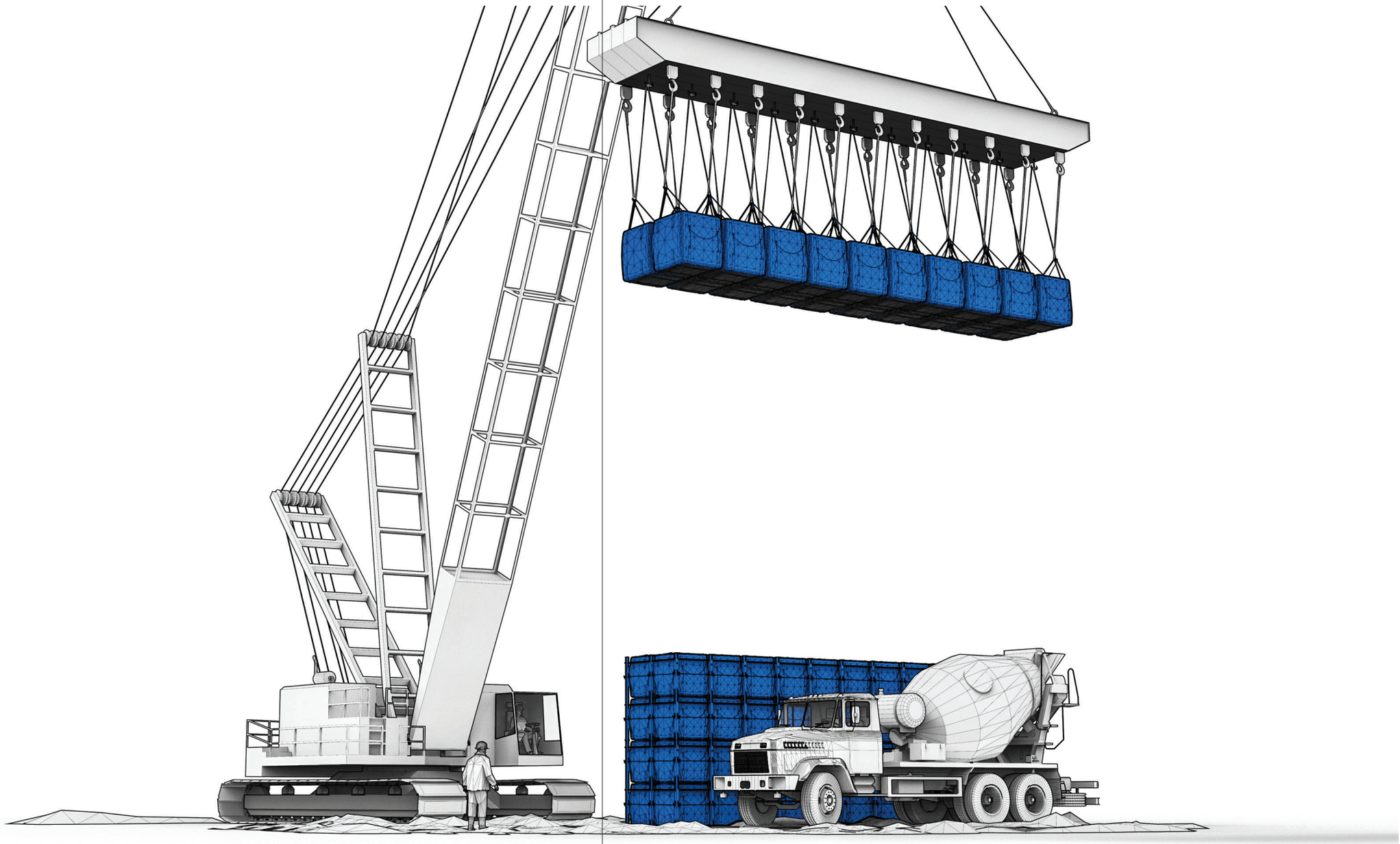





Terre de déblai du chantier
Sac à gravats
Système d'ouverture par le bas

III. Méthodes et solutions pendant le chantier
C. Solutions innovantes à développer
❷ À la transmission du bruit
4. Big Bags : dispositif de levée par groupe de 20 sacs

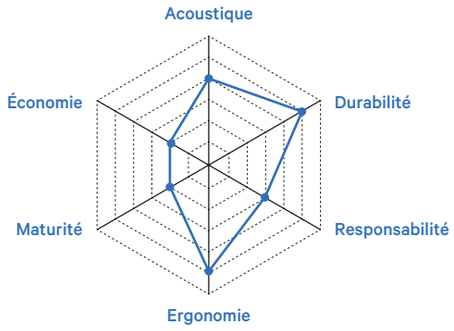




III. Méthodes et solutions pendant le chantier
C. Solutions innovantes à développer
❷ À la transmission du bruit
4. Big Bags : dispositif de levée par groupe de 20 sacs

5. Bouclier acoustique mobile monté sur véhicule d'intervention rapide

ÉVALUATION



Acoustique : assez efficace auprès des sources de bruit.
Économie : potentiellement coûteux.
Maturité : système nécessitant développement et adaptations.
Ergonomie : mobile et modulable.
Responsabilité : peu pertinent.
Durabilité : investissement durable.

Pour l'isolation des sources sonores mobiles, il existe des dispositifs provisoires à monter et à démonter, mais pourquoi ne pas utiliser des boucliers mobiles adaptables et vraiment efficaces ?

Le coût d'utilisation d'un véhicule pour maintenir et déplacer le bouclier ne serait pas très important car le même véhicule peut servir à d'autres tâches. D'autre part, il arrive que l'on monopolise une grue pour maintenir une bâche de protection[1] par un seul point, ce qui n'est ni économique, ni adapté.

Les boucliers mobiles offrent une solution modulaire pouvant s'adapter au contexte. Sur un gros chantier, il pourrait y avoir 2 à 3 véhicules d'intervention rapide dédiés équipés de ce dispositif. Les véhicules permettent le transport, la mise en place et le maintien sécurisé des boucliers. Ces transporteurs pourraient être des nacelles radiocommandées ou des engins de chantier plus stables avec conducteur

1. Par exemple en démolition.

a. Options

- → Module de largeur fixe et de hauteur variable pouvant se combiner pour cloisonner des zones complètes ou partielles.
- → Module autoportant posé au sol ou maintenu en hauteur par le véhicule dédié.
- → Module extensible en hauteur et en largeur.
- → Module positionné en cloche ou en demi-cloche, placé entre la source de bruit et les habitations les plus proches.

b. Revêtement acoustique

- → Origami : matériaux extensible, pliable, léger, surface facettée pour une meilleure absorption[2]. Matériau à inventer : bandes d'élastomère épaisses tressées et plissées.
- → Soufflet : inspiré par les soufflets des Trams, bus et métro.
- → Matériau caoutchouc.
- → Panneau : coulissants ou fixes que l'on assemble selon les besoins. Matériau absorbant d'un côté, isolant et structurant de l'autre.

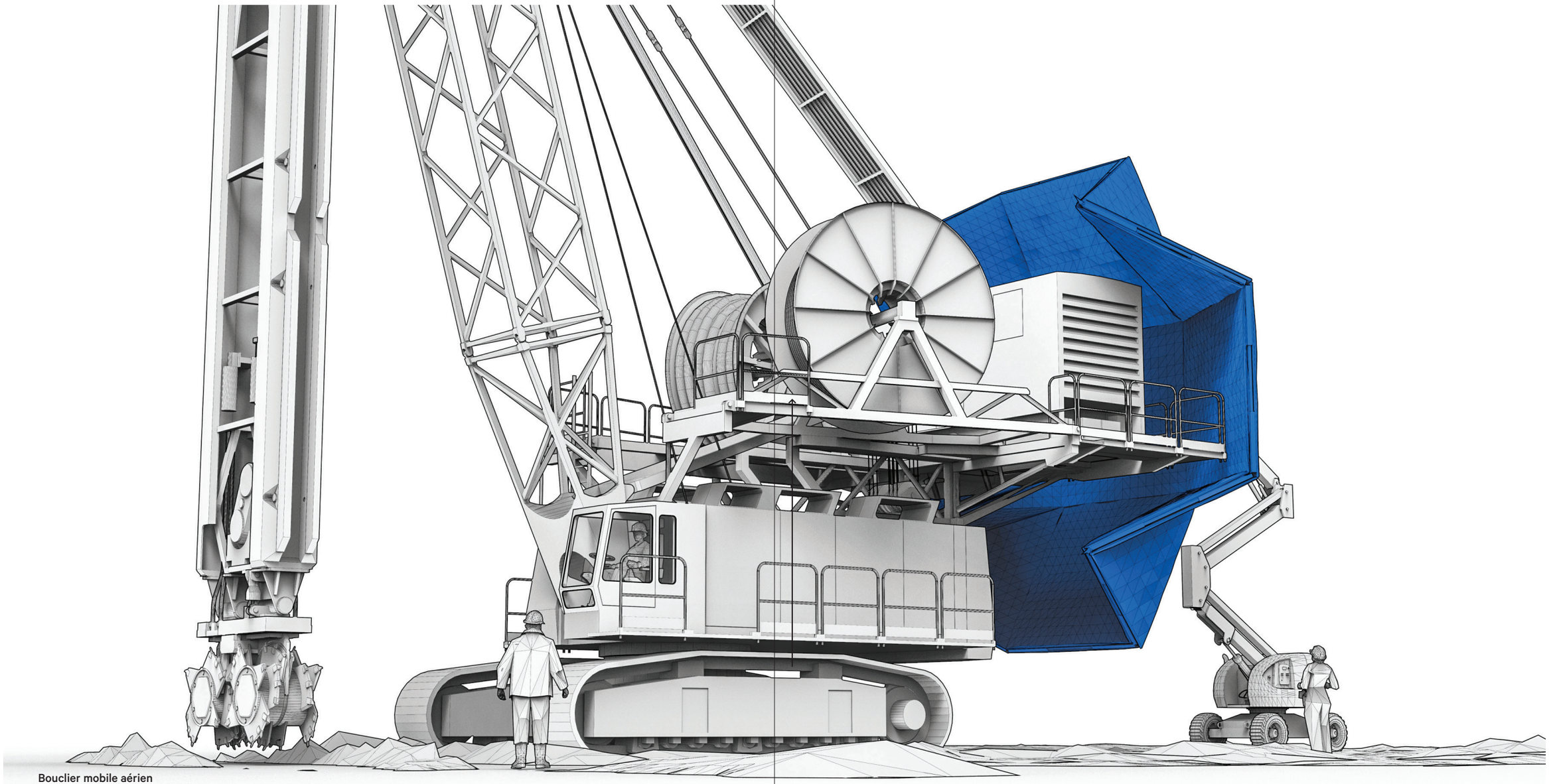
2. Tous les matériaux aux normes de sécurité des équipements de chantier i.e. non feu MO ou M1 (EU A1 ou A2).

3. Voir LBSC : V. « Interviews », de Jean-Philippe Groby.

Etant donnée la relative petite surface et l'utilisation intense du bouclier, il serait sans doute possible, pour optimiser son efficacité acoustique, de cumuler une approche classique (absorbant coté bruit, isolant sur l'autre face) avec un métamatériau acoustique, permettant à la fois d'absorber et d'isoler efficacement les basses fréquence[3].

↓

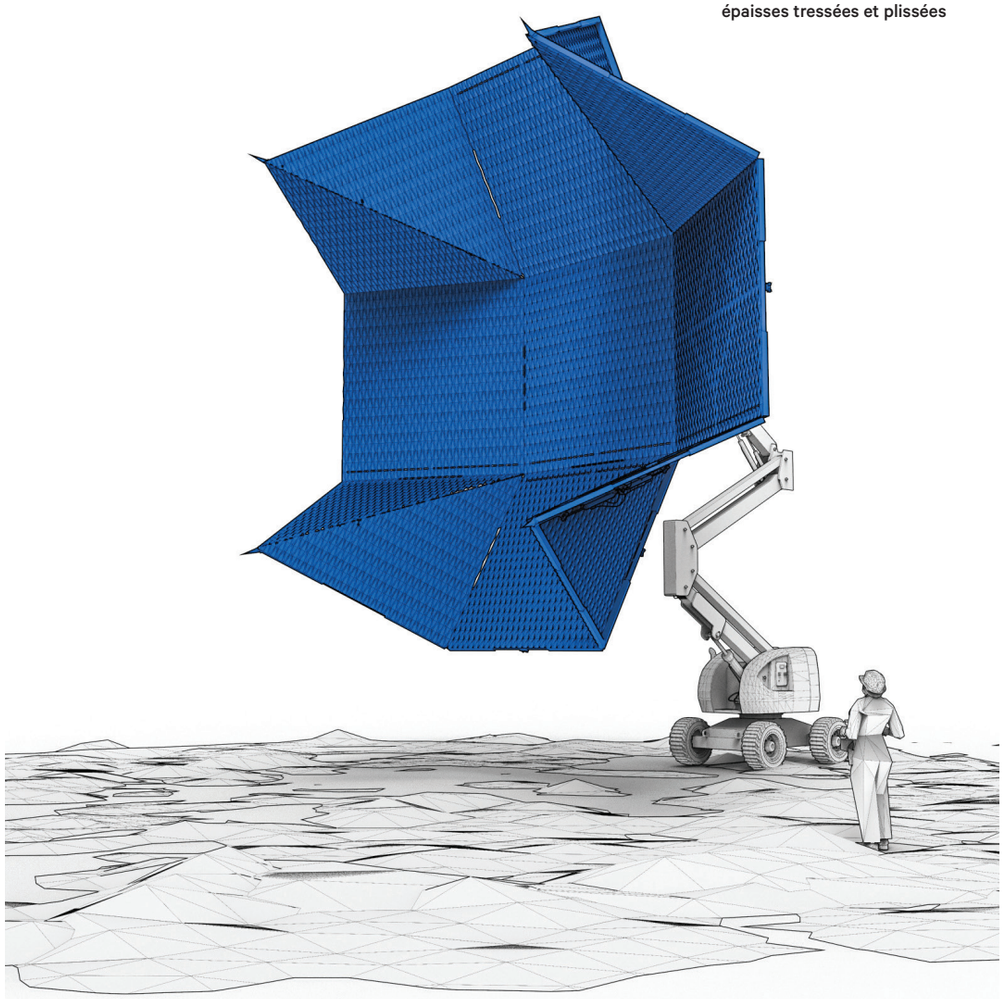
Pour le travail de nuit, ou sur un chantier en fosse, couvert ou confiné, il est possible de prévoir un éclairage dans les boucliers.



Bouclier mobile aérien

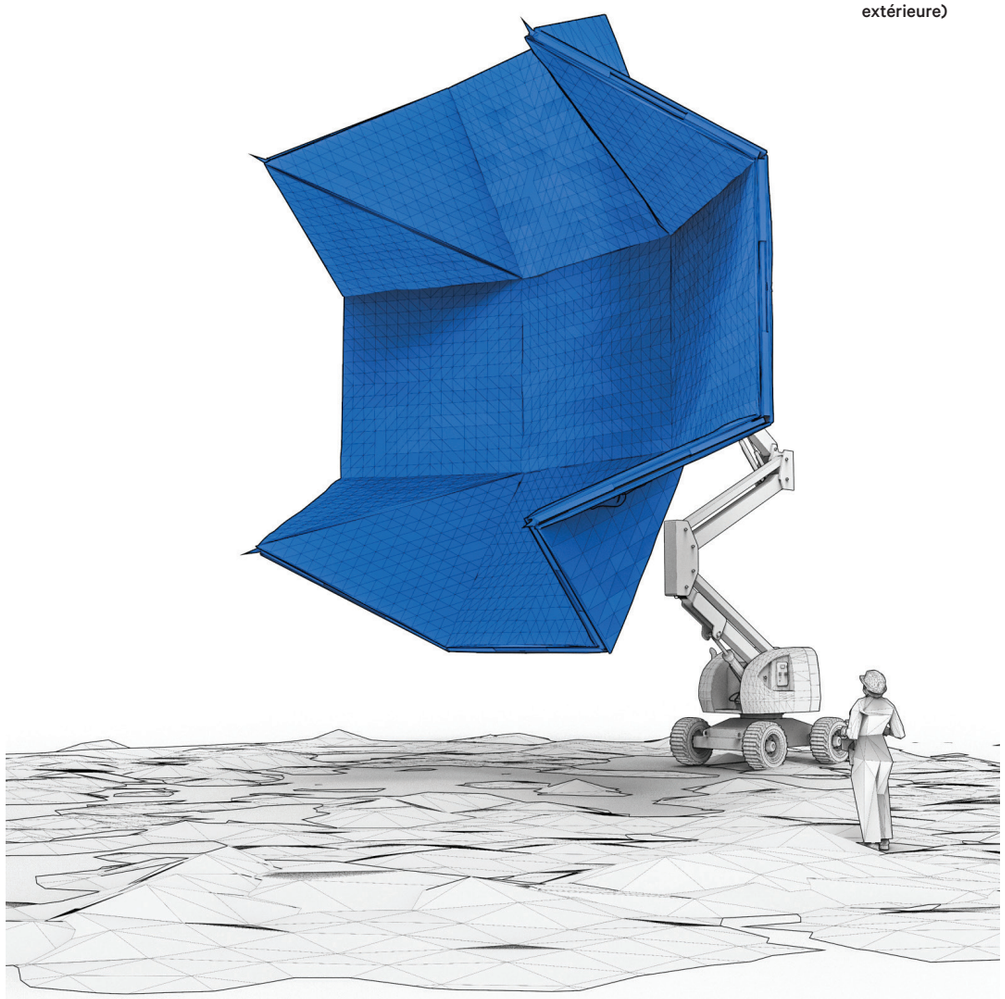
III. Méthodes et solutions pendant le chantier
C. Solutions innovantes à développer
❷ À la transmission du bruit
5. Bouclier acoustique mobile aérien monté sur véhicule d'intervention rapide

Surface facettée type origami pour une meilleure absorption. Matériau à développer : bandes d'élastomère épaisses tressées et plissées

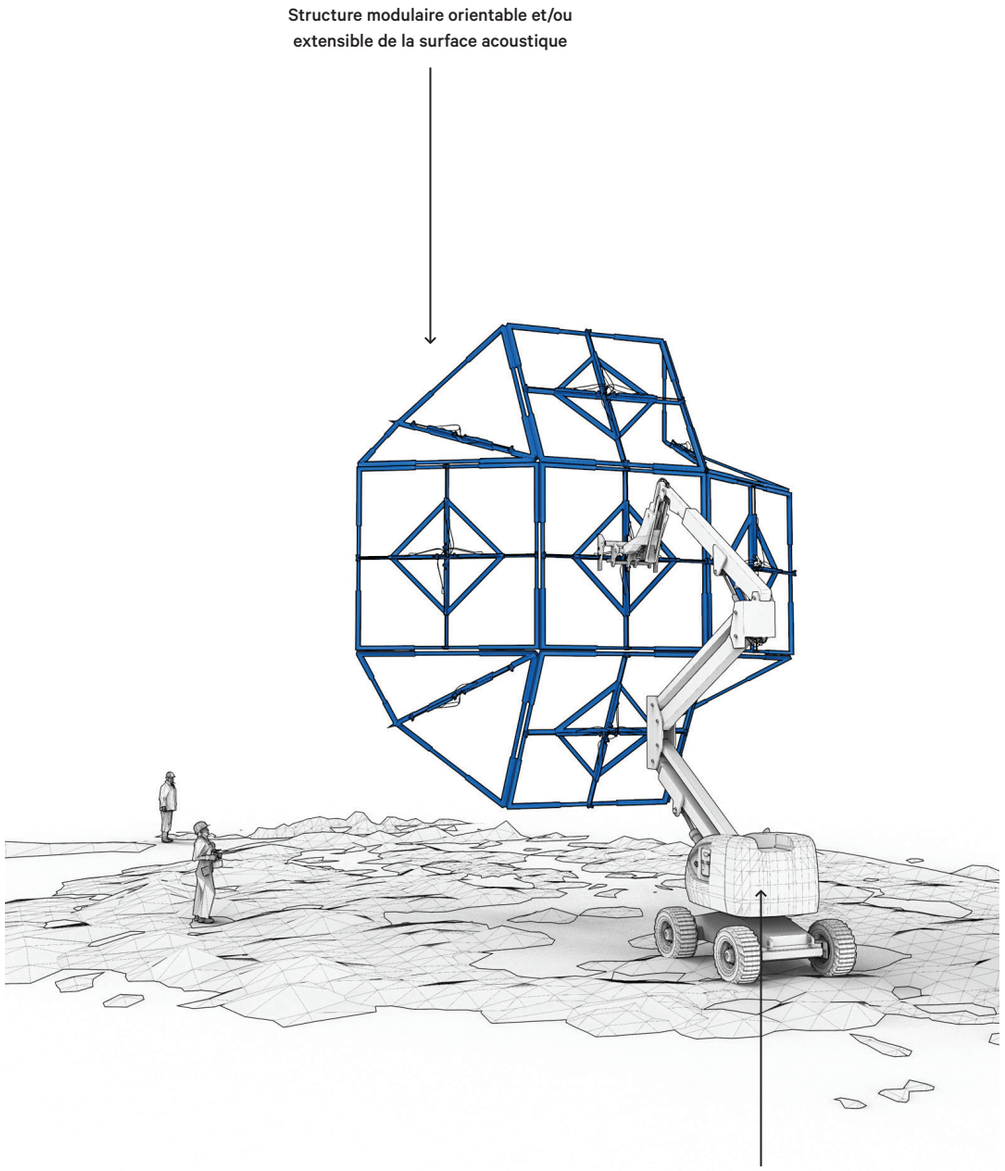


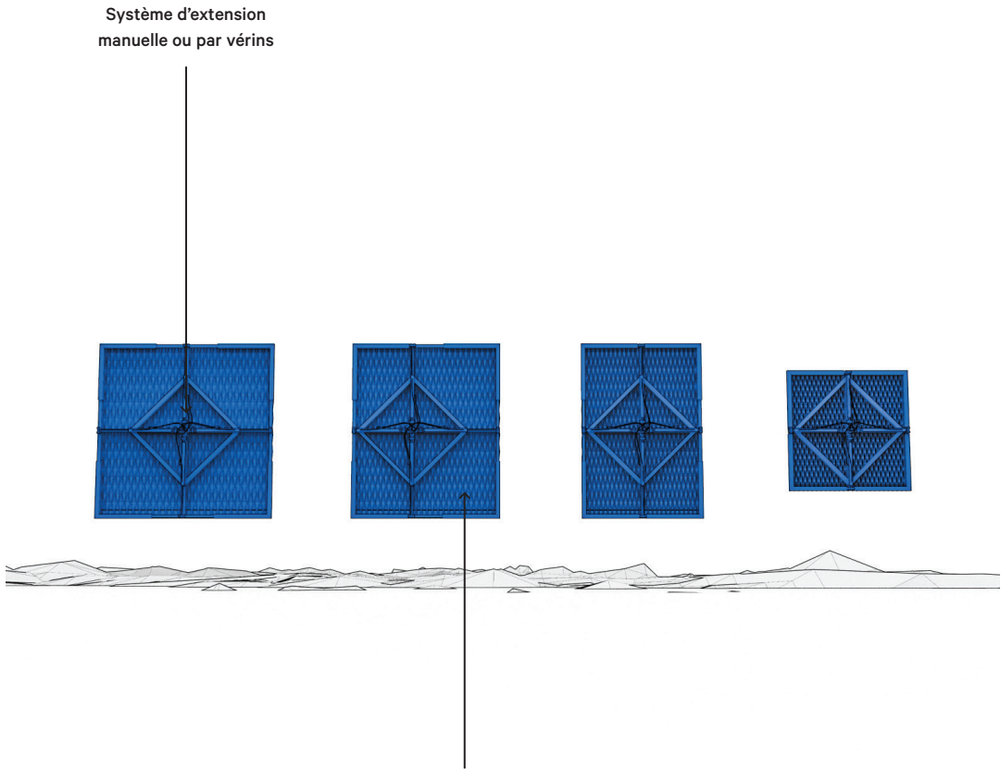
Bouclier acoustique mobile :
panneaux extensibles et orientables

Matériau absorbant (face intérieure) et isolant (face extérieure)

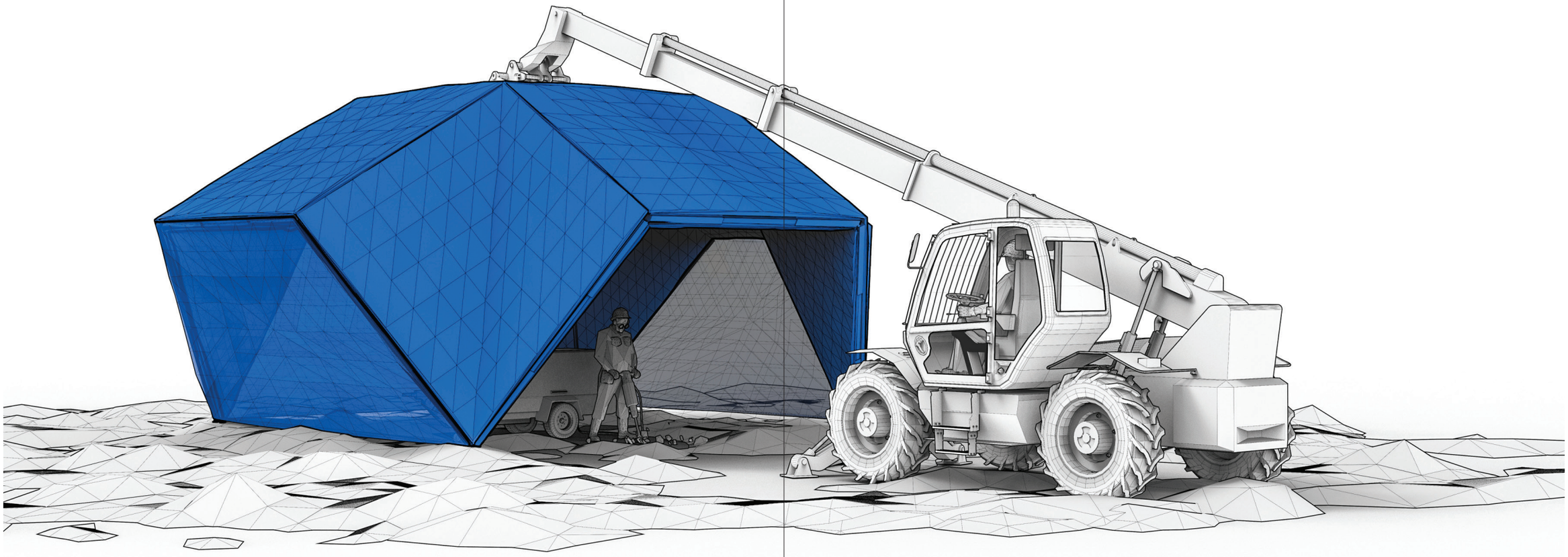


Bouclier acoustique





Bouclier acoustique mobile aérien : unité de taille variable



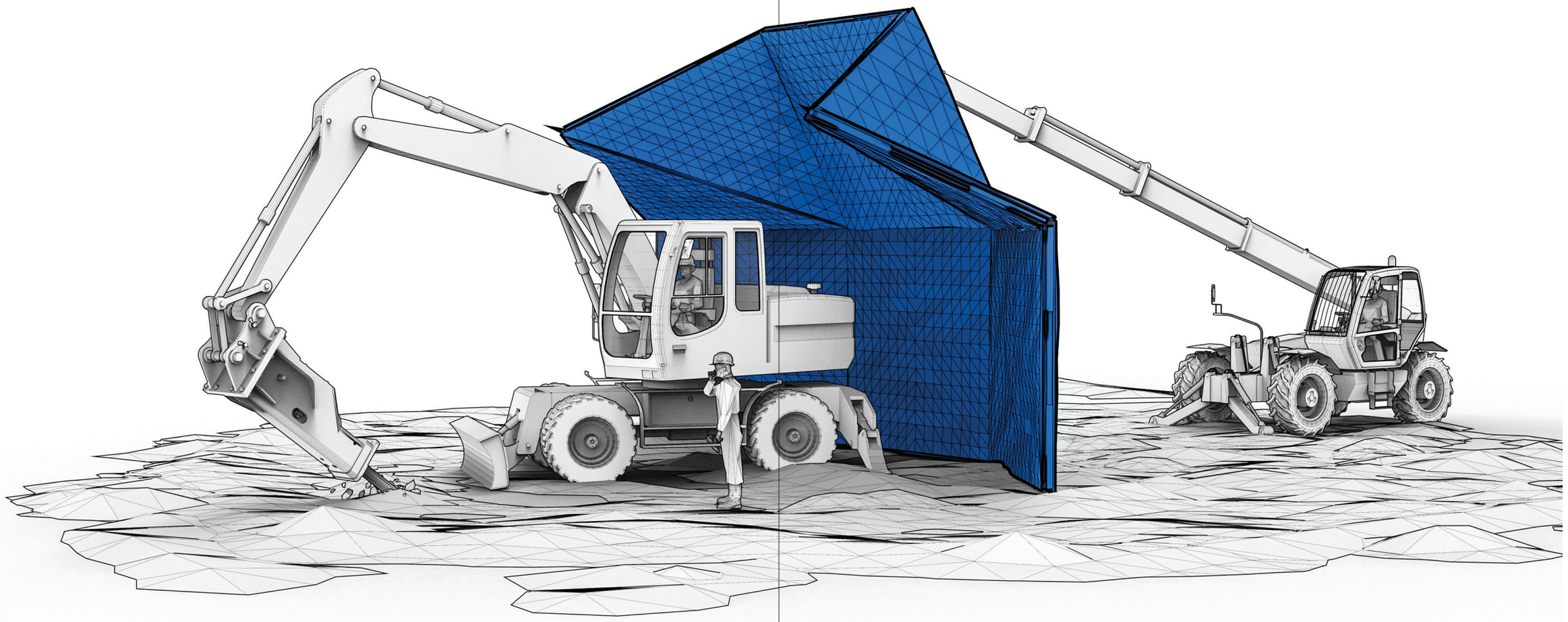
Dispositif autoportant

III. Méthodes et solutions pendant le chantier
C. Solutions innovantes à développer
❷ À la transmission du bruit
5. Bouclier acoustique mobile cloche monté sur véhicule d'intervention rapide

Mise en place par la grue

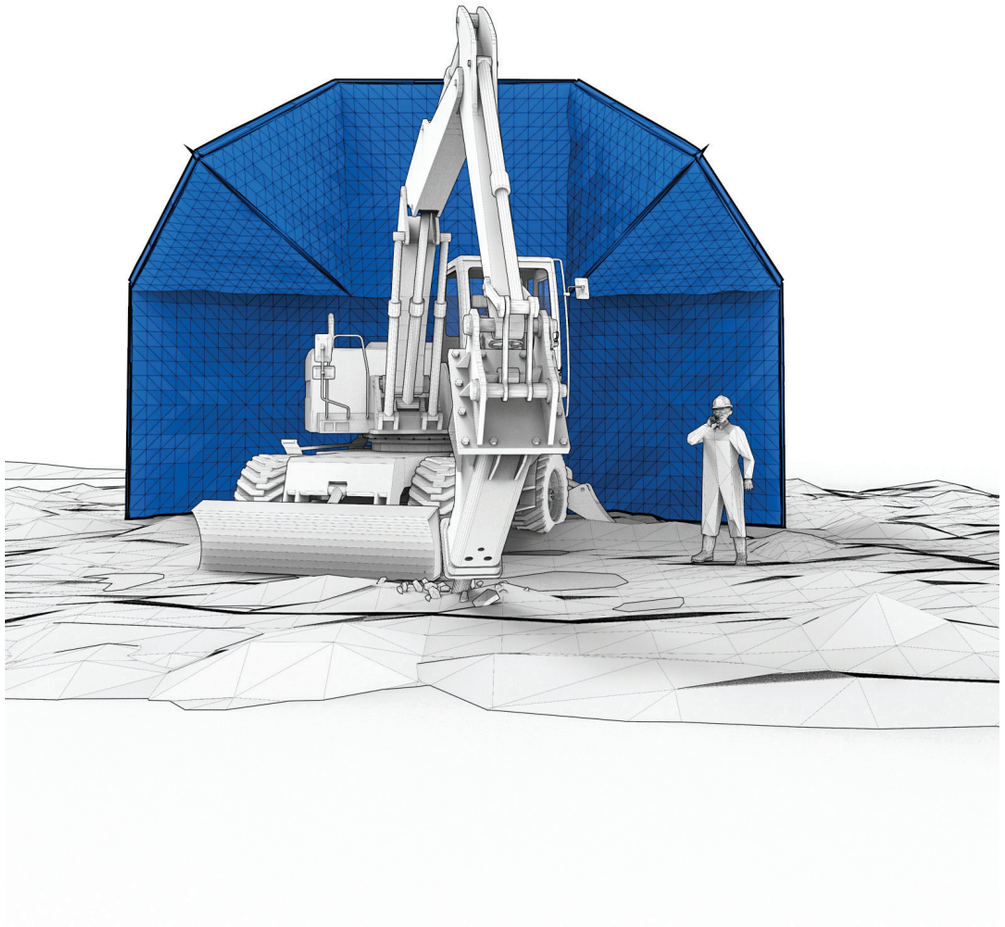
III. Méthodes et solutions pendant le chantier
C. Solutions innovantes à développer
❷ À la transmission du bruit
5. Bouclier acoustique mobile cloche monté sur véhicule d'intervention rapide

Mise en place par véhicule dédié

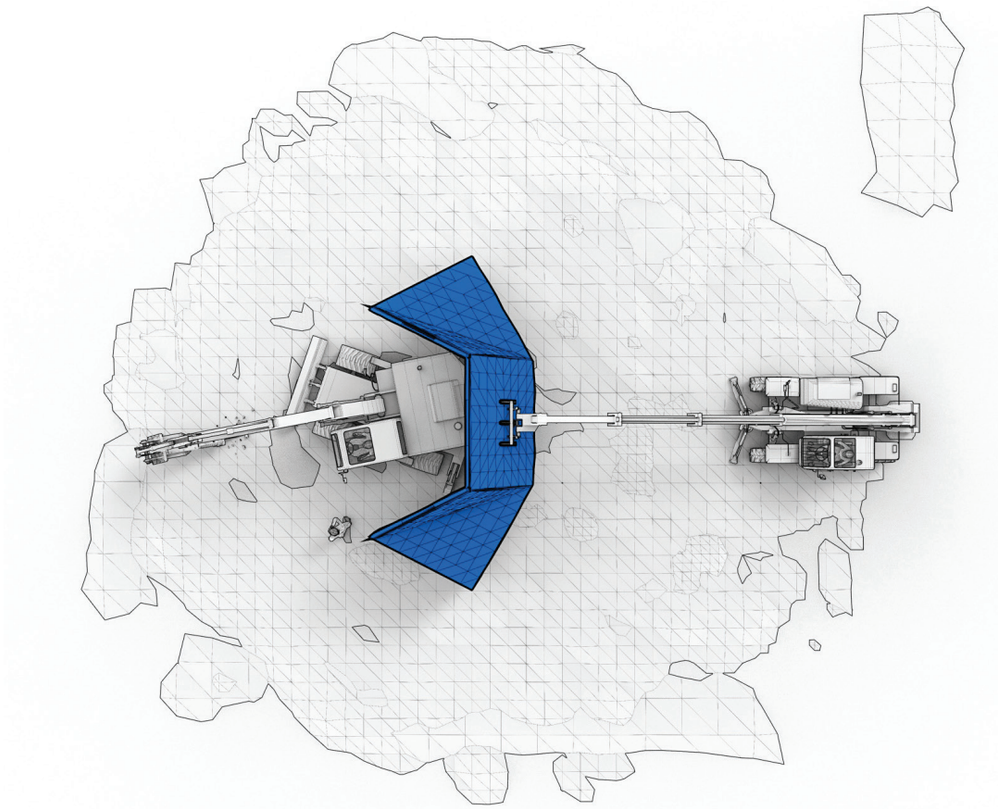


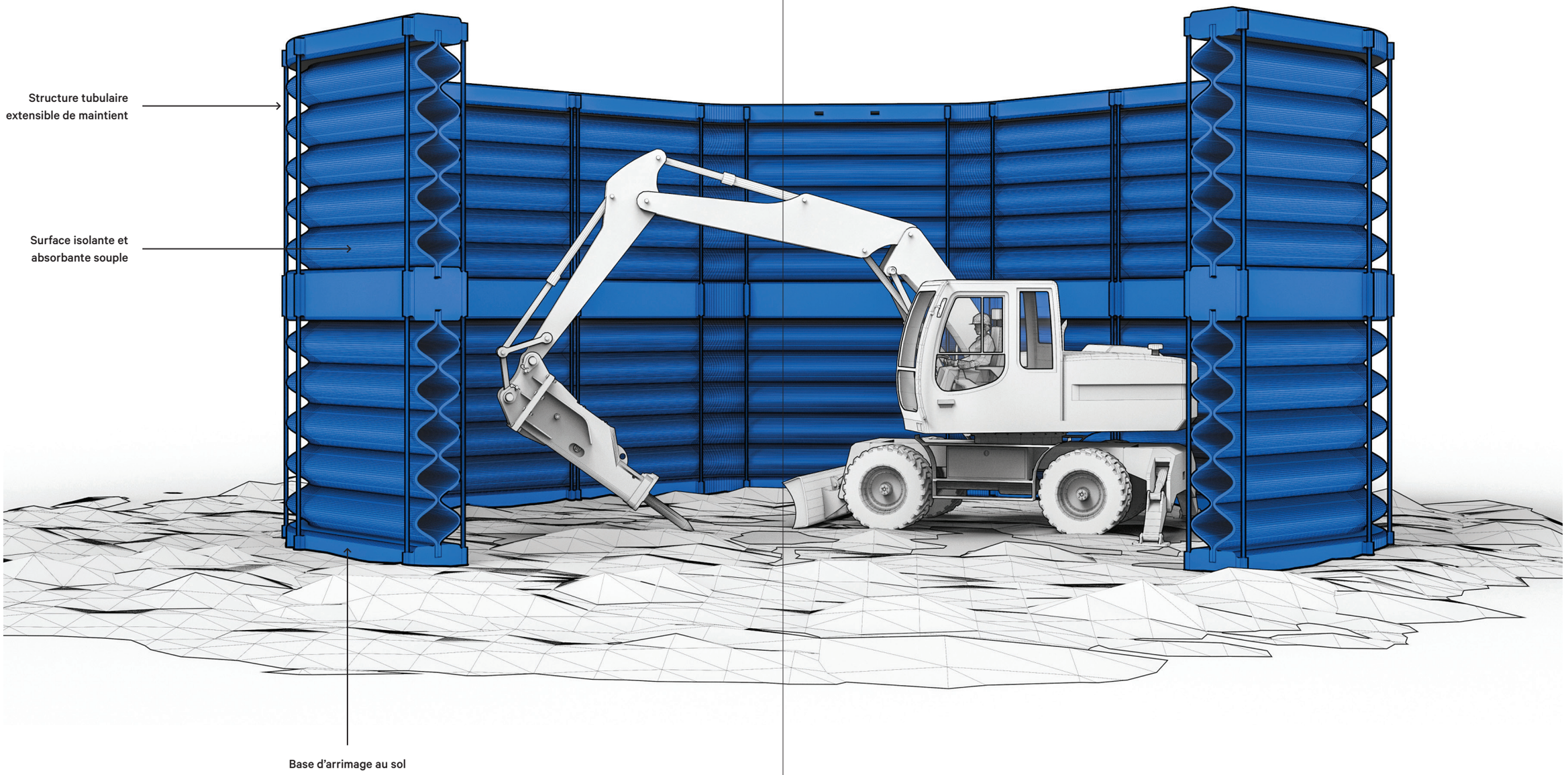
Mise en place et maintient
par véhicule dédié

III. Méthodes et solutions pendant le chantier
C. Solutions innovantes à développer
❷ À la transmission du bruit
5. Bouclier acoustique mobile cloison monté sur véhicule d'intervention rapide

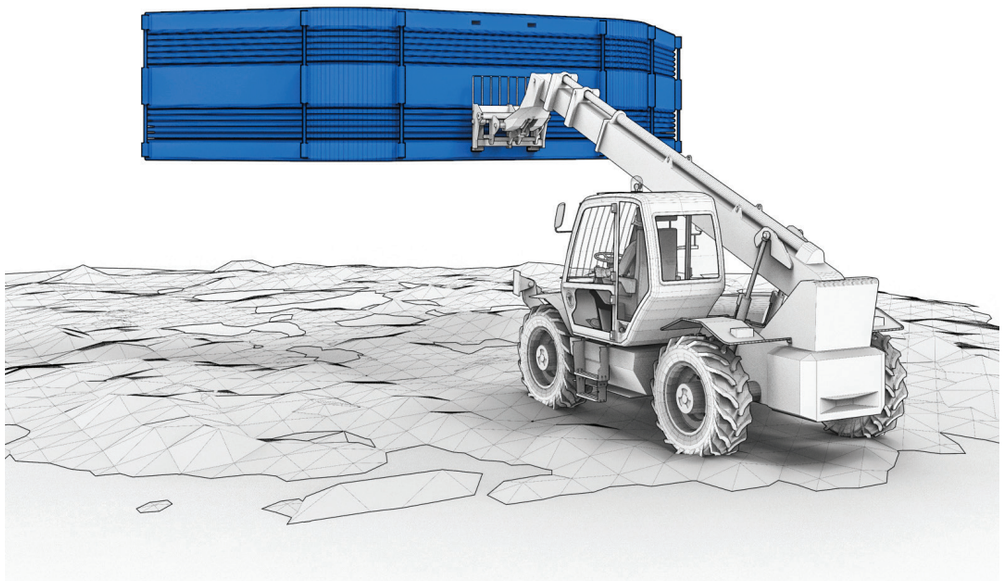


III. Méthodes et solutions pendant le chantier
C. Solutions innovantes à développer
❷ À la transmission du bruit
5. Bouclier acoustique mobile cloison monté sur véhicule d'intervention rapide

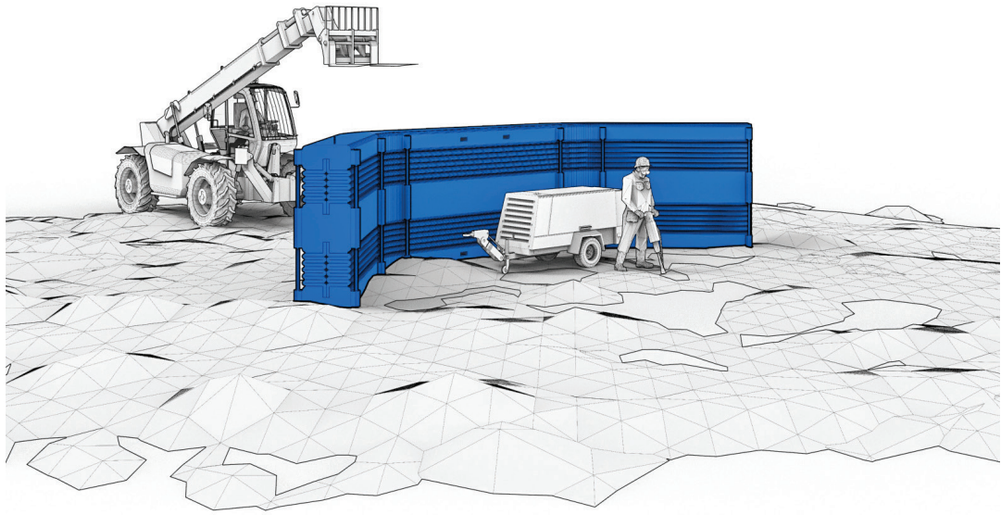


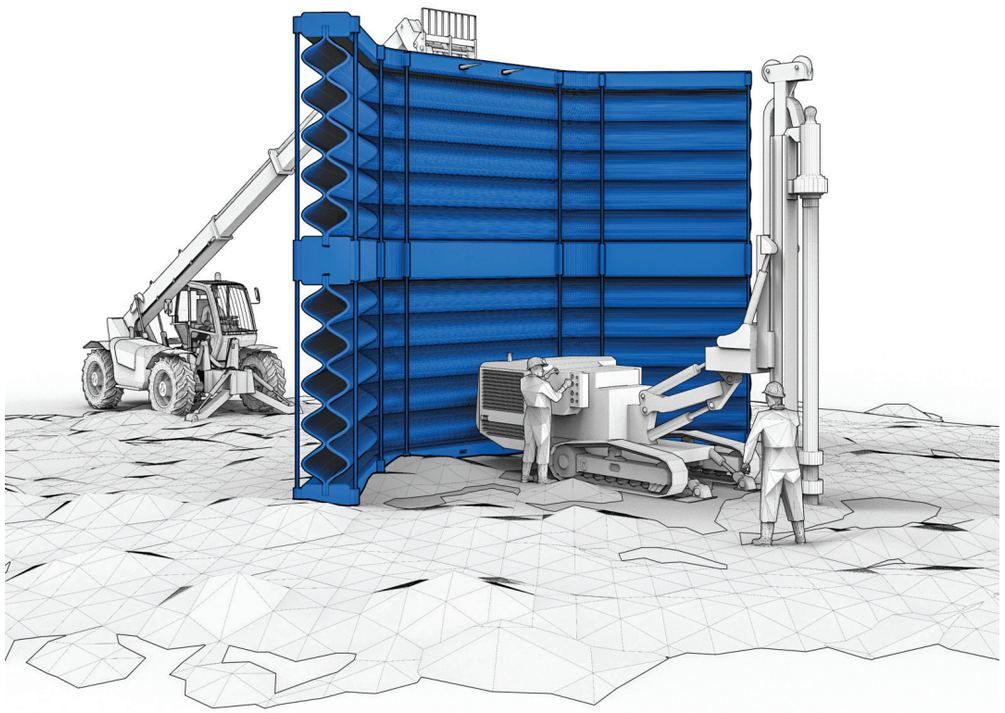


III. Méthodes et solutions pendant le chantier
C. Solutions innovantes à développer
❷ À la transmission du bruit
5. Bouclier acoustique mobile soufflet monté sur véhicule d'intervention rapide



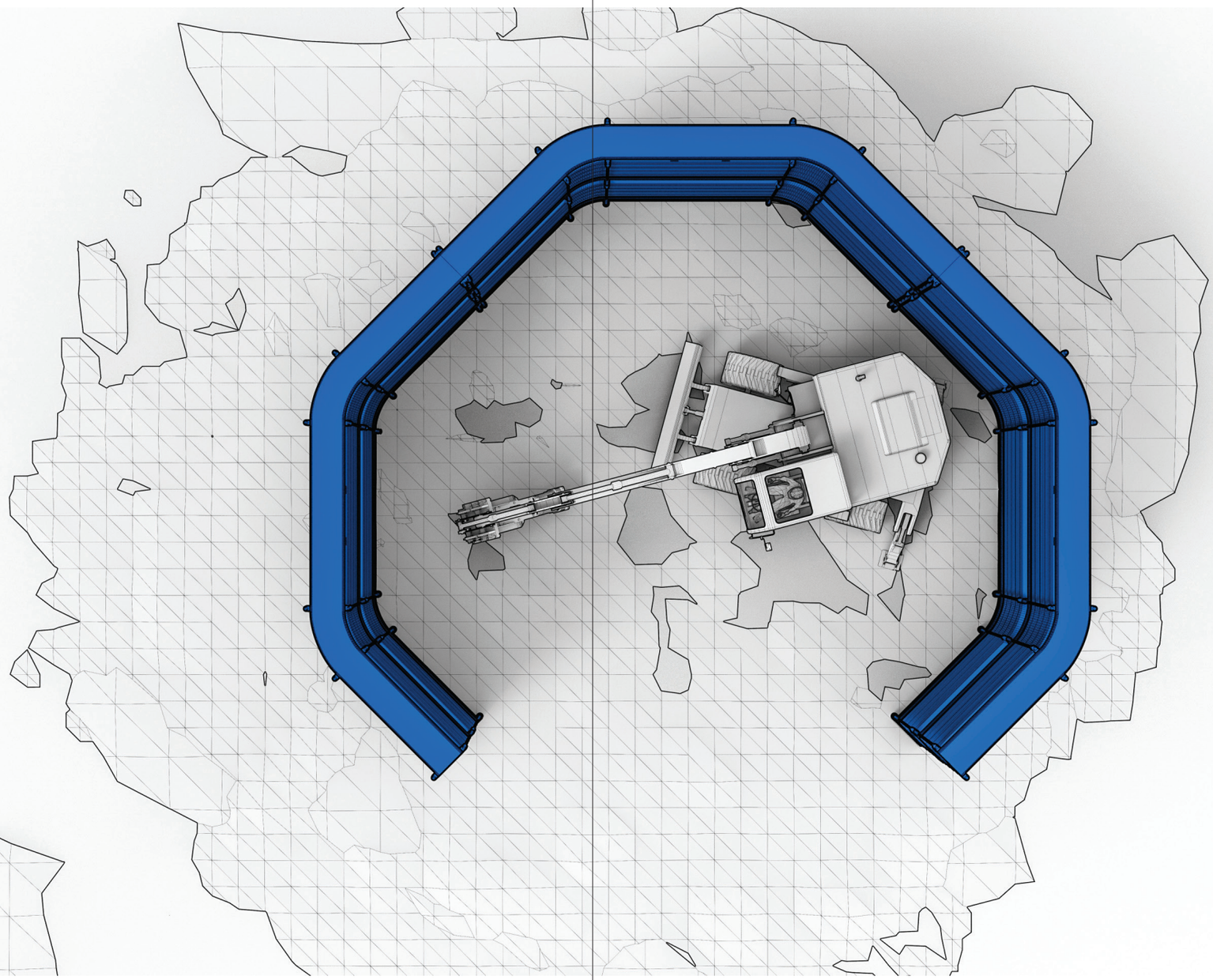
Unité modulaire autoportante
mise en place par un véhicule dédié





Unité modulaire autoportante
extensible en hauteur

Raccordement de plusieurs
unités modulaires autoportantes

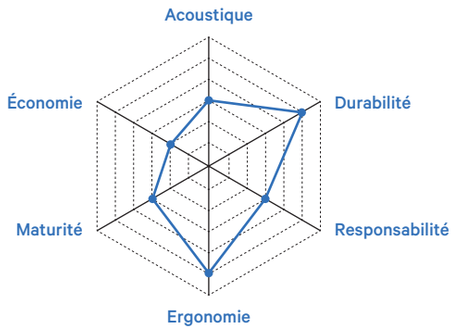


Raccordement de plusieurs
unités modulaires autoportantes

III. Méthodes et solutions pendant le chantier
C. Solutions innovantes à développer
❷ À la transmission du bruit
5. Bouclier acoustique mobile soufflet monté sur véhicule d'intervention rapide

6. Pouf

ÉVALUATION



Acoustique : peu performant.
Économie : potentiellement coûteux.
Maturité : peu utilisé, à améliorer acoustiquement et à adapter aux chantiers.
Ergonomie : déplaçable pratique pour d'autres usages en tant qu'abri.
Responsabilité : peu pertinent, note médiane.
Durabilité : réutilisations possibles.

Gamme de cloisons modulaires acoustiques gonflables et autoportantes

À priori un ballon de baudruche n'est ni un isolant ni un absorbant acoustique, mais selon les matériaux et les techniques de façonnage utilisées, il peut potentiellement répondre à certains besoins. Pour cela, on choisira une membrane élastomère un peu lourde, dont les faces intérieures et extérieures sont revêtues d'un absorbant.

Des structures internes maintiennent en tension chaque unité. Elles assurent la stabilité du système et atténuent la résonance propre. La surface extérieure forme d'elle-même des reliefs diffusants.

a. Avantages

- → Pliable et réutilisable.
- → Relativement facile à déplacer et à installer.
- → Auto-structurant.
- → S'adapte facilement au terrain.
- → Ancrage au sol simplifié.

b. Propriétés

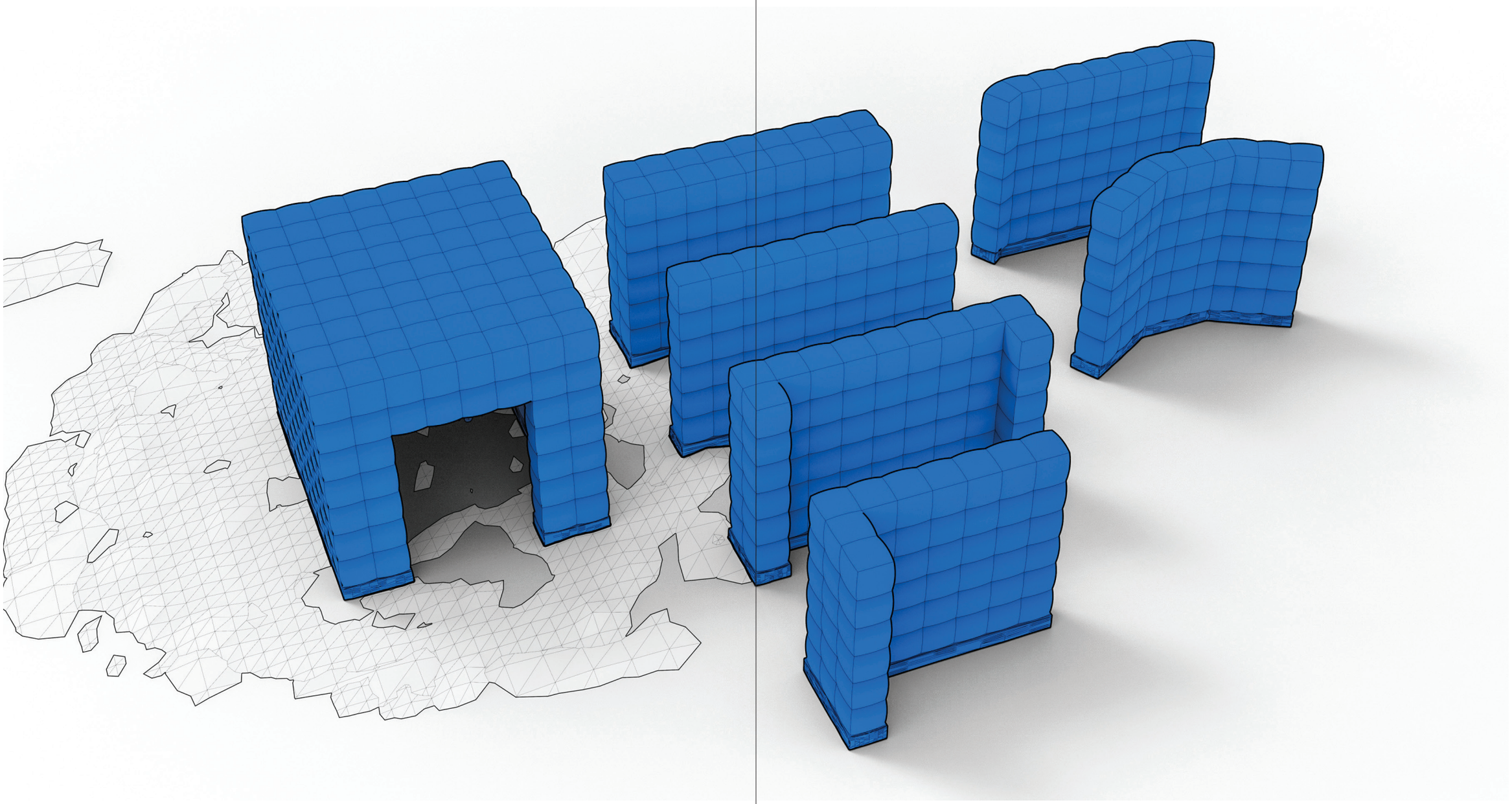
- → Membrane absorbante et isolante.
- → Usage interne au chantier.
- → Arrimage au sol pour une meilleure résistance au vent : système de sangles ou de rivets permettant d'arrimer les Poufs au sol.
- → Intégration de patchs à l'intérieur de la chambre (cf. technologie pneus Michelin).
- → Usage des structures internes pour créer une forme diffusante (non lisse).
- → Version avec fermeture zénithale translucide pour passage de la lumière.
- → Version éclairée de l'intérieur ? Comme une boite à lumière.
- → Base lestée, par exemple par un réservoir à eau dans la poche inférieure que l'on remplit après l'avoir positionné.

c. Défauts

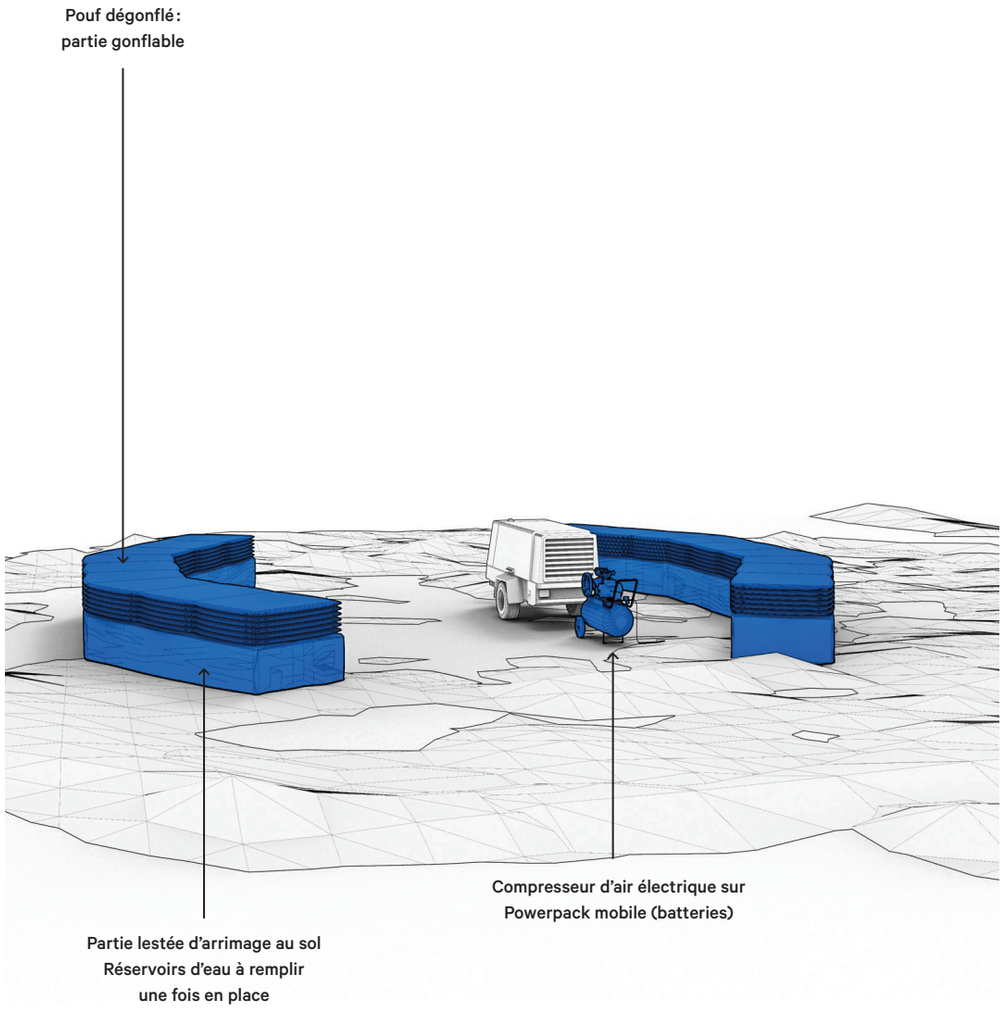
- → Efficacité acoustique réduite, néanmoins meilleure qu'une bâche.
- → Relative fragilité.
- → Doit rester en pression (compresseur potentiellement bruyant).

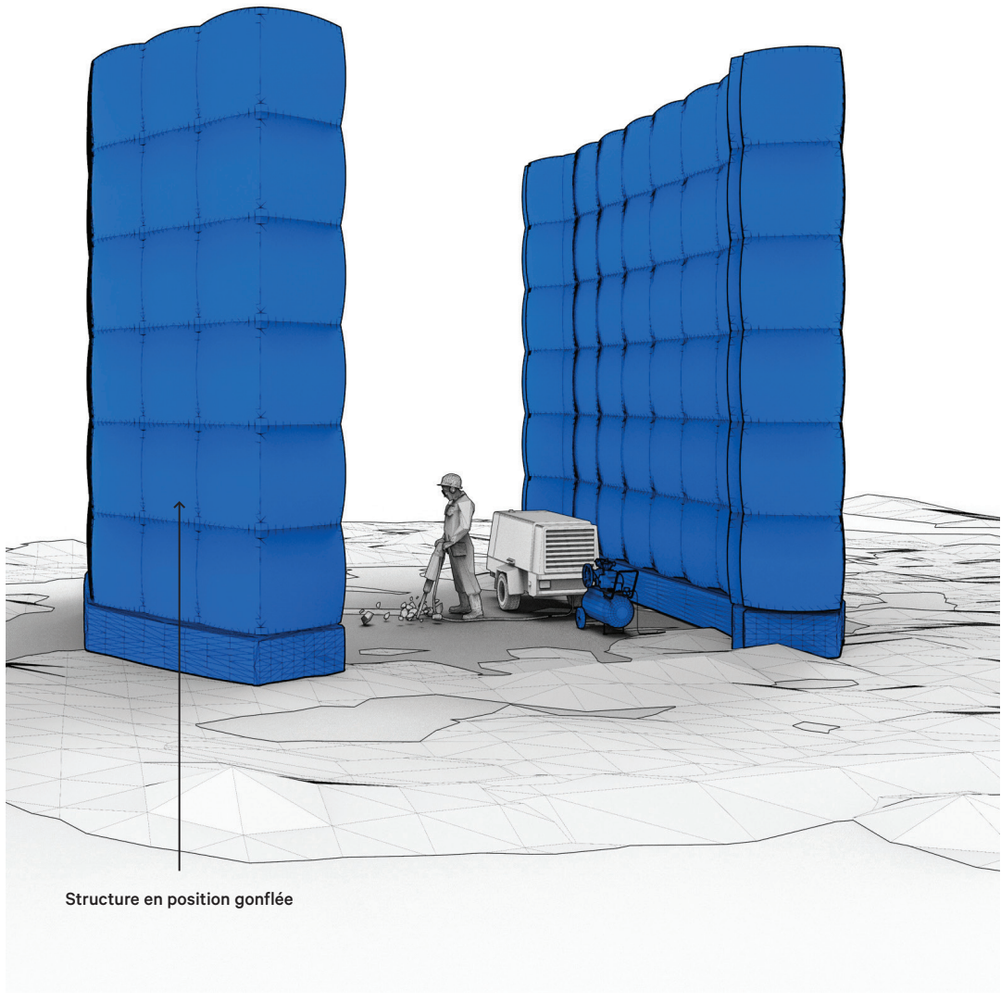
d. Questions concernant la pompe

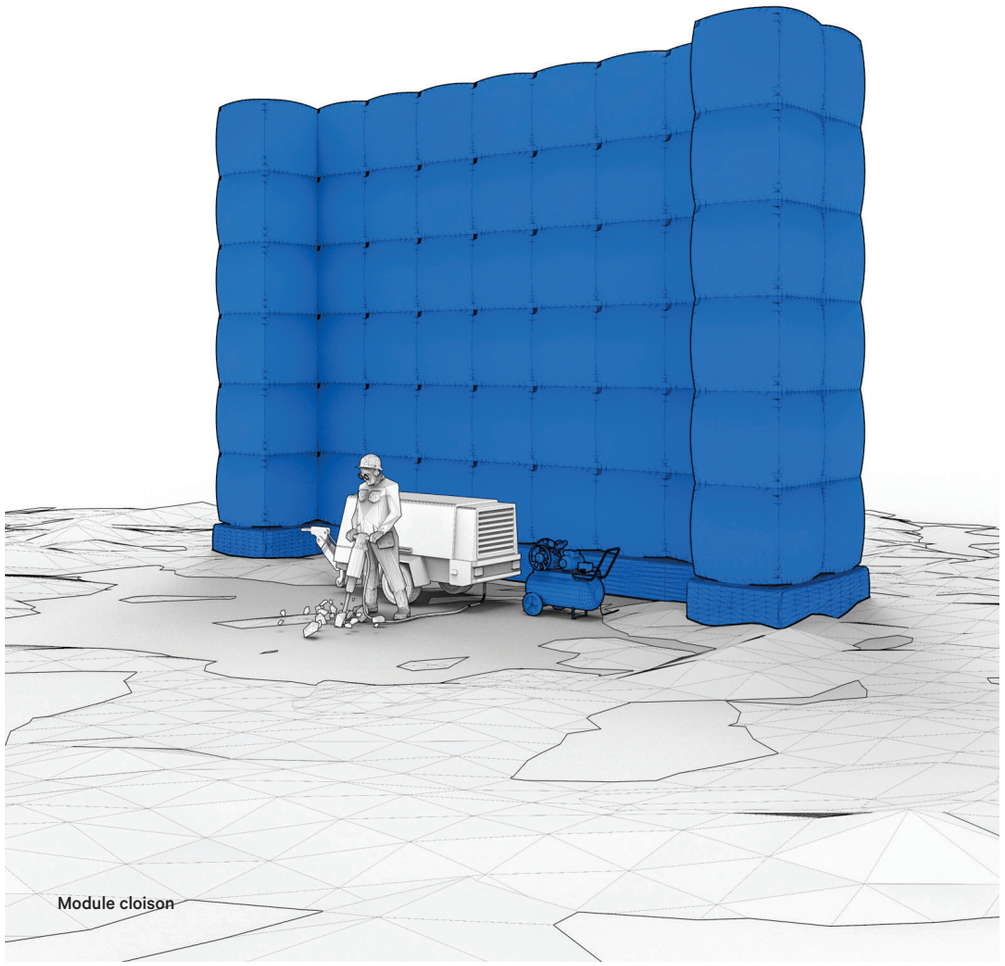
L'utilisation d'une pompe implique un peu de bruit ce qui est évidemment contreproductif. La pompe devrait être relativement silencieuse, alimentée sur batterie et coupée la nuit.



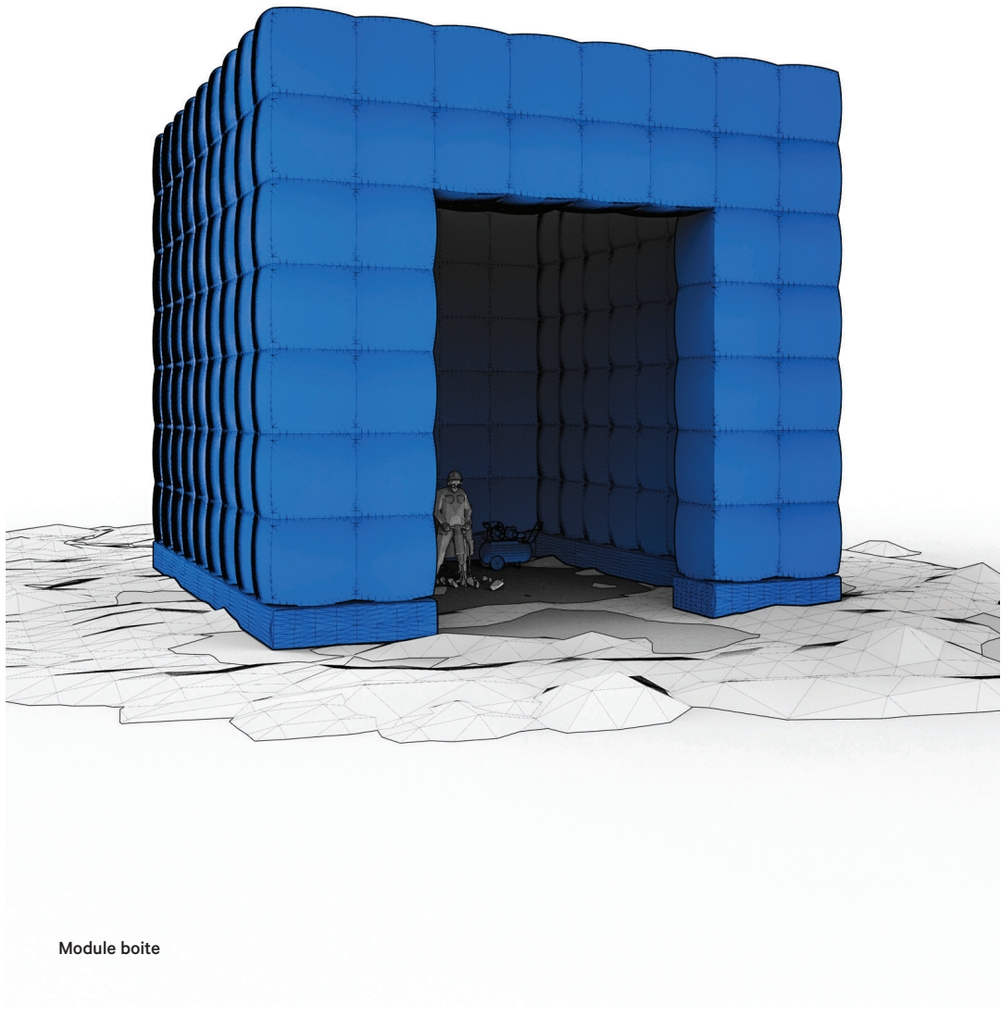
III. Méthodes et solutions pendant le chantier
C. Solutions innovantes à développer
❷ À la transmission du bruit
6. Pouf : gamme de cloisons modulaires acoustiques gonflables et autoportantes


Pouf dégonflé :
partie gonflable
Compresseur d'air électrique sur
Powerpack mobile (batteries)
Partie lestée d'arrimage au sol
Réservoirs d'eau à remplir
une fois en place


Structure en position gonflée



Module cloison



Module boite

3 À la réception du bruit

Isolation en façade

Les menuiseries extérieures sont un des principaux points faibles de l'isolation des bâtiments vis-à-vis des bruits extérieurs en général et des bruits de chantier en particulier. Les performances d'isolement d'une façade vis-à-vis des bruits extérieurs dépendent donc des performances acoustiques des éléments la constituant : menuiseries extérieures, entrées d'air et occultations.

Ce chapitre traite des solutions permettant d'améliorer les performances d'isolation acoustique des portes et fenêtres.

a. Volets acoustiques

Les volets réalisent, dans le principe, un doublage acoustique de la fenêtre (en configuration « rideau déployé »). Leur influence peut donc être favorable, aux conditions suivantes :

- → lame d'air importante entre fenêtre et volet : préférer en réhabilitation les volets montés en applique extérieure ;
- → bonne étanchéité du volet : les volets roulants sont les plus efficaces, les volets anciens ajourés le sont très peu, les volets bois traditionnels le sont moyennement, souvent mal ajustés sur la maçonnerie.

De nombreuses maisons et appartements en France sont équipés de ce type de volets. Les réglementations en vigueur ayant favorisé leur expansion.

Une vigilance toute particulière doit toutefois être apportée à la pose des coffres de volets roulants afin d'éviter les ponts phoniques.

b. Survitrages

Le survitrage a longtemps été utilisé afin de conserver d'anciennes menuiseries tout en améliorant l'isolation quasi inexistante des simples vitrages. Sa mise en œuvre est peu onéreuse.

Cependant, les défauts d'étanchéité au niveau du dormant ne sont pas règles et cette solution peut même s'avérer négative du point de vue acoustique en dégradant l'isolement (fréquence de résonance mal placée du fait d'une épaisseur de lame d'air particulière).

Aujourd'hui, avec les qualités du double vitrage, le survitrage tend à disparaître.

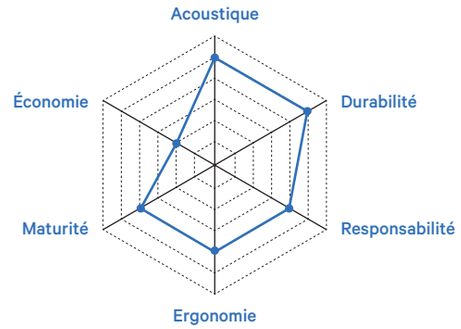
c. Conclusion

En conclusion, l'efficacité d'une couche supplémentaire ajoutée sur un élément de la façade existante dépend de la performance de cet élément particulier. Un élément déjà hautement performant acoustiquement ne nécessitera pas de traitement supplémentaire. À contrario, un élément de façade aux propriétés acoustiques assez basiques sera plus performant si on lui adjoint une des solutions précitées.

Ces solutions offrent l'avantage de fonctionner pour tous les types de bruits en provenance de l'extérieur. Ainsi, dans le cas d'une chambre à coucher donnant sur un chantier et une rue, double amélioration des conditions de sommeil par protection vis-à-vis des bruits du chantier et des bruits liés au trafic routier et/ou ferroviaire.

1. Fenêtres Actives

ÉVALUATION



Acoustique : performantes à l'intérieur de logement pour des bruits continus.
Économie : coûts potentiellement importants.
Maturité : systèmes existants, en cours d'amélioration.
Ergonomie : peu d'ouverture possible.
Responsabilité : non pertinent.
Durabilité : pérennité pour le logement après le chantier.

a. Principe de la fenêtre active

La réduction active du bruit est de plus en plus utilisée, notamment pour atténuer les bruits extérieurs des casques audio ou des gaines de ventilation, elle consiste à inverser en temps réel une onde sonore pour produire du silence (génération d'un signal sonore en opposition de phase).

Le son se transmet par une variation de pression atmosphérique rapide différente en chaque point de l'espace. Pour l'atténuer il faudrait théoriquement compenser la pression positive par une pression négative correspondante différente pour chaque point de l'espace.

Or dans un casque ça peut être assez simple, il suffit d'un micro, d'un inverseur, d'un ampli et d'un haut-parleur pour chaque oreille puisque que tout se passe au même point.

Mais le bruit passant par la fenêtre ouverte est bien différent à chaque centimètre carré de la surface d'ouverture. Un système capteur/inverseur/actionneur tous les 30 cm permet théoriquement d'atténuer des sons de fréquences graves inférieures à 100 Hz.
Ce serait bien, puisque les composantes graves sont très présentes et parmi les plus gênantes dans le bruit des chantiers et de la circulation.

Ajoutons que le contrôle actif est performant sur des bruits plutôt stables dans le temps et qu'il ne pourra agir sur des bruits impulsionnels inattendus comme on peut en rencontrer sur chantiers.

Ce sont les raisons pour lesquelles il est assez difficile de fabriquer des fenêtres actives efficaces. Il ne suffit malheureusement pas d'un seul micro extérieur et d'un unique vibreur collé sur la vitre branché à l'envers pour arrêter les bruits. On trouvera pourtant sur internet des « solutions magiques » sur ce principe, mais qui n'offrent pas d'efficacité significative.

Toutefois quelques produits et projets sortent du lot et offrent des solutions relativement efficaces et mesurables, mais qui restent encore relativement coûteux.

b. La fenêtre Active Technal[1]

C'est peut-être le seul produit existant et actuellement efficace sur le marché.

Elle associe une fenêtre coulissante en aluminium[2] de qualité avec une technologie mixte passive / active de réduction du bruit, ce qui permet d'obtenir des niveaux d'atténuation acoustique jusqu'à 25 dB en position ouverte sur 10 cm d'ouverture.

Technologie passive

L'ouverture de la fenêtre est bordée de deux parois latérales qui créent un tunnel jouant le rôle de silencieux. Elles se composent d'un isolant acoustique (laine minérale d'une épaisseur de 6 à 20 cm sur une profondeur de 25 cm environ) placé sur les montants extérieurs du cadre ouvrant et du montant dormant. Lorsque les sons pénètrent dans ce silencieux, ils sont absorbés par les parois tout au long de leur cheminement. Au final, le bruit est atténué, dans les moyennes et hautes fréquences (correspond aux bruits aigus comme la voix).

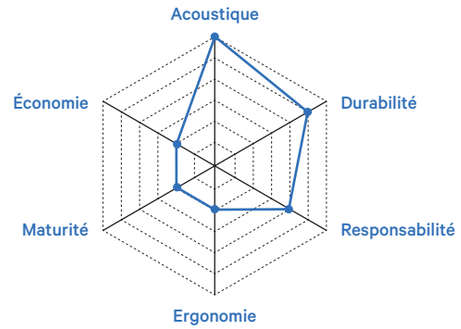
Technologie active

Des micros disposés à intervalles réguliers captent le bruit qui passe à travers le tunnel. Un calculateur l'analyse et produit le contre-bruit qui est diffusé grâce aux haut-parleurs. Ce système contrôle en permanence les sons entrants et annule automatiquement les composantes basses fréquences (bruit grave tel que le trafic routier). Le calculateur met en place un algorithme de contrôle actif (référence filtrée) pour optimiser les signaux de commande envoyés à chaque haut-parleur.

1. https://www.youtube.com/watch?v=CVvYycb-cjk
2. Telle que les fabrique l'entreprise Technal www.technal.com une marque du Groupe Hydro International : fabriquant d'aluminium www.hydro.com

2. Volet acoustique et survitrage provisoire

ÉVALUATION



Acoustique : efficace à l'intérieur de logement.
Économie : coûts potentiellement importants.
Maturité : travail de développement nécessaire.
Ergonomie : contraintes (visuelle, d'aération, de sécurité, etc.).
Responsabilité : isolation thermique, support de communication potentiel.
Durabilité : pérennité pour le logement après chantier.

Survitrage ou volet extérieur communicant

Un volet acoustique ou encore un survitrage transparent/translucide pourrait être ajouté provisoirement pendant la durée des travaux en façade à l'extérieur de logements. Il permettrait à la fois de réduire la gêne due au bruit et aussi de montrer que les riverains sont protégés. Ces volets pourraient être démontés à la fin du chantier et réutilisés sur un autre chantier.

La solution de véritables vitrages acoustiques pérennes est à privilégier, mais il faut s'y prendre suffisamment à l'avance pour les installer avant le début du chantier[1].

En cas de période de bruit fort, quand on n'a pas trouvé d'autre solution, il serait donc souhaitable de disposer d'une solution provisoire. Ce volet acoustique ou survitrage offrirait une forme modulaire adaptables à un maximum de types de bâtiment.

1. Voir LBSC : III. B. ❸ 3. « Rénovation de la façade permanente ».

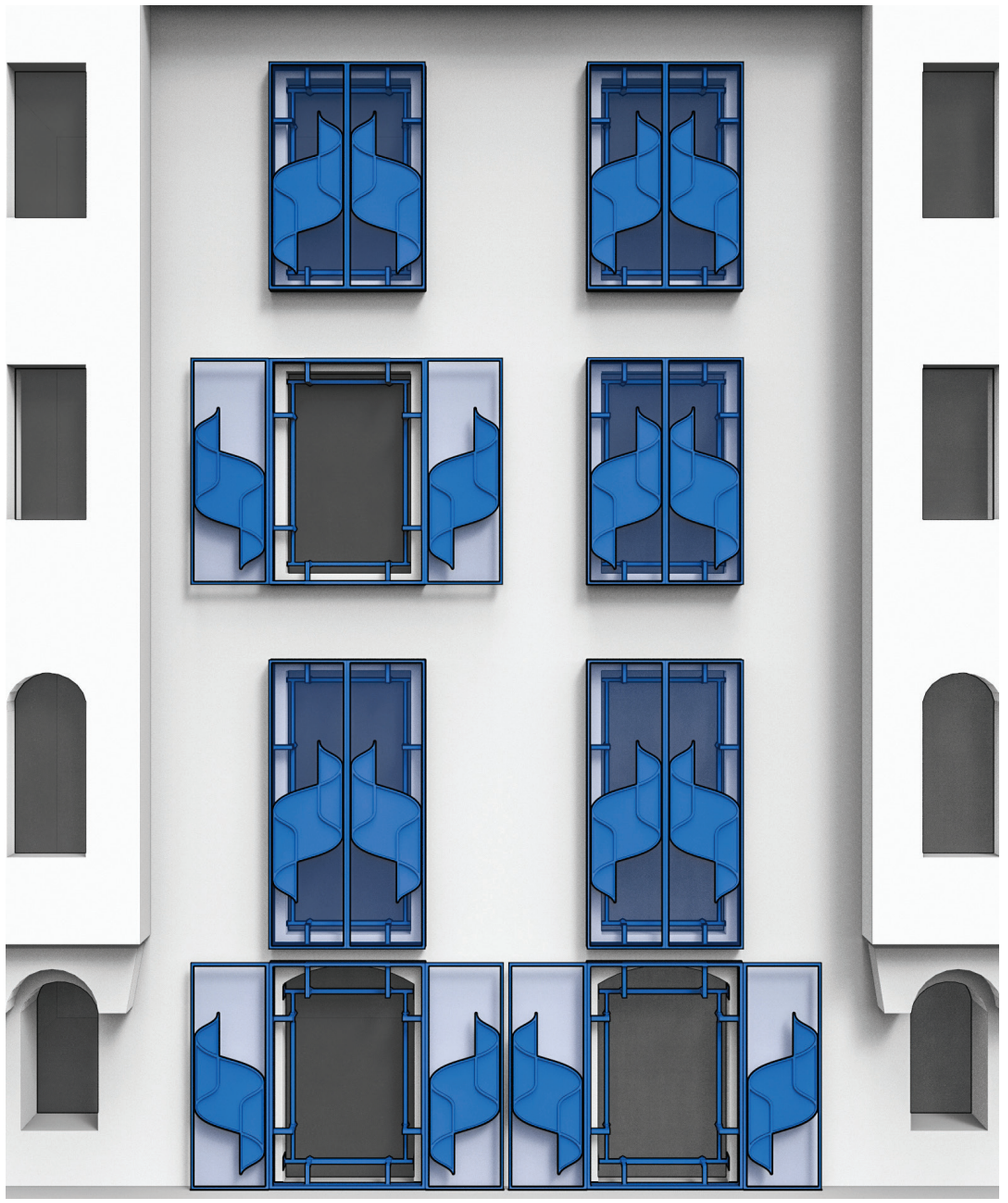
Sa structure porteuse se fixerait en huit points d'appui placés en opposition dans le cadre extérieur de la fenêtre et s'adapterait aux dimensions des fenêtres. Ces points d'appui seraient fixés solidement dans le revêtement du cadre.

Le volet lui-même, autrement dit l'isolant acoustique, serait monté sur deux battants ou coulissants ou bien sur un oscillant unique avec une charnière en partie basse. Le matériau isolant serait transparent, opaque ou semi-transparent selon qu'il soit conçu pour la nuit ou le jour.

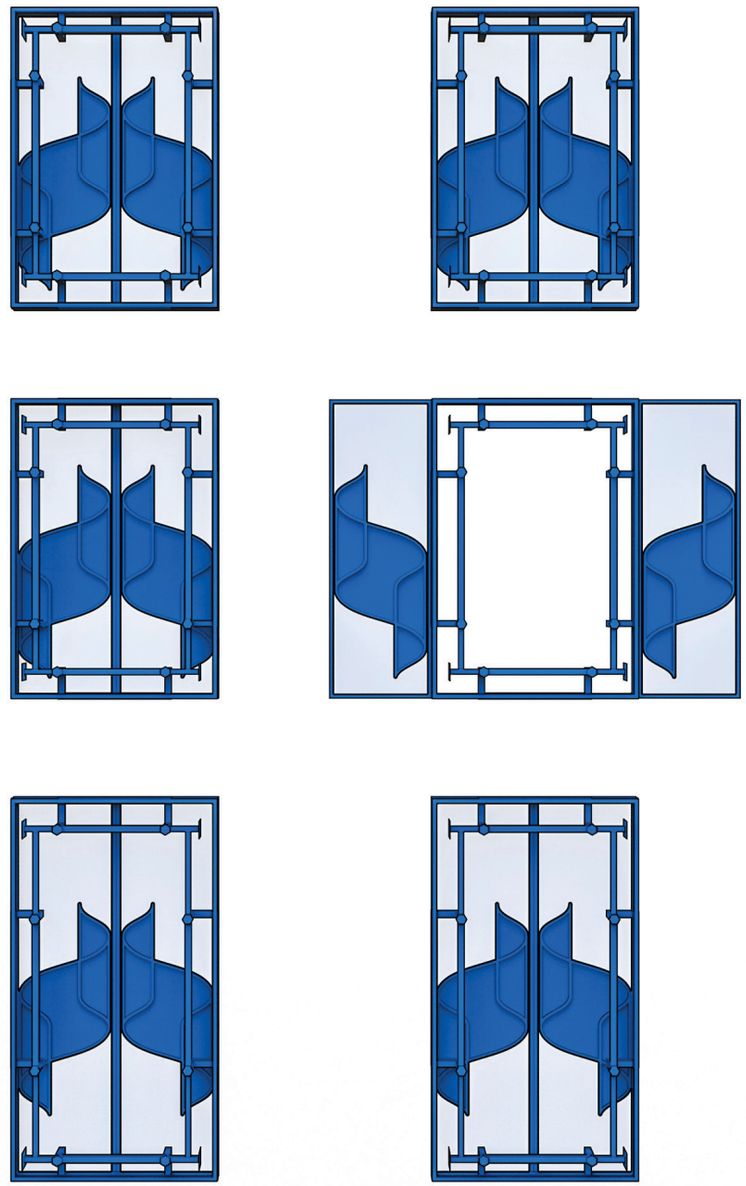
Le contact hermétique avec la façade serait assuré par un joint épais plaqué sur la façade et fixé sur le côté intérieur du cadre principal.

Cette idée séduisante, réclame une certaine vigilance du fait de l'hétérogénéité des supports (variabilité des façades, ouvrants existants...). De plus, cette solution pourrait se voir confrontée à tout un ensemble de contraintes (Bâtiment de France, sécurité, aération, etc...).

III. Méthodes et solutions pendant le chantier
C. Solutions innovantes à développer
❸ À la réception du bruit
2. Volet acoustique et survitrage provisoire



III. Méthodes et solutions pendant le chantier
C. Solutions innovantes à développer
❸ À la réception du bruit
2. Volet acoustique et survitrage provisoire

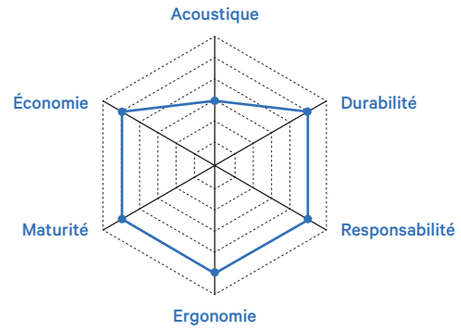


Riverains : Inventer des stratégies pour se protéger chez soi

En tant que riverain d'un chantier, d'un lieu ou d'une activité bruyante, il existe des stratégies de protection et d'adaptation, non pas comme solution alternative aux solutions en amont (traitements à la source et isolants acoustiques), mais pour ne pas accumuler le stress et agir autant que possible à son niveau propre pour atténuer la gêne ressentie.

Il est également possible d'apporter de l'aide aux riverains pour mettre en place ces stratégies. Il arrive souvent que les riverains ne soient pas en mesure de s'organiser par eux-mêmes pour mettre en place ces stratégie, c'est souvent le cas pour les personnes âgées, les personnes handicapées, les habitants ayant du mal à modifier leurs habitudes...etc. Une assistance pourrait leur être proposée, notamment pour réaménager provisoirement leur espace de vie afin de réduire la gêne sonore à l'intérieur de l'habitat

ÉVALUATION



Acoustique : effets limités.
Coût : peu coûteux.
Maturité : éléments à disposition, travail de communication et d'organisation.
Ergonomie : simples à procurer, informations utiles.
Responsable : écoute et lien social.
Durabilité : effets durables pour les riverains.

a. S'organiser en fonction des activités de la journée, trouver des parades

- → Adapter ses horaires quand c'est possible.
- → Modifier les attributions des pièces du logement quand c'est possible, déplacer son espace de travail.
- → Consulter les informations disponibles ou se renseigner sur la programmation des activités bruyantes du chantier dans les prochains jours.
- → Identifier les bruits et reconnaitre les actions qui les produisent.
- → Enregistrer les bruits pour mieux les connaitre, les collecter, les dater, les commenter comme on le fait avec des photos.

b. Améliorer l'absorption intérieure des pièces et chambres

- → Ajouter des rideaux intérieurs, des tapis, des surfaces absorbantes.
- → Meubler d'éléments absorbants.

c. Travail de concentration ou lecture à la maison

- → Trouver la musique la plus adaptée au bruit et à la nature de l'activité ou de la tâche.
- → Écouter de la musique ou la télévision au casque. Utiliser si possible un casque à silence actif pour les tâches demandant de la concentration. Ces casques atténuent le bruit et permettent de mieux entendre la musique à un volume moins élevé.

d. La nuit

La nuit, la tolérance au bruit est beaucoup plus faible que le jour.

- → Quand c'est possible, modifier provisoirement l'organisation de l'appartement, pour dormir dans la pièce la plus calme.
- → Se protéger avec des bouchons si besoin.
- → Déplacement de mobilier.
- → Aménagement intérieur adapté. e.g. lit escamotable dans une pièce autre que la chambre.
- → Installation de protections acoustiques à l'intérieur de l'habitat : rideau, paravent, coulissant…
- → Volets acoustiques aux fenêtres.
- → Utiliser un ventilateur pour renouveler l'air sans ouvrir la fenêtre et pour masquer le bruit du chantier.

e. Aide en aménagement intérieur pour réduire la nuisance

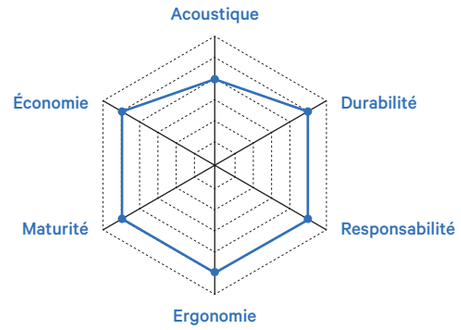
Le conseil d'aménagement intérieur peut être fait par un acousticien et un aménageur d'intérieur puis réalisé par une équipe de travaux. La prestation sera forcément limitée à l'essentiel, mais pourra considérablement améliorer le quotidien pendant la durée du chantier. Et surtout, remettre tout en place après la fin du chantier, sauf si la nouvelle disposition de l'appartement est finalement préférée.

Ndlr :

Ces conseils pourraient sans doutes être mal interprétés, mais nous avons malgré tout souhaité les inscrire dans le LBSC, car nous savons à quel point le vécu psychologique peut influer sur la gêne ressentie, et que quelquefois des mesures simples peuvent s'avérer utiles.
Ces conseils peuvent parfois rendre plus viable une gêne résiduelle, mais ne peuvent en aucun cas être utilisés comme alternative aux travaux nécessaires de protections des riverains.

3. Isolation acoustique à l'intérieur de l'habitat

ÉVALUATION



Acoustique : efficacité variable, à l'intérieur de logement.
Économie : coûts variables, généralement faibles.
Maturité : systèmes existants.
Ergonomie : éléments flexibles.
Responsabilité : usage occultant, isolation thermique.
Durabilité : réutilisations possibles.

Les dispositifs d'amélioration de l'isolement acoustique de la façade – à l'aide d'équipements extérieurs de type volets et vitrage acoustiques – sont plus efficaces que les systèmes placés à l'intérieur du logement.
Les premiers peuvent atténuer de -20 à -40 dB(A) les bruits extérieurs, alors que les seconds atteindront plutôt des gains de -10 à -15 dB(A) comme ordre de grandeur.
La principale raison est qu'il est plus difficile d'éviter les fuites à l'intérieur qu'à l'extérieur.

↓

Ces solutions peuvent donc venir en complément d'actions plus efficaces en amont.

Les volets acoustiques intérieurs peuvent prendre de nombreuses formes, par ordre d'efficacité croissante :

- → Rideau textile acoustique renforcé occultant le plus hermétiquement possible le cadre de la fenêtre.
- → Volet en bois ou ajouté sur les ouvrants existants.
- → Volet en bois occultant le plus hermétiquement possible le cadre de la fenêtre.
- → Nouvelle fenêtre complète ouvrant vers l'intérieur et dont le bâti est hermétiquement installé dans le retrait intérieur de l'encadrement de la fenêtre existante. C'est une solution efficace, mais coûteuse. Elle implique un retrait suffisant du cadre intérieur et pose souvent des problèmes en partie basse ou haute (présence de radiateurs, obligation de descendre jusqu'au sol, plafond incliné…).

La résonance acoustique de la pièce d'habitation peut également renforcer l'impression de bruit et un rideau intérieur peut être bénéfique pour atténuer cet effet.

a. Rideaux intérieurs

Certains fabricants vendent des rideaux acoustiques qui sont spécifiquement conçus pour réduire le temps de réverbération dans une pièce. Il existe également des rideaux qui ont un effet isolant acoustique. Ces rideaux ont en commun qu'ils sont multicouches et « lourds ».

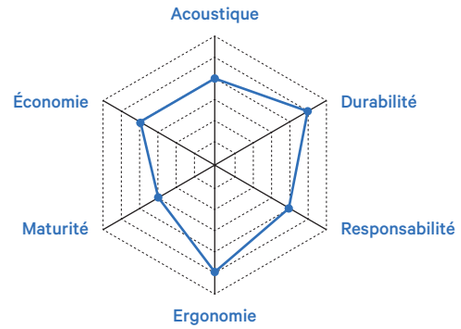
En laboratoire, ces rideaux présentent un indice affaiblissement acoustique d'environ 10 à 14 dB, en fonction du nombre de couches. À noter que cela ne signifie pas que les performances globales de la façade augmenteront de 10 dB, ni les performances de la seule fenêtre ou porte équipée de ce rideau.

Ce type de rideau permet de limiter la nuisance en augmentant le confort acoustique et en réduisant le bruit en provenance de l'extérieur. Cela pourrait suffire pour que les gens trouvent du repos. À noter que pour augmenter le confort acoustique en ajoutant de l'absorption, on suppose que la pièce traitée manque de surfaces absorbantes, ce qui n'est pas forcément toujours le cas.

Lors de l'installation d'un rideau en tant que barrière acoustique, il est important de s'assurer que le rideau est parfaitement aligné avec la façade. Aucune ouverture sur les bords du rideau n'est autorisée.

4. Paravent acoustique

ÉVALUATION



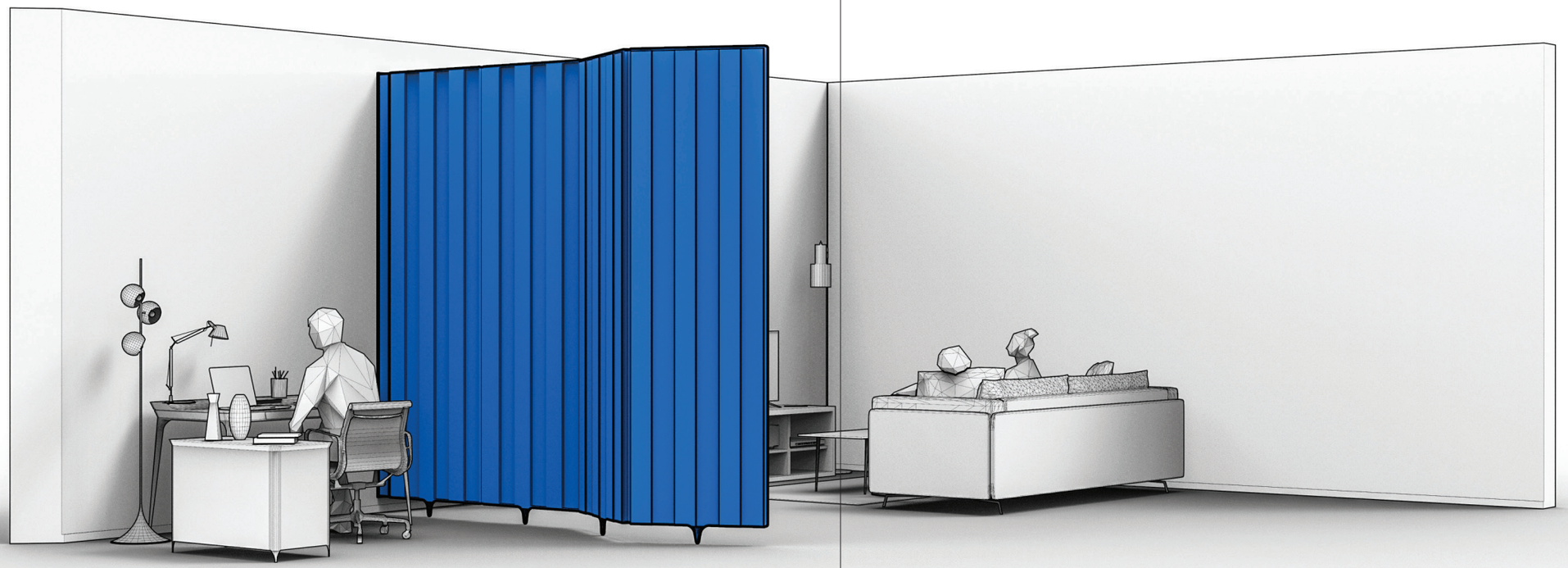
Acoustique : efficacité limitée et à l'intérieur du logement.
Économie : coût moyen.
Maturité : travail de développement et d'adaptation.
Ergonomie : déplaçable, usage occultant voire thermique.
Responsabilité : peu pertinent, note médiane.
Durabilité : réutilisations possibles pour le riverain.

- → **Dispositif modulaire pouvant s'adapter à différents contextes, comme par exemple aux portes-fenêtre, aux fenêtres, aux radiateurs…**
- → **Dispositif multi fonctionnel.**
  - → **Bonne isolation acoustique en mode fermé.**
  - → **Très bon occultant lumineux en mode fermé.**
  - → **Cloison mobile offrant de multiples configurations possibles d'aménagement.**

Descriptif

Un cadre est fixé au mur. Ce cadre permet de s'adapter à tout type de configuration et de s'affranchir des épaisseurs des fenêtres. Sur ce cadre est fixé le paravent composé de 4 panneaux articulés de 5 cm d'épaisseur chacun offrant une très bonne isolation acoustique. Pour une facilité de manipulation, les panneaux reposent sur des pieds dont les zones de contact avec le sol sont des boules en téflon. Le revêtement acoustique des panneaux est constitué de feutre offrant un caractère déco design au dispositif.

Des options peuvent être intégrées au cadre comme par exemple une tringle et un voilage en partie haute intérieure ainsi que des étagères en partie basse.



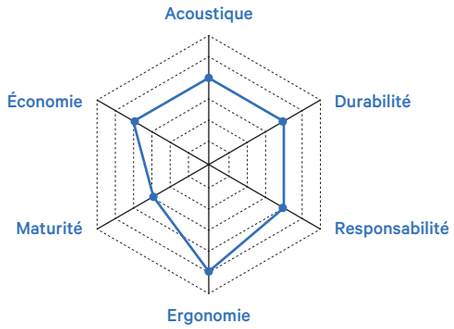
III. Méthodes et solutions pendant le chantier
C. Solutions innovantes à développer
❸ À la réception du bruit
4. Paravent acoustique

Paravent ouvert

Paravent fermé

5. Radio Chantier

ÉVALUATION



Acoustique : effets limités et variables.
Économie : coût modéré.
Maturité : système à créer et à adapter.
Ergonomie : utilisation simple.
Responsabilité : échanges et interactivité avec le chantier.
Durabilité : système reproductible.

Une application récréative de transformation musicale des bruits de chantiers en temps réel

Cette application serait ajoutée au kit Riverains. Il s'agirait d'une application de réalité augmentée audio offrant la possibilité aux riverains de modifier en temps réel le bruit extérieur pour le transformer en musique à l'intérieur de l'habitation. Les bruits du chantier sont captés, musicalisés et transformés en éléments d'une composition musicale.

↓

Si un bruit te gêne, écoute-le.

Cette proposition ne prétend pas réduire les nuisances sonores, car elle vient en quelque sorte ajouter du son au bruit existant. Plus précisément, elle noie partiellement le bruit dans la musique et transforme des bruits en éléments musicaux. Elle vise plutôt à modifier le point de vue dans la relation psychologique conflictuelle entretenue avec le bruit ; elle permettrait de contribuer à une acceptation peut-être plus pacifique de ce bruit.

Autrement dit, plutôt que de se crisper sur l'agression et se « faire du mal », il s'agit de l'accepter et d'en tirer le meilleur parti possible. Ce qui n'empêche en aucun cas de lutter contre les cause du bruit, au contraire, cela permet de prendre de la distance et d'être plus efficace dans l'action, d'apprendre à discerner des bruits, à identifier les plus gênants…

Asseyez-vous confortablement avec votre casque sur les oreilles. Lancez l'application Radio Chantier, choisissez votre ambiance. C'est parti, les bruits du chantier se transforment en une musique agréable, modulant au gré des évènements saillants du chantier que vous continuez à entendre au loin, en harmonie avec les mouvements qui s'y font. Les rotations électriques de la grue à tour se transforment en une trame électronique d'accords tenus, accompagnant des jeux de percussions doucement modulés par quelques résonances de bennes éparses…

L'écoute se fait de préférence sous un casque fermé, pour profiter de l'atténuation propre du casque, mais cela fonctionnerait aussi en diffusion aérienne dans la pièce.

Il existe déjà des applications fonctionnant sur ces procédés utilisés en musique contemporaine live électronique depuis les années 70[1]. Aujourd'hui ce type d'application est assez facile à réaliser, y compris dans un simple navigateur de smartphone.

1. Un exemple intéressant pour sa qualité musicale est l'App rjdj.
http://augment.audio

a. Choix d'ambiances/ utilisations

2. En utilisant par exemple les stations de monitoring directives de type Méduses.

Danser

Partager

Jouer

Travailler

Se relaxer

Dormir

Super Oreille
Perception augmentée des bruits de chantier, identification, géolocalisation[2]…

b. Processus utilisateur

3. Réglage restant accessible sur l'App permettant d'ajuster le retard en fonction de la distance des sources et des capteurs.

- → Télécharger l'App pour smartphone ou se connecter à Radio Chantier sur le site de la SGP pour utiliser la Webapp.
- → Créer son compte, se géolocaliser de manière à assigner le micro le plus proche du riverain sur le chantier.
- → Lancer le test pour régler le délai[3], le volume…
- → Choisir son ambiance.
- → Écouter.

c. Fonctionnement technique

4. La Méduse de Bruitparif, permettrait de capter et transmettre un flux audio en temps réel. Voir LBSC : II. C. « La Méduse de Bruitparif ».
5. Pour plus de précision, il serait possible de mixer les n capteurs les plus proches plutôt qu'un seul capteur.

La captation de son ne provient pas du micro du smartphone de l'utilisateur, mais du microphone du capteur le plus proche sur le site de travail[4].

Le microphone le plus proche serait trouvé par GPS[5] et le script communiquerait l'adresse IP du flux audio à l'appareil de l'utilisateur. Le flux audio provenant du capteur le plus proche serait acheminé via une socket et l'application s'y connecterait automatiquement.

L'application Radio Chantier serait accessible soit sur mobile (App téléchargeable) soit sur le site de la SGP rubrique radio Chantier. Il serait possible d'écouter indifféremment sur un ordinateur ou un smartphone à travers un simple navigateur en utilisant la web audio API.

L'App mobile pourrait posséder deux modes :

- → Le mode piéton (utilisation micro du smartphone).
- → Le mode sédentaire (utilisation des micros du chantier).

D'autres fonctionnalités seraient possibles telles que :

- → Des programmes audio spéciaux pour les lieux de travail.
- → Possibilité de coupler l'application à l'apprentissage de l'identification des bruits et machines de chantiers et à la contribution des riverains pour la remontée d'information et la signalisation des abus.
- → Couplage du système avec la Méduse de Bruitparif ou d'autres antennes acoustiques permettant de disposer d'une sorte d'équaliseur graphique spatialisé superposé à une vue du chantier, afin d'identifier visuellement et en temps réel d'où viennent les bruits.

Latence

L'équilibre latence / retard dû à la distance serait réduit au minimum en captant le bruit près de la source ou entre la source et le récepteur. Un retard de moins de 100ms entre l'évènement réel et son interprétation musicale est souhaitable pour fusionner le mieux possible les bruits du chantier avec les évènements musicaux.

Traitements sonores

- → Effets simples : délais et échos, transposition, harmonisation, réverbération, looper.
- → Détection et interprétation d'événements saillants déclenchant des changements de réglages d'effets, en fonction de descripteurs audio sélectionnés (saillance, pitch, spectral centroid, noisiness…)… etc.

IV.
ÉTUDE – ENSCI

Studio expérimental

« Moins nuisant »

Pilotage
Roland Cahen — Enseignant artistique et chercheur, responsable du studio sonore de l'ENSCi

Designer intervenant
Xavier Auffret — www.atelier-universel.com
Wouter Reijnders — acousticien conseil et jeune chercheur associé

Partenariat
Quentin Lesur

Participants
Morgan Alby
Barbara Cerlesi
Camille Chapuis
Baptiste Cotten
Pauline Coulon
Alexandre Fontaine
Solène Jarroux
Raoul Koreman
Jeanne Mellon
Leïla Rami
Émile Rebours
Rémi Taulemesse
Romain Thouin

ENSCi LES ATELIERS
Société du Grand Paris
Grand Paris express

ENSCi les Ateliers

Pilotage
Roland Cahen — Enseignant artistique et chercheur, responsable du studio sonore de l'ENSCi

Designer intervenant
Xavier Auffret — www.atelier-universel.com
Wouter Reijnders — acousticien conseil et jeune chercheur associé

Partenariat
Quentin Lesur

Participants
Morgan Alby, Barbara Cerlesi, Camille Chapuis, Baptiste Cotten, Pauline Coulon, Alexandre Fontaine, Solène Jarroux, Raoul Koreman, Jeanne Mellon, Leïla Rami, Émile Rebours, Rémi Taulemesse, Romain Thouin

Partenaires extérieurs
Acoustique : ViaSonora | Design Livre Blanc : atelierGH | Société du Grand Paris : John Tanguy, Léo Kahn, Héloïse Pontaud | Studio Expérimental Moins-Nuisants du 4/10/2017 au 17/01/2018

Séminaire de recherche et d'approfondissement à l'ENSCi
Design en Séminaire
— https://design-en-seminaire.ensci.com/thematiques/design_et_numerique/introduction
— design-en-seminaire.ensci.com/thematiques/design-multi-sensoriel/silence-chantier

Présentation de fin de projet
À la Fabrique du Métro

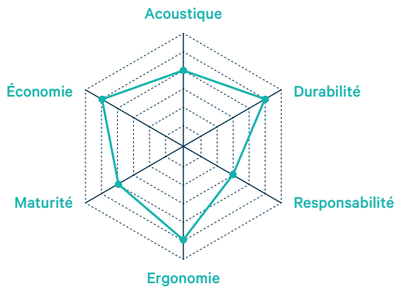
STUDIO EXPERIMENTAL « MOINS-NUISANT » À L'ENSCi LES ATELIERS

L'École Nationale Supérieure de Création Industrielle est réputée pour sa pédagogie, et la qualité des projets qui y sont développés. Elle noue des partenariats industriels, pédagogiques et de recherche. Les Studios Expérimentaux sont des Modules Projets où un groupe d'une dizaine d'élèves planche sur une problématique, à raison d'une journée par semaine pendant 12 semaines. Les élèves sont encadrés par un enseignant chercheur, un designer, des experts et en lien régulier avec le partenaire demandeur, ici la SGP. Ils produisent des réponses à des questions souvent complexes, nécessitant une approche à la fois créative et technique.

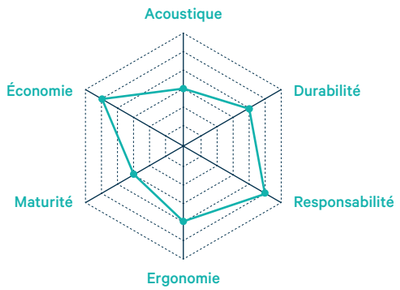
Les réponses sont apportées sous forme de concepts consolidés et mis en forme. Au cours du projet, des maquettes de principes et de démonstration ont été réalisées.

SEPT PROJETS PROPOSÉS

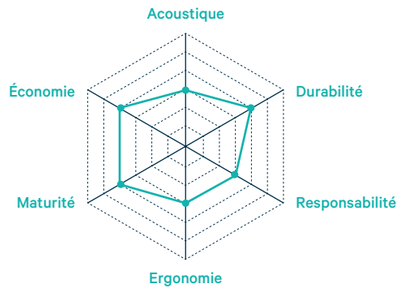
6 **Acoustique Grande Échelle**
propose de concevoir des absorbants en rouleaux, adaptés aux creusements de gares, efficaces, robustes, modulables, maniables et réutilisables.



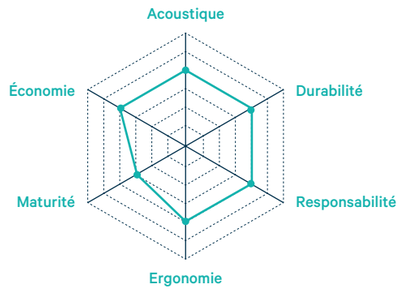
8 **Écoutes tes bruits du chantier**
invite les enfants à entrer virtuellement sur le chantier par les bruits, d'apprendre à identifier les machines et d'aider ainsi leurs parents à mieux discerner les bruits pour une meilleur compréhension, acception et communication avec les acteurs du projet.



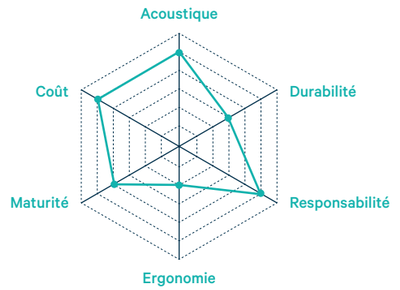
10 **Modulo**
est un panneau acoustique modulaire et adaptable aux activités du chantier.



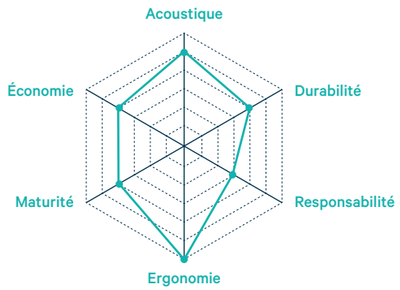
12 **Poncho**
est une sur-couverture acoustique performante et innovante pour les palissades en périphérie du chantier.



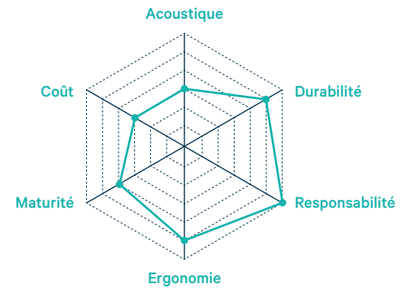
14 **Terre Isolante**
propose un moyen d'utiliser la terre de déblai pour réaliser des aménagements acoustiques sur le chantier et en périphérie. Le projet vise à une meilleure gestion des rotations de transport de la terre de déblai.



16 **PSHTT Pshtt**
retravaille sur l'alarme de recul en proposant une alarme de recul bruitée (non tonale) améliorant à la fois la sécurité sur le chantier et réduisant les nuisances sonores.



18 **Ensemble Contre le Bruit**
implique les riverains dans la remontée d'information et de mesure des nuisances sonores.



CRITÈRES D'ÉVALUATION

Acoustique
Qualité et performance acoustique.

Économie
Critères de coût et modèle économique.

Maturité
Disponible sur le marché, en cours de développement, innovation, prospectif.

Ergonomie
Facilité d'usage et de déploiement.

Responsabilité
Écologique, civique, sociale, éthique.

Durabilité
Pérennité pendant et après le chantier.

ACOUSTIQUE GRANDE ÉCHELLE

BARBARA CERLESI

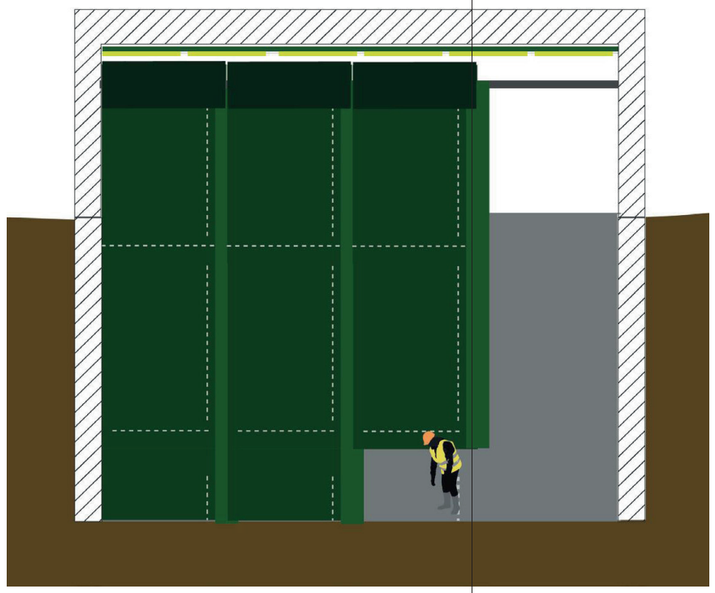
Un projet de produit isolant et absorbant facile à installer, adaptable, réglable et réutilisable.

–

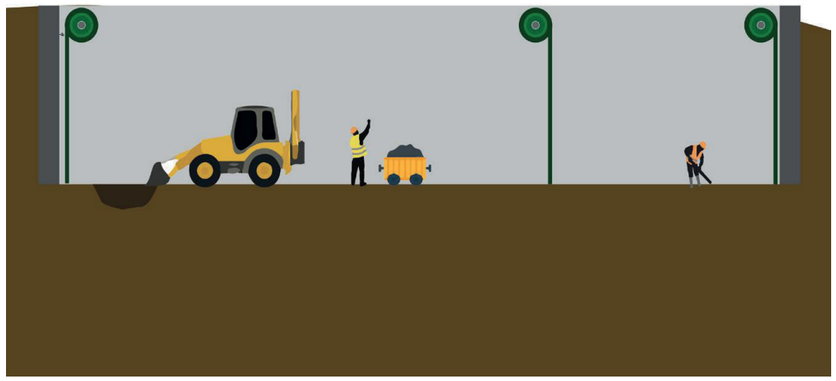
La solution que je propose se compose de modules de rideaux à haute efficacité acoustique stockés en rouleaux. Ils peuvent couvrir la surface des parois, du plafond et des ouvertures.

Le matériau isolant et structurant qui garantit la rigidité souhaitée est en caoutchouc vulcanisé ou équivalent (densité 220 kg/m³) 6 kg pour 3,5 cm d'épaisseur. Les rouleaux plus légers sont ainsi déplaçable sans machine peuvent stocker 6 mètres de matériau acoustique. Le poids réduit, d'environ 40 kg par rouleau (5), est fondamental pour la structure qui le soutient : un système de câble en acier tendu et fixé au parois par des chevilles ou une barre d'étais télescopique légère.

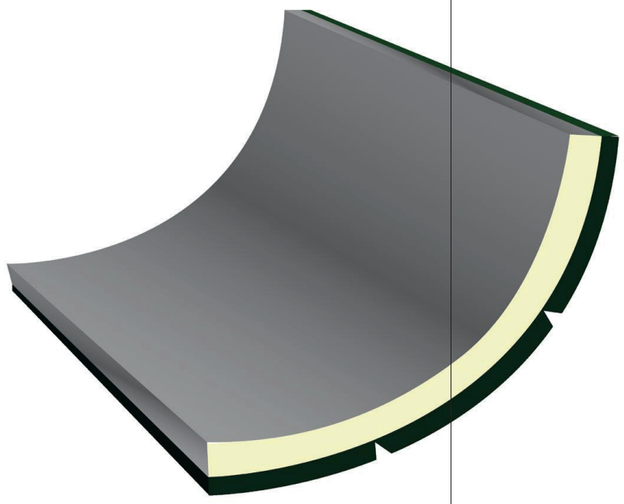
Une fois le creusement terminé ou recouvert d'une dalle de sol, le dispositif peut-être facilement déplacé et réutilisé sur différents chantiers et avoir un impact réel sur la vie quotidienne des habitants et des employés des chantiers.



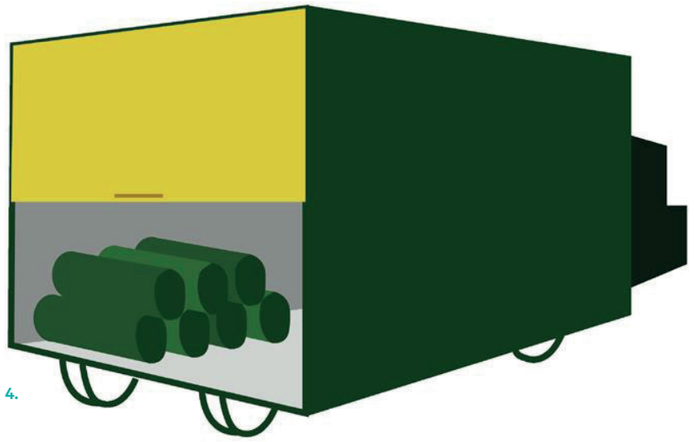
1.



2.



3.



4.

1. Système de rouleaux qui couvrent les ouvertures.

2. Système de rouleaux sur les parois.

3. Câble d'acier et cylindre de plastique rigide pour l'enroulage.

4. Stockage dans le camion.

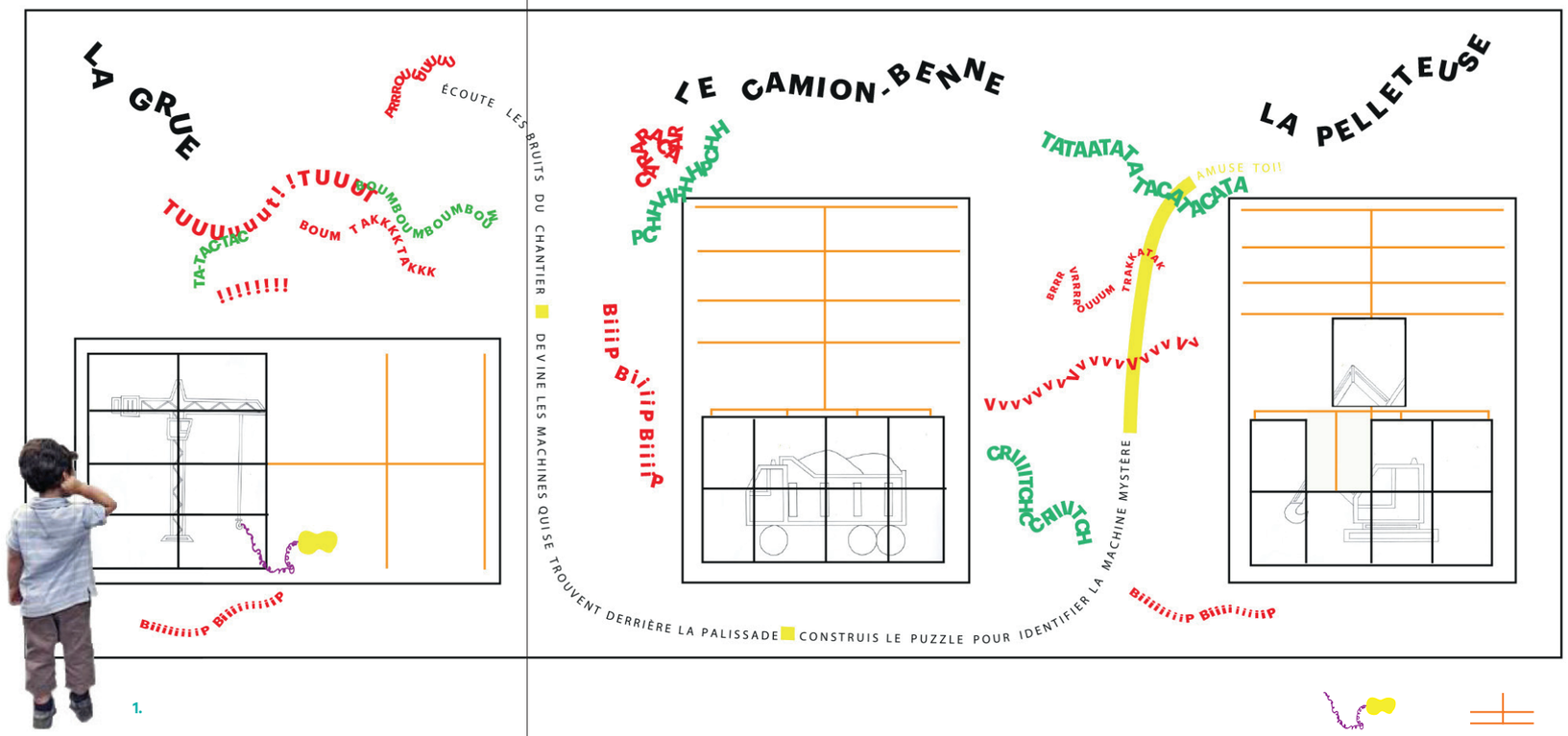
5. Multicouche : Extérieur vert : isolant structurant. Couche centrale jaune pâle : absorbant acoustique. Revêtement intérieur gris : protection de l'absorbant

ÉCOUTE TES BRUITS DU CHANTIER

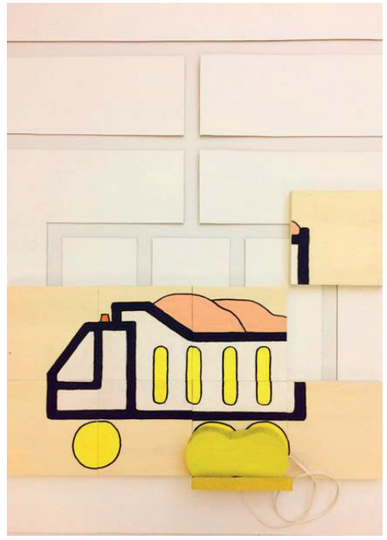
JEANNE MELLON,
LEÏLA RAMI

Écoute tes Bruits est un dispositif, fixé sur les palissades de chantier à destination première des enfants. Il offre une vision simplifiée de quelques machines courantes sur ce chantier qui permet d'identifier les activités par la reconnaissance des bruits des machines. Ainsi, les sons des machines et leurs activités sur le chantier sont expliqués aux enfants, les premiers destinataires du projet du Grand Paris et donc aussi à leurs parents. La manipulation active nous parait indispensable pour mettre les enfants au centre du jeu. Ce dispositif propose donc également une série de jeux sur le thème du chantier comme des puzzles.

Les sons changent en fonction des machines en activité. Selon le type de travaux, la phase du chantier en cours, le dispositif pourra donc être déplacé d'un chantier du Grand Paris à l'autre et remplacé à plusieurs reprises. Il serait également souhaitable que le chantier soit visible et audible directement à proximité de l'installation.



1.



2.

3.

1. Disposition matérielle du projet. Fixation des panneaux : sur les lames-planes à travers des ventouses industrielles à forte résistance.

2. Puzzle camion-benne.

3. Exemple d'un puzzle fabriqué par l'entreprise Kidéa.

MODULO

PAULINE COULON

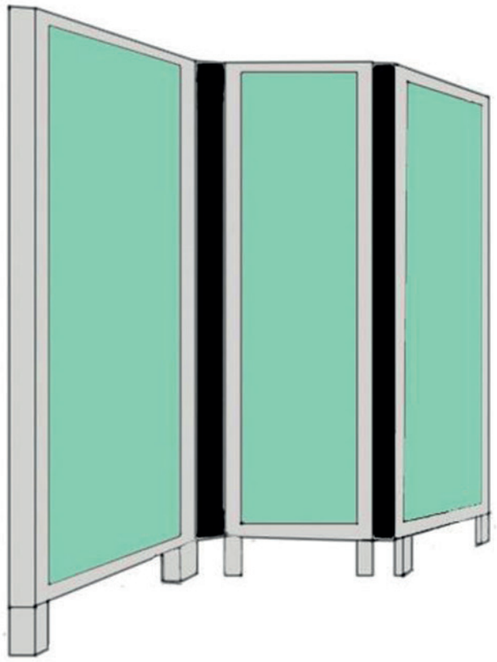
Paroi modulable pour cloisonner une source de bruit pouvant s'utiliser aussi bien en suspension qu'au sol

–

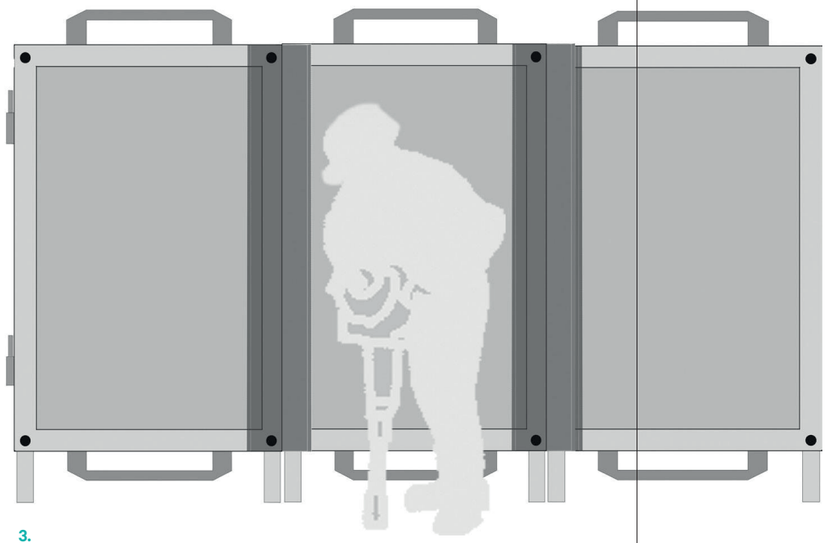
Sous la forme de stores vénitiens, ils masquent une ouverture. Sous la forme de parois posées au sol, ils encloisonnent un travail bruyant. La jonction entre les panneaux est assurée par un soufflet de caoutchouc souple et résistant agissant sur 180° permettant le repli des panneaux l'un sur l'autre facilitant ainsi le stockage. Plusieurs modules ajoutés bout à bout forme une barrière acoustique efficace. Les panneaux sont maintenus en position par un système de câbles mis en tension.

Un faible poids et deux anses positionnées sur chaque panneau d'extrémité permettant un transport facile par deux compagnons, ou en plus grand nombre par un engin. Des charnières de type Paumelles verrouillables positionnées sur les panneaux d'extrémités permettent un assemblage facile et rapide de plusieurs modules pour obtenir la longueur souhaitée.

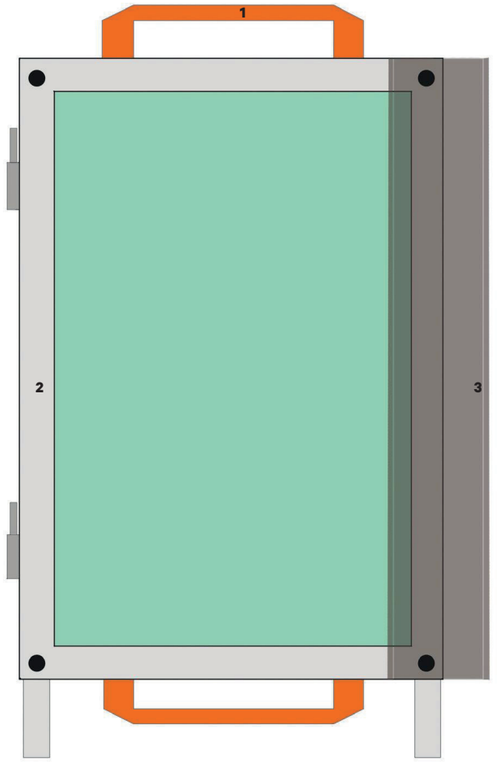
Idéal pour protéger une zone de travail par sa facilité d'installation, Modulo est grâce à ses couleurs vives et contrastées un élément de sécurité du chantier, tout en protégeant les riverains du bruit.



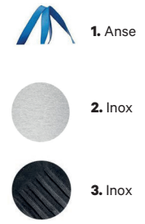
1.



3.



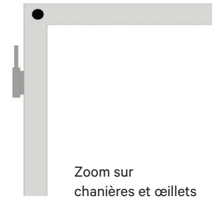
2.



1. Anse

2. Inox

3. Inox



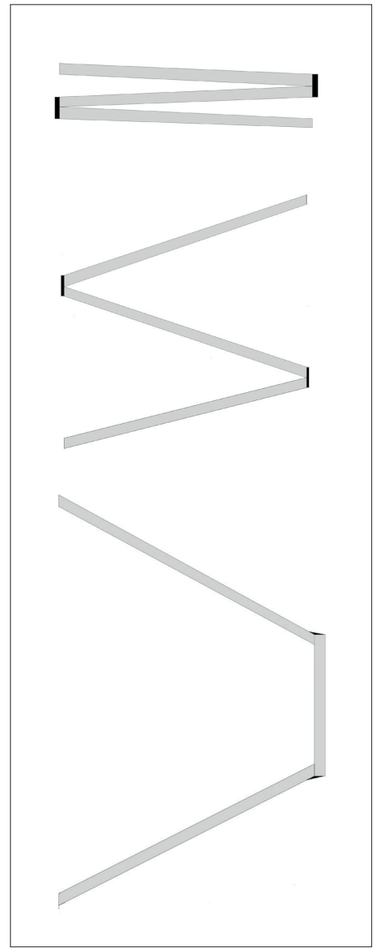
Zoom sur
chanières et œillets

4.

1.
Laine de roche

2.
Mousse

5.



1. Vue de côté du Modulo.

2. Matériaux du panneau.

3. Installation au sol.

4. Coupe d'un module. Le produit est constitué d'un cadre en inox enserrant un assemblage de laine de roche et de deux panneaux de mousse polyurethane, le tout atténuant les réflexions acoustiques.

5. Installation aérienne, Modulo plié et déplié.

PONCHO

BAPTISTE COTTEN,
ROMAIN THOUIN

Poncho est un dispositif acoustique qui vient revêtir les palissades de chantier existantes afin de réduire les nuisances sonores dues aux bruits.

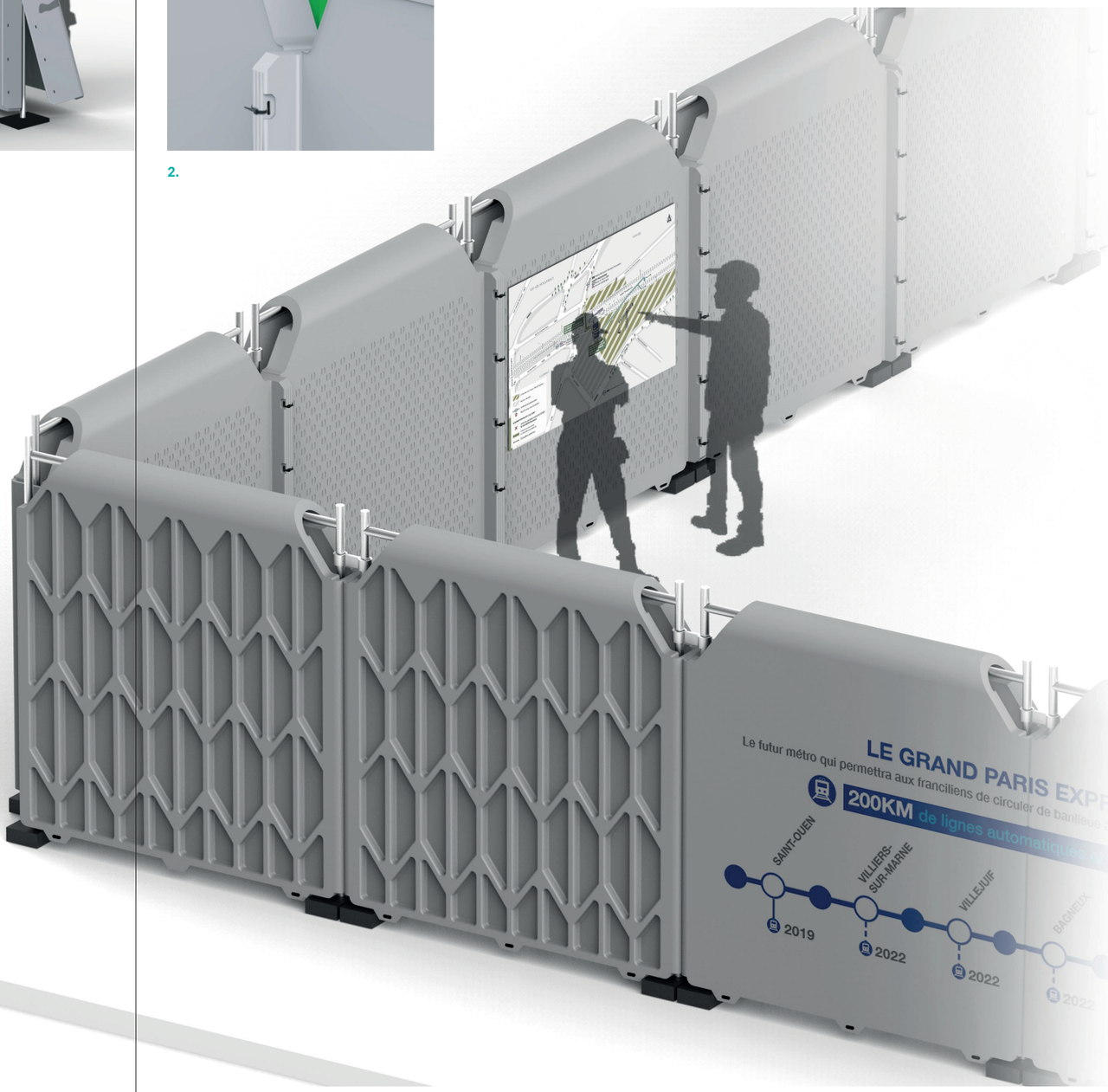
Le dispositif se décline en deux modules : anti-affiche ou pour l'affichage de stickers.

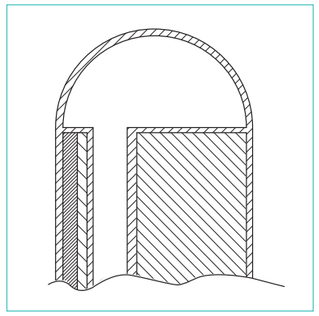
Une double couche isolante côté extérieur et absorbante côté intérieur donnent au dispositif son efficacité acoustique. Celle-ci est renforcée par l'étanchéité de l'assemblage des différents modules. Le poids de chaque unité est estimé à environs 40 kg.

1.

2.

3.





4.

Absorbant
Laine de roche

Mousse d'épaisseur

Isolant
Caoutchouc

Bache de protection
PVC souple

1. Les modules s'installent en rabattant les joues de part et d'autre de la palissade.

2. Les modules se verrouillent entre eux à l'aide de colliers de serrage glissants permettent de s'adapter au relief du terrain.

3. La surface intérieure des palissades peut accueillir des supports de communication adaptables aux besoins du chantier.

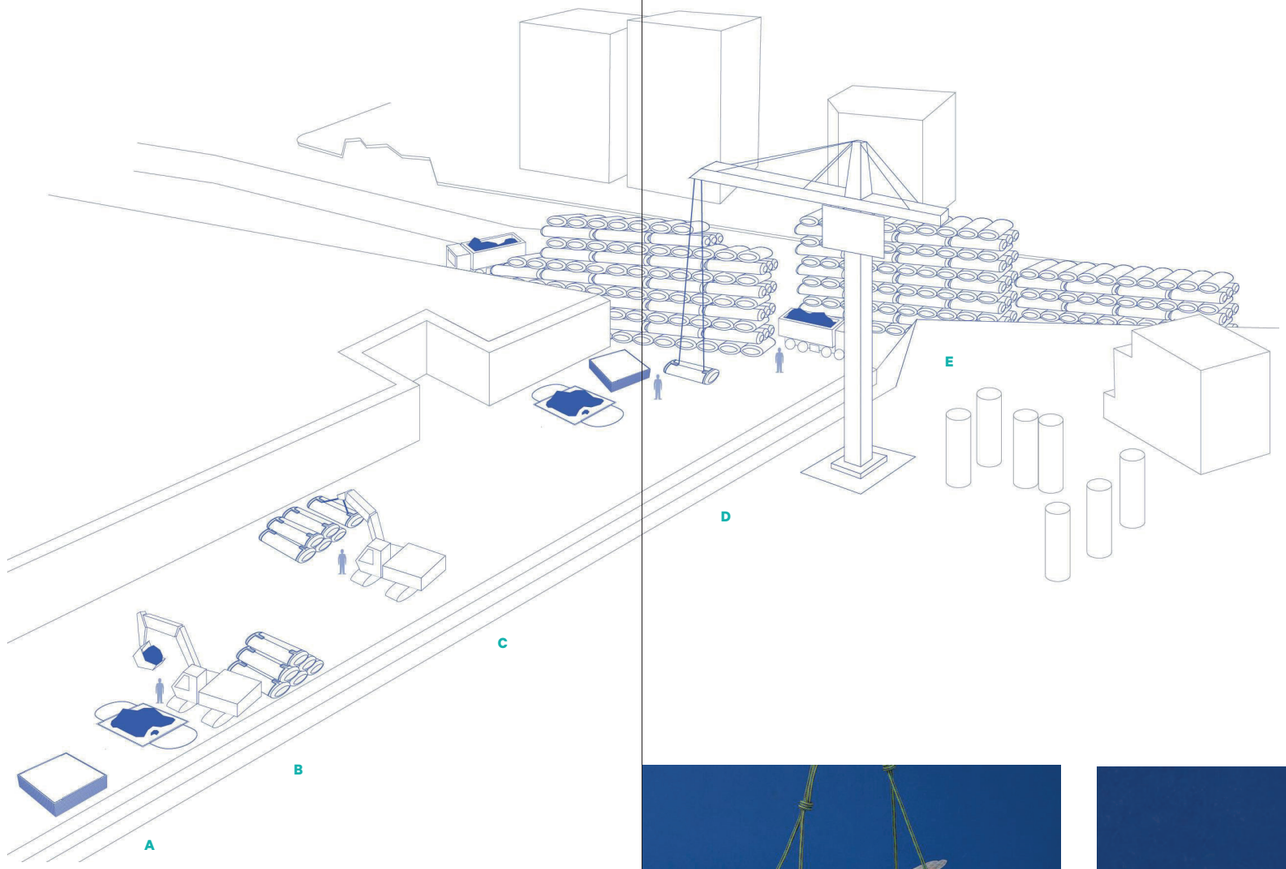
4. Vue de Coupe d'un module (partie haute)

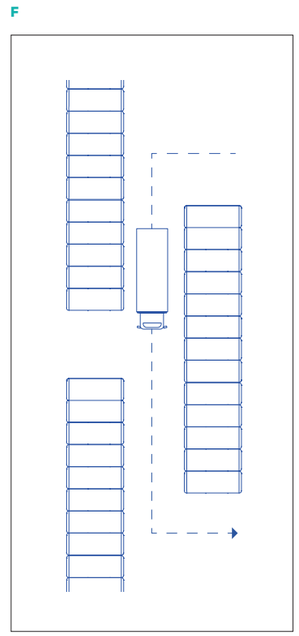
TERRE ISOLANTE

ÉMILE REBOURS, CAMILLE CHAPUIS, ALEXANDRE FONTAINE, SOLÈNE JARROUX, MORGAN ALBY

La Terre, cette matière performante acoustiquement de part sa masse et sa porosité est au cœur des problématiques de gestion de ces déblais extraits du chantier. Deux zones du chantiers sont ciblées par ce projet :
— La zone tampon (E) est l'interface entre le chantier et les habitations, où les modules de terre ceinturent le chantier. Des circulations sont aménagées à l'entrée et à la sortie du chantier, permettant d'optimiser et de réduire les bruit de circulation d'engins. (F)
— Au cœur du chantier, les modules de terres, rapidement repositionnables, sont utilisés comme écrans et boucliers, au plus proche des sources de bruit. (B) (C)

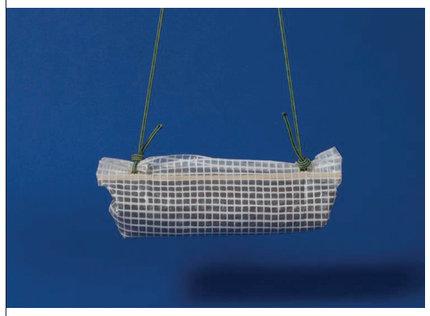
Pour cela, nous proposons une nouvelle enveloppe permettant de contenir la Terre. C'est d'abord une surface à posée à plat sur le sol (A), sur laquelle la Terre est déversée (B), puis par une simple et unique opération de levage (B), la terre est compactée, mise en forme, et emportée. (D)





1. L'enveloppe en polyéthylène renforcée est mise en forme par la simple tension de la corde passant par ses œillets. Les deux profilés métalliques se rejoignent permettant de fermer le module de manière étanche et de le consolider.

2. La forme de cette unité de Terre, dessinée par le patron et l'emplacement des cordes, a été pensée pour composer des empilement stables en les superposant de façon entrecroisée.



1.

2.

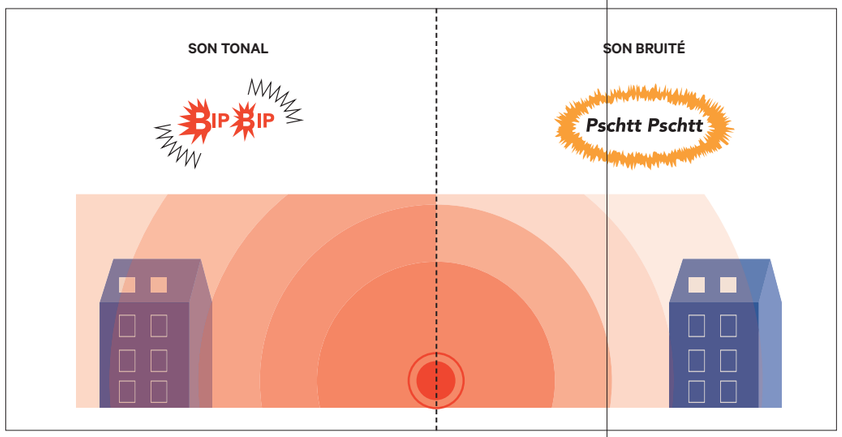
« PSCHTT PSHTT »

RÉMI TAULEMESSE

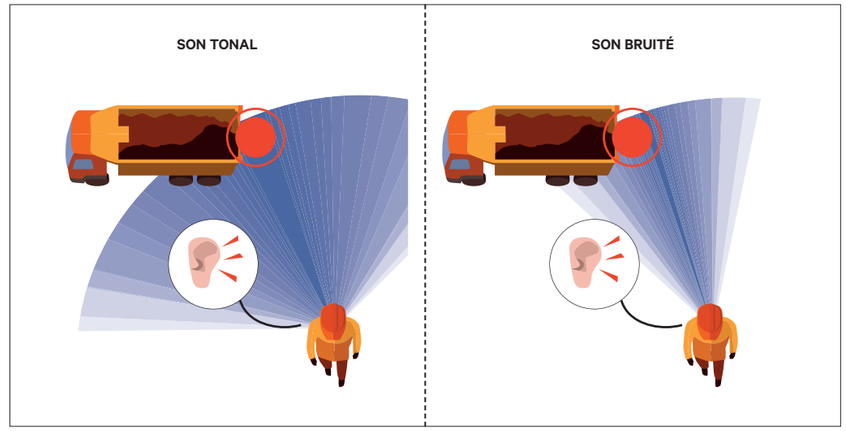
« PSHTT Pshtt » est un signal de recul amélioré dont l'objectif est de permettre une meilleure sécurité des chantiers tout en réduisant les nuisances sonores. Pour ce faire, ce nouveau dispositif utilise un son bruité auquel il ajoute de nouvelles fonctionnalités.

Contrairement à la majorité des signaux de recul qui utilisent un son tonal, le dispositif « PSHTT Pschtt » utilise un son bruité au volume adaptable. En effet ce type de son offre de meilleures performances permettant à la fois de réduire les nuisances sonores et d'envisager des compléments techniques améliorant la sécurité sur les chantiers.

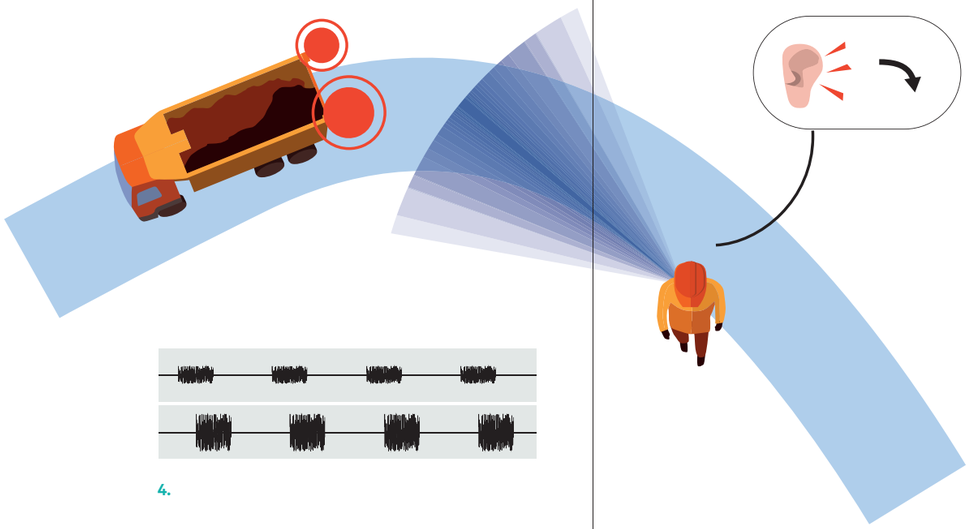
« PSCHTT Pschtt » propose des fonctions nouvelles dont l'objectif est de diminuer encore les risques liés aux manœuvres de recul tout en limitant les émissions de son superflu. En effet, un signal bruité adapté à l'ambiance est utilisé par défaut, auquel vient s'ajouter une alarme tonale émise en situation de risque.



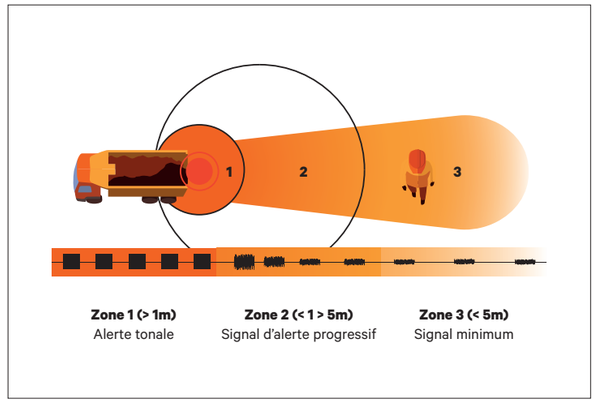
1.



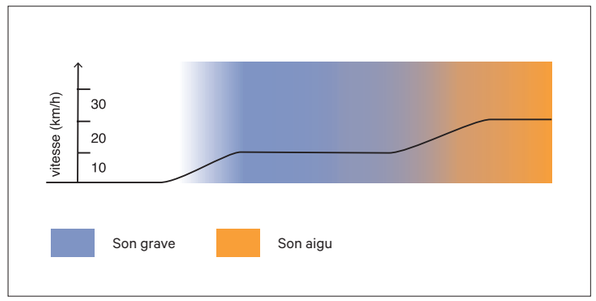
2.



4.



3.



5.

1. Dissipation du son dans l'espace : le volume de son perçu hors du chantier, depuis les habitations, est beaucoup moins invasif avec un signal bruité qu'avec un son tonal.

2. Appréciation de la position de la source sonore permettant d'identifier la position de l'engin.

3. Détection du premier obstacle grâce au détecteur de distance, le signal varie en fonction de la proximité du premier obstacle.

4. Composé de deux émetteurs disposés de chaque côté à l'arrière de l'engin, le signal de recul indique la direction de l'engin, tel le son extérieur d'un clignotant, en décalant les signaux droite et gauche selon la direction.

5. Indication de la vitesse : le spectre du bruit varie du grave vers l'aigu selon la vitesse.

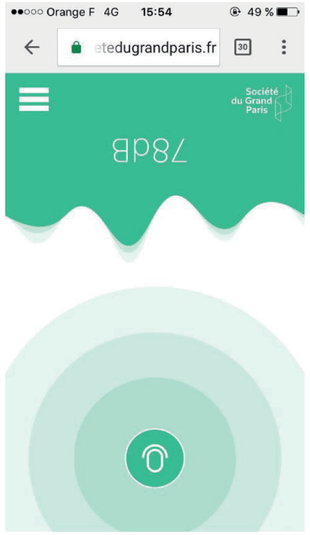
ENSEMBLE CONTRE LE BRUIT

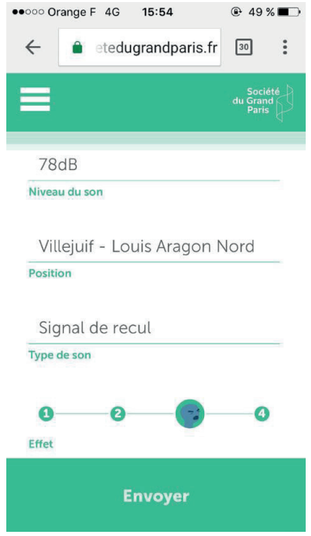
RAOUL KOREMAN

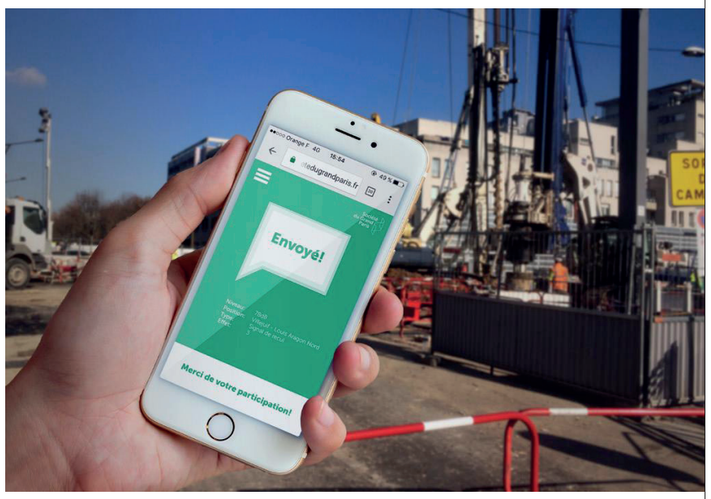
Pour savoir si le traitement du bruit est efficace du point de vue des riverains, il est important de créer un canal de communication entre les riverains et le chantier et de leur donner les moyens d'agir.

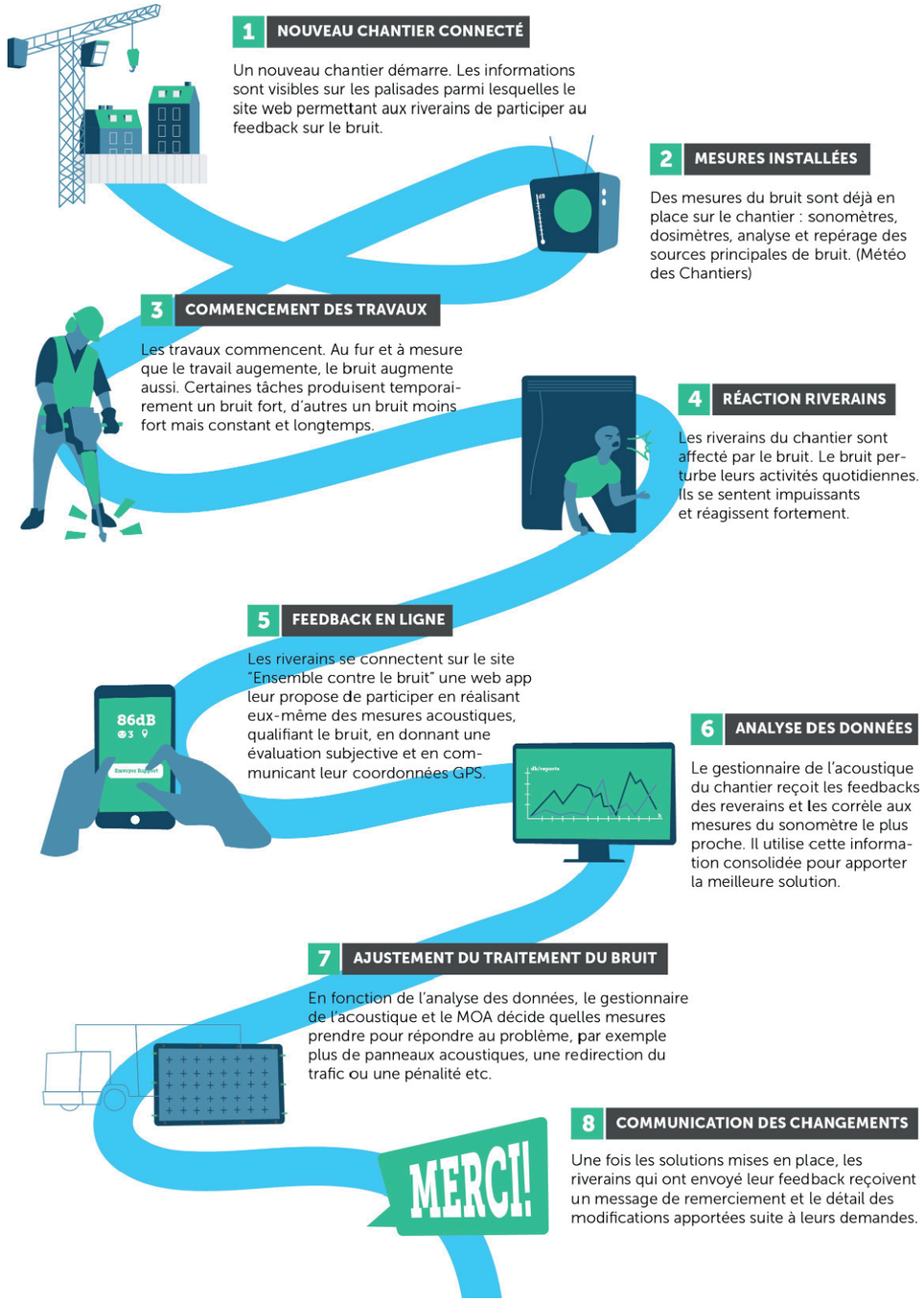
En permettant aux riverains de donner leur avis sur le bruit via une application-web, ils deviennent partie prenante du projet du Grand Paris offrant ainsi la possibilité de développer une communauté chantier/ riverain plus active et surtout plus responsable. Les riverains savent qu'ils sont entendus et cela permet à la SGP d'améliorer le traitement du bruit et de mieux anticiper les situations futures, mais aussi de compter sur les riverains pour soutenir le projet et en assumer les contraintes.

Cette web application pour smartphone qui utilise les outils récemment offerts par la Web Audio API permet au riverain de mesurer le bruit depuis l'intérieur de son habitation, de communiquer sa position GPS, l'heure de la mesure, de préciser la cause et d'évaluer sa perception du bruit. Les données riverain sont ensuite corrélées à la mesure du capteur le plus proche installés sur le chantier. Cette double mesure permet notamment de consolider la position de la Société du Grand Paris vis à vis des entreprises de génie civil pour réduire les nuisances sonores.









V.

INTERVIEWS

PYC Média

L'électrification sur les chantiers est en train de gagner du terrain. Les moteurs électriques sont capables de donner plus de puissance en faisant moins de bruit que les moteurs diesels et tout en réduisant les émissions de gaz nocifs. Donc l'électrification est une piste sérieuse d'amélioration pour de nombreuses raisons. Les engins électriques existent, ils progressent, mais il faut maintenant passer de la conception à la fabrication en série, que le marché se développe et que l'utilisation gagne suffisamment de terrain pour que la réduction du bruit soit effective. Jean-Noël Onfield, apporte un éclairage décisif sur cette question.

INTERVIEWÉ

↓

JEAN-NOËL ONFIELD
Rédacteur en Chef de la revue
Chantiers de France
—
jn-onfield@pyc.fr

Silence Chantier : Sur les chantiers, l'adoption du matériel électrique est-elle une solution sérieuse pour la réduction des nuisances ? Avez-vous observé une prise de conscience de la part des acteurs des chantiers et des fabricants au sujet du bruit ?
Jean-Noël Onfield : L'hybridation et la voie électrique est un sujet très en vogue. Le bruit est une des nuisances contre lesquelles les entreprises de travaux publics doivent lutter depuis longtemps et de plus en plus à mesure que leurs travaux sont urbanisés. Ce qui était toléré il y a une dizaine d'années ne l'est plus aujourd'hui. Non seulement on travaille au contact immédiat des riverains, mais également on est de plus en plus obligés de travailler la nuit. Donc forcément le bruit prend une autre dimension. Pour beaucoup de travaux, notamment ceux d'infrastructure routière, l'impact est tel qu'ils ne peuvent plus être réalisés de jour.

Pour le Grand Paris, afin de tenir les délais, beaucoup de travaux sont programmés. Les travaux se déroulent en deux étapes : en surface, puis en sous-sol où il est plus facile de réduire le bruit. En sous-sol on utilise déjà couramment du matériel électrique, ce qui n'est pas le cas du matériel de terrassement classique, même si l'évolution des normes de moteurs a permis de réduire considérablement les émissions polluantes et en même temps abaisser le bruit. C'est un bénéfice induit, mais une machine d'aujourd'hui est beaucoup moins bruyante qu'une machine d'il y a 15 ans.

Il est important que la SGP se préoccupe (et se positionne en amont) de ces questions, car les chantiers du Grand Paris préfigurent les chantiers du futur en France, mais aussi partout dans le monde, avec l'évolution des métropoles et des concentrations urbaines.

Silence Chantier : Les tunneliers sont déjà électrifiés malgré la complexité, notamment l'obligation de suivre le déplacement du tunnelier avec l'alimentation. Paradoxalement, dans les creusements des gares, qui sont moins mobiles, il n'y a pas de gros matériel électrique. Pourquoi ?
J.-N. O. : Parce que sur les chantiers de terrassement, on travaille de manière plus traditionnelle. C'est de l'abattage ponctuel, exécuté avec du matériel classique.

Les engins sont équipés de moteurs thermiques pour lesquels on n'a pas encore envisagé de solution électrique. Le diesel offre pour l'instant une autonomie et une puissance supérieures dans des contextes de chantiers où les intervenants ne sont pas du tout habitués à voir des fils électriques se balader. Au contraire, le tunnelier, lui, avance linéairement, il creuse toujours dans la même direction, donc les câbles électriques sont contraints et sécurisés, c'est un schéma industriel formaté.

En travaux souterrains, les exigences de sécurité sont drastiques. Quand on est à 20m sous le sol et que le premier puits de sortie est à 1 km, la sécurité est une question de survie. Grâce à la formation et la prévention, il y a de moins en moins de problèmes.

En Travaux Publics de surface, on est un peu plus souple, on s'autorise plus de choses. Plusieurs machines travaillent en même temps en co-activité. Jusqu'à présent la préoccupation des constructeurs n'était pas trop celle du bruit. Mais récemment on a renforcé les normes d'émissions (gaz, gaz à effet de serre, matières, poussières et bruit).

Depuis quinze ans, les constructeurs ont consacré des budgets Recherche & Développement importants pour satisfaire à ces normes.

On aborde maintenant une autre étape avec des acteurs tels Volvo qui ont décidé de passer à l'électrique en mettant en avant les avantages notamment sonores de l'électrique.

> **« Ce qui est sûr c'est que la voie électrique est la tendance forte aujourd'hui. »**

Silence Chantier : Ne s'agit-il pas seulement d'un effet d'annonce de la part de Volvo ?
J.-N. O. : Il y a bien entendu un effet d'annonce, mais Volvo est plutôt correct puisqu'ils disent qu'il s'agit de prototypes qui n'entreront pas en phase de commercialisation avant 2020. Mais ce n'est pas loin et Volvo, à travers sa filiale Volvo Penta www.volvopenta.fr, est un motoriste de premier rang au niveau mondial. Non seulement Volvo Penta équipe de nombreux véhicules de la marque Volvo, mais ils motorisent également des engins de chantiers d'autres marques.

Silence Chantier : Les fabricants sont-ils en train de passer à l'électrique ?
J.-N. O. : Caterpillar, qui fabrique depuis longtemps de gros tombereaux miniers électriques, est passé à la fabrication de gros engins de chantiers hybrides avec du stockage d'électricité, ce qui permet de récupérer de l'électricité pour recharger une batterie, lors des mouvements répétitifs et des rotations. Avec un moteur thermique plus petit, boosté par une génératrice électrique, nous pouvons obtenir la même puissance qu'avec un engin équivalent à motorisation diesel, tout en consommant moins. Même en utilisant des petits moteurs qui tournent à plus haut régime, nous pouvons gagner de la place et les émissions sonores sont plus faibles. De plus, Caterpillar teste aussi des batteries au lithium pour leurs chargeuses minières, dont on espère qu'elles équiperont bientôt les chantiers de surface.

Au Japon, ces enjeux sont très sensibles, notamment parce que la législation y est très contraignante. En effet, l'entreprise Japonaise Takeuchi, travaille sur des mini-pelles et des chargeuses électriques, car ils sont justement spécialisés dans les chantiers en milieux urbains. D'autres marques s'y mettent également comme Kramer, Komatsu, Kobelco, Wacker Neuson, Renault Trucks, etc.

Ce qui est sûr c'est que la voie électrique est la tendance forte aujourd'hui. Si demain la Mairie de Paris impose l'électrique et que les fabricants d'engins de construction ne disposent pas de produit électrique, ils courent le risque de devoir fermer boutique. Derrière ces stratégies, c'est aussi une question de coût d'exploitation, car une machine électrique est beaucoup plus simple et coûte beaucoup moins cher à maintenir et à alimenter qu'une machine diesel.

Enfin, il y a un vrai gain de place, le moteur est plus petit, même avec les batteries. À puissance égale on a des engins plus petits, plus agiles, se déplaçant plus facilement dans toutes sortes d'environnements contraints.

Silence Chantier : Mais alors pourquoi on ne remise pas toutes les machines diesel pour passer à l'électrique ?
J.-N. O. : En fait, une grande partie de l'industrie de fabrication prend le virage, car cela constitue un vrai enjeu et un nouveau modèle économique pour les constructeurs. Cependant la limite actuelle des machines électriques à forte puissance, c'est qu'elles ont besoin de plus d'autonomie et c'est encore un souci pour les chantiers. En effet, les machines les plus utilisées comme les pelles hydrauliques tournent en continu, quasiment jour et nuit. Comme elles peuvent changer d'outil, elles servent à tout et sont très sollicitées. Il faut donc une puissance et une autonomie d'alimentation électrique importantes.

Toutefois Mécalac (www.mecalac.com), un constructeur français de matériel urbain, concerné par la demande de plus en plus forte de ses clients, a présenté au Pré-Intermat 2018 une pelle 100% batterie : la e12 www.mecalac.com/fr/actualites-et-presse/mecalac-e12-pelle-electrique-video.html une pelle 100% électrique.

Mécalac a trouvé une solution permettant à cet outil polyvalent qui travaille en permanence sur le chantier, elle fait à la fois chargeuse, pelle et d'engin de manutention, d'avoir la puissance et l'autonomie nécessaires.

Silence Chantier : ces produits seront-ils sur le marché ?
J.-N. O. : Certains sont déjà commercialisés. Wacker Neuson vend déjà des mini-pelles, des chargeuses, pilonneuses, dumpers et d'autres outils électriques.
https://eco.wackerneuson.com/fr/home/
www.youtube.com/watch?v=GQ9CPi3vCiE

Silence Chantier : à quelle échelle peut-on évaluer la pénétration sur le marché des matériels électriques ?
J.-N. O. : Pour l'instant, elle est insignifiante sur certaines gammes, un peu plus avancée sur d'autres secteurs comme les nacelles élévatrices. On y trouve des matériels à bi-énergie : thermique pour travailler à l'extérieur et sur les terrains non viabilisés ; une fois à l'intérieur des constructions, on utilise des matériels électriques pour assurer les mouvements de lever/descente des opérateurs. On est au-delà de l'effet d'annonce, mais à l'heure actuelle l'électrification est marginale sur les ventes.

Silence Chantier : Beaucoup de matériels de chantier sont loués plutôt qu'achetés. Les loueurs de matériels sont-ils sensibles à cette tendance et proposent-t'ils des engins électriques ?
J.-N. O. : Très certainement. Les loueurs qui proposent à peu près les mêmes produits aux mêmes conditions, sont à la recherche de différenciation, ils défrichent, interrogent leurs clients. La difficulté pour les leaders nationaux comme Loxam et Kiloutou, c'est qu'ils doivent offrir le même service partout en France (soit 500 agences donc 400/500 unités pour chaque matériel). Donc ils agissent plutôt sur la pression de leurs clients et à la faveur d'un contexte réglementaire ou contractuel avantageux ou contraignant. Ils ont bien compris que le Grand Paris serait le champ de manœuvres de ces solutions à une grande échelle.

La bonne nouvelle c'est que pour en faire la promotion, ils proposent les solutions électriques au même prix que les matériels classiques, car ils savent que le client est pris dans un rapport de force, car il est prêt à essayer mais il ne faut pas que ça soit plus cher.

Il faut démontrer que c'est plus productif et plus fiable. Et, si, en plus de cela, derrière il y a moins d'entretien, que le taux de location est supérieur, le loueur pourra encore optimiser son prix de location par rapport aux matériels classiques. Enfin l'économie du coût de l'énergie retournera dans la poche de l'entreprise, pas celle du loueur.

Silence Chantier : Que peut-on faire pour résoudre le problème posé par le bruit de la fabrication des parois moulées : hydrofraises bruyantes en station de longue durée, bruits des centrales à boues très envahissants, etc. ?
J.-N. O. : Pendant les phases de creusement, les parois moulées présentent un des plus grands défis, notamment pour le bruit et la boue. Sur les chantiers du Grand Paris Express, on creuse à des profondeurs inédites de 30-50m, donc on a besoin d'énormément de puissance. La puissance électrique existe, mais un câble n'est jamais à l'abri d'un coup de pelle malheureux.

Silence Chantier : Existe-t-il des systèmes d'alimentation de forte puissance spécifiques aux chantiers qui permettent de résoudre ce type de problème[1] ?
J.-N. O. : À ma connaissance il n'existe pas de développement spécifique dans ce domaine.

Silence Chantier : Savez-vous que Solétanche Bachy utilise déjà des hydrofraises électriques à Londres mais pas encore à Paris ?
J.-N. O. : Solétanche Bachy est l'acteur le plus important au niveau international pour les parois moulées. Ce qu'ils fabriquent est de très bonne qualité, mais la problématique électrique ne se posant pas, il est probable qu'ils n'aient pas été mis en question à ce sujet.

Ndlr : le principe des parois moulées était considéré dans les années 90-2000 comme un procédé moins bruyant que ce qui se faisait avant. Les chantiers de creusement sont donc déjà moins bruyants, notamment vis-à-vis de chantiers des années 90 où la technique très bruyante du battage de palplanches était très utilisée.

On sait maintenant atténuer efficacement les bruits à la source, notamment des moteurs, en modifiant les techniques de motorisation. Les avancées continuent. Les groupes électrogènes sont un bon exemple des progrès sur les performances sonores réalisées ces dernières années. Leur bruit a été divisé par 10 en 15 ans.

Silence Chantier : Nous pensons que la réduction des nuisances est un point crucial pour tous, entreprises, collectivités, riverains…
J.-N. O. : Les chantiers du Grand Paris sont la vitrine des chantiers du futur. L'enjeu pour les entreprises françaises est de prendre le leadership sur les nombreux chantiers des métropoles du monde de demain. Il est évident qu'on ne pourra plus faire ces chantiers là comme on les faisait avec les villes nouvelles du XX[e] siècle. Il faut donc être innovant et incitatif pour trouver des solutions attractives dès maintenant.

Silence Chantier : quelles sont les acteurs les plus avancés en France sur les questions des nuisances sonores ?
J.-N. O. : La Mairie de Paris est très réputée dans ce domaine, les autres grandes métropoles comme Lyon, Lille également. Il faudrait faire un benchmark européen avec la Suisse qui est très avancée, l'Allemagne également, où sur des projets comme la gare de Stuttgart où les contraintes sonores sont rigoureuses car dès qu'elles sont dépassées, on arrête tout. Les chantiers sont un domaine qui évolue mais de façon assez irrégulière. C'est surtout la réglementation qui fait évoluer les choses. Jusqu'à présent le bruit n'était pas la préoccupation parce qu'on n'était pas devant des chantiers aussi colossaux avec autant d'emprise urbaine et de proximité avec les riverains que ceux du Grand Paris. La région parisienne est couverte des sites du Grand Paris, les travaux annexes, connexes. Donc le bruit arrive naturellement en première ligne des questions d'environnement.

Silence Chantier : Les conditions de travail sur les chantiers seront-elles améliorées par l'électrification ?
J.-N. O. : Les nouveaux matériels électriques et hybrides représentent une nette amélioration des conditions de travail, à tel point que beaucoup préfèrent se réfugier dans la cabine d'un engin devenue confortable et silencieuse, quitte à faire des tâches répétitives, plutôt que d'être conducteur de travaux, devoir prendre des initiatives, se remettre en question et être exposé aux intempéries.

1. Ndlr : d'autres solutions de distribution électriques pourraient également remplacer les groupes électrogènes (voir LBSC : III. C. ❶ 1. « Électrification »).

Conclusion :
L'électrification peut sérieusement améliorer la situation, mais ne résoudra pas tous les problèmes de bruit. Il faudra aussi trouver d'autres solutions pour d'autres sources de bruit que les moteurs. Actuellement les chantiers du Grand Paris sont dans une période assez critique ; celle du terrassement, des fondations spéciales, et de la géotechnique. Ensuite, le travail se fera sous terre, ce qui produira moins de bruit. Lorsque les creusements seront réalisés, la problématique du bruit reviendra avec les constructions en hauteur, mais d'ici là 5 ou 10 ans auront passés et tout le monde espère qu'entre temps on aura appris à faire des chantiers moins-bruyants.

RÉFÉRENCES

Projets de réduction des nuisances selon Volvo : by Thomas Bitter Senior Vice President of Marketing & Product Portfolio at Volvo Construction Equipment. (building tomorrow conference 2017), www.youtube.com/watch ?v=2-dNACjYNIc

Environment / Electrifying research 2017-09-28
www.volvoce.com/global/en/spirit-magazine/electrifying-research

Jean-Noël Onfield, rédacteur en Chef des revues Chantiers de France & Route Actualité.
De formation Ingénieur, Jean-Noël Onfield a successivement été rédacteur, rédacteur en chef adjoint de *Route Actualité* et *Chantiers de France*. Le groupe PYC Média publie plusieurs revues sur l'industrie des services, le second œuvre du bâtiment et un pôle travaux publics avec *Route Actualité* et *Chantiers de France*.

www.chantiersdefrance.fr/nous-contacter

ACNUSA

Nous avons voulu en savoir davantage sur le travail remarquable réalisé dans ce sens par l'ACNUSA depuis de nombreuses années, le fonctionnement du dispositif que l'Autorité a mis en place et les améliorations obtenues sur le terrain. Nous avons également demandé à l'ACNUSA de nous faire part de leur expérience et de nous donner quelques conseils pratiques. En effet, la gestion des nuisances sonores produites par les avions, notamment autour des aéroports, pourraient constituer un modèle dont les chantiers urbains pourraient s'inspirer. Au cours de la discussion, nous avons pointé des convergences entre le bruit des avions et celui des chantiers, mais également des particularités et différences, et nous avons discuté la manière de pousser les entreprises à réduire leurs émissions sonores sur les chantiers.

INTERVIEWÉES

↓

ANNE LAURE VERNEIL
Acousticienne
Adjointe au Chef du Pôle Bruit
ACNUSA

CELINE CALLEGARI
Pôle amendes administratives
ACNUSA

Silence Chantier : Qu'est-ce que l'ACNUSA ?
L'ACNUSA L'Autorité de Contrôle des Nuisances Aéroportuaires (ACNUSA) est une Autorité Administrative Indépendante (AAI), crée en 1999, chargée de surveiller l'ensemble des dispositifs de lutte contre les nuisances générées par le transport aérien. Elle peut émettre des recommandations sur toute question relative aux nuisances environnementales générées par le transport aérien sur et autour des aéroports. Elle doit également satisfaire à un devoir de médiation, d'information et de transparence notamment vis-à-vis des riverains, et s'attache à améliorer les connaissances via des études thématiques. Ses compétences générales concernent tous les aéroports civils, y compris les petits aérodromes. En outre, elle dispose actuellement de compétences spécifiques pour chacune des 11 principales plateformes[1] aéroportuaires françaises (c'est-à-dire les plateformes pour lesquels le nombre annuel des mouvements d'aéronefs de plus de 20 tonnes a dépassé 20 000 au cours d'une des cinq années précédentes ainsi que la plateforme du Bourget).

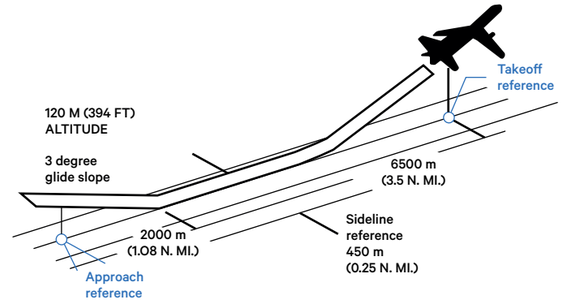
Enfin l'ACNUSA dispose d'un pouvoir de sanction à l'encontre des usagers des plateformes (compagnies aériennes ou personnes privées) pour les plateformes faisant l'objet d'un arrêté ministériel. Elle prononce des amendes administratives dont le plafond est de 40 000 € en cas de non-respect des restrictions environnementales. L'ACNUSA s'appuie sur les règles internationales de l'OACI (Organisation de l'Aviation Civile Internationale) c'est à dire envisager tout ce qui est possible pour réduire la gêne pour les riverains. Il peut s'agir d'inciter les compagnies aériennes à investir dans des aéronefs plus performants, ou travailler à une gestion du territoire adaptée aux nuisances sonores[2] pour que les zones d'habitations ne se développent pas dans des lieux soumis, présentement ou ultérieurement, à des nuisances sonores aéroportuaires.

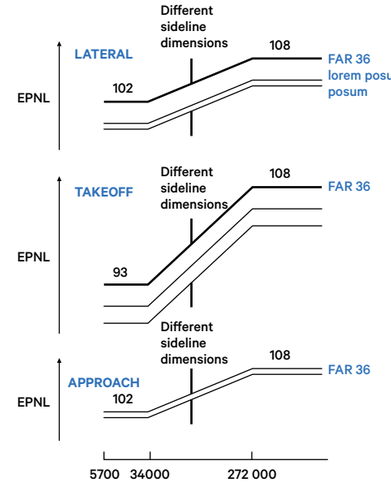
1. Elles pourraient être plus ou moins nombreuses à l'avenir, le critère d'inclusion est important.

Silence Chantier : Quelles sont les procédures pour atténuer le bruit ?
La France dispose de plusieurs outils. Il y a tout d'abord le PEB : Plan d'Exposition au Bruit. C'est un document de programmation urbaine limitant l'installation de populations dans les zones exposées au bruit d'avion. Il existe également des systèmes d'aide à l'insonorisation des logements exposés. Des procédures de décollage et d'approche de moindre bruit permettent de réduire l'impact du bruit sur les riverains, sur la gêne ressentie et ses conséquences sur leur santé. Il faut savoir que la manière dont un avion atterrit et décolle a un impact important sur le bruit en fonction de la pente, de la poussée, de l'accélération, du régime de réacteurs, du moment de la sortie des trains d'atterrissage etc.

Silence Chantier : Dans les années 70, à l'époque par exemple du Concorde, les avions étaient plutôt perçus comme fascinants que dérangeants. Avec l'augmentation du nombre de vols, la fascination pour les beaux avions a cédé sa place à la gêne et à la recherche de solutions.
Il n'existait pas de procédures de moindre bruit ni par exemple de consignes sur la sortie des trains (une des composantes bruyantes de l'atterrissage). Ces procédures font partie de l'approche équilibrée de l'OACI (Organisation de l'aviation civile internationale), qui a pour but de favoriser des procédures les moins bruyantes possibles ; des moteurs moins bruyants, et de nombreuses autres mesures dites de moindre bruit. Ces procédures de moindre bruit sont proposées voire imposées aux usagers de certaines les plateformes. En cas de non-res-

Noise certification
As aircraft noise become less popular, FAA proposed in the 70s a noise certification scheme for all Aircraft, later adopted by ICAO, using three noise certification reference positions.





2. En agissant au niveau des land-use plannings ou plan d'occupation des sols.

pect, de la part d'un particulier comme d'une personne morale, des poursuites sont engagées qui peuvent déboucher sur des amendes administratives.

Silence Chantier : Pourquoi ? N'est-il pas possible de mesurer directement le bruit qu'émettent les avions ?
Pour les amendes administratives, les mesures de bruit des avions ne peuvent pas être mises en œuvre : Il faut corréler le bruit de l'avion avec la trajectoire radar du vol pour être certain que le bruit mesuré provient bien de l'avion faisant l'objet de la mesure.

Si des stations de mesure de bruit ont été installées dans des emplacement stratégiques, elles ne l'ont pas été sur toutes les trajectoires et encore moins en dehors, quand justement un avion ne respecte pas les procédures de « moindre bruit » et n'emprunte pas la procédure standard. La dispersion autour de la procédure théorique est trop importante : on ne peut pas placer des balises à tous les endroits où pourrait potentiellement passer un avion. Il n'est pas possible depuis le cockpit de connaitre l'incidence des effets météorologiques sur le processus de propagation du bruit jusqu'au sol, or le bruit mesuré pour un aéronef donné diffère selon les conditions atmosphériques.

L'ACNUSA travaille en forme de juridiction et donc il s'agit de respecter les droits de la défense. Il n'est pas possible d'engager des poursuites contre quelqu'un qui n'est pas en mesure de savoir qu'il est en train de commettre un manquement à la règle. Or, selon le relief, les conditions atmosphériques, la météo, le poids de l'avion, etc... le bruit de l'aéronef au sol est différent. S'il pleut, s'il neige ou si le vent pousse le bruit dans une direction ou une autre, le même aéronef piloté de la même façon produit un bruit différent. Donc le pilote ne peut pas savoir quel sera le niveau de bruit au sol produit par son avion. Le pilote ne peut pas savoir quel bruit son avion produit pour les riverains. La Belgique a essayé (de se baser sur) le bruit mesuré, mais cela pose trop de problèmes. Ils sont attaqués de toute part et

> **« Le pilote ne peut pas savoir quel bruit son avion produit pour les riverains. »**

l'ACNUSA a choisi une approche différente, non pas celle de bruit mesuré, mais du bruit certifié.

Silence Chantier : Vous parlez du « bruit certifié » plutôt que du « bruit mesuré ». Qu'est-ce que le bruit certifié ?
Le bruit certifié est défini par l'annexe 16 de l'OACI. Tous les constructeurs effectuent des mesures de bruit sur chaque configuration avion-moteur pour une masse maximale au décollage donnée. Ces mesures sont surveillées par la concurrence des autres constructeurs. Quand un constructeur vend un aéronef, il doit en préciser trois niveaux de bruits : l'approche, le survol et le niveau latéral. L'unité est le EPNdB[3]. C'est un peu comme la carte grise d'une voiture. C'est sur la base de cette qualification que les pénalités sont appliquées ou non en cas de non-respect des règles de moindre bruit. À partir de ces trois facteurs de niveaux de bruits et de la masse maximale au décollage, on calcule une marge dite certifiée cumulée

Silence Chantier : Ces règles sont-elles appliquées ?
Certainement. On a des restrictions d'usage de certains types d'aéronefs sur les plateformes où un arrêté ministériel a été pris. Si votre avion est peu bruyant vous êtes le bienvenu, sinon non. Une période de couvre-feu pendant laquelle aucun avion ne peut atterrir ou décoller sauf en cas de force majeure peut être déployés sur certaines plateformes. Pour le moment ces règles sont encore complexes parce qu'elles ne sont pas harmonisées entre les pays et même sur les plateformes françaises entre elles, ce qui provoque des fautes involontaires. Pour qu'une restriction soit effectivement appliquée, la règle doit être publiée et accessible à tous dans les publications d'informations aéronautiques (AIP). Il faut qu'elle soit expliquée en amont et soit comprise, donc que les personnes concernées aient connaissance de la réglementation, il faut surtout que ces personnes soient assurées que

3. L'EPNdB (Effective Perceived Noise Decibel) est l'unité de base permettant d'exprimer le niveau effectif de bruit perçu.
Il est utilisé pour la certification des avions à réaction.

cette réglementation soit mise en œuvre d'une manière totalement neutre, même par piquage[4].

Silence Chantier : Nous avons parlé des différentes manières de mesurer le bruit et des restrictions. Est-il possible de mettre en place des quotas de bruit ?
Ce type de solution existe déjà sur les aéroports en Grande-Bretagne où ils ont un quota de bruit de jour et de nuit. En effet, si une entreprise dispose d'une enveloppe de 100 points bruits pour l'année et qu'au bout de trois mois elle a déjà atteint 90 points, elle est informée qu'elle risque d'être prochainement pénalisée et elle ne peut pas ignorer cette possible pénalité. On est de plus en plus restrictif dans la durée, mais cette transformation doit s'opérer dès le départ en fixant les objectifs de réductions de bruit progressivement sur plusieurs années. On vous laisse un avantage de 5 ans par exemple pour changer toute votre flotte, avec des paliers de 20% par ans.

Silence Chantier : et en fin de compte elles deviendront plus vertueuses, réaliseront des économies et remporteront des nouveaux marchés ?
C'est le but.

Silence Chantier : Les entreprises sont-elles honnêtes face à la réglementation ?
Généralement, l'entreprise cherchera à ne pas payer l'amende, donc dans le meilleur des cas construire autrement, électrifier, protéger les riverains. Il faudra bien penser à tous les pièges imaginables et préciser les règles clairement dans l'appel d'offre. Par exemple pour éviter que l'entreprise fasse appel à un prestataire tiers pour échapper à la responsabilité, le contrat peut stipuler que le signataire est toujours responsable quel que soit l'exécutant. Quand on met en place une nouvelle réglementation, la première chose que les gens pensent c'est qu'ils ne vont pas avoir à la respecter. Pour l'instant, dans le domaine du bruit il y a eu beaucoup de belles intentions mais peu d'effectivité, donc les gens se disent que c'est encore une bonne intention qui ne sera pas suivie d'effet. Il est probable qu'une résistance se mette en place, il faut donc l'envisager et l'anticiper.

En fin de compte, le but n'est pas d'infliger des amendes mais de réduire la nuisance. On l'a constaté dans le domaine aéronautique, une fois qu'une règlementation claire est édictée et bien diffusée, il n'est plus nécessaire d'être pro-actif auprès des loueurs ou des fabricants. Les entreprises font le calcul et choisissent entre s'équiper de matériel moins bruyant plutôt que payer une amende dissuasive.

Silence Chantier : Comment l'amende peut-elle être suffisamment dissuasive pour les entreprises ?
Du fait des réglementations, les avions de locations choisis sont devenus de plus en plus performants et les compagnies y sont très attentives à causes des risques de pénalité pour elles. C'est un cercle vertueux, à condition toutefois d'avoir un plafond d'amende extrêmement dissuasif : il ne faut pas que certaines entreprises préfèrent payer l'amende que de faire les progrès ou les corrections nécessaires. L'amende ne sera pas pour autant au maximum du plafond, mais il faut que les entreprises comprennent que ce plafond risque de mettre en cause leurs gains.

Silence Chantier : Comment peut-on communiquer avec les entreprises pour trouver un accord satisfaisant ?
Quand un arrêté de restriction est réalisé, les usagers de la plateforme sont prévenus à l'avance des dates de mise en place. Une fois que tout le monde est au courant, tous les participants s'organisent pour trouver des solutions. On peut envisager qu'il faille commencer par être proactif en demandant aux entreprises de combien de temps elles ont besoin pour mettre en place des solutions. Une fois que vous avez ces informations cela vous donne une idée du temps de mise en place. Il est très important d'associer les entreprises au processus car elles apporteront elles même des idées et des solutions.

Silence Chantier : Dans le cadre d'une surveillance chantier, selon vous, qui pourrait poursuivre, comment, avec quel support, auprès de qui, qui instruit et qui inflige les amendes ?
Il est très important de répondre à ces questions. Parlant d'éventuels quotas de bruit, dès que le quota est dépassé, une alerte pourra être envoyée pour prévenir que tout bruit produit à partir de ce moment sera soumis à une amende. Les stations de mesure de bruit doivent être certifiées. Il faut être certain que le bruit soit bien corrélé avec sa source. Un

4. Par mesure occasionnelle au hasard

délit doit être constaté par un agent assermenté[5]. Si un système automatique devait être utilisé, comme par exemple un radar routier, les entreprises pourrait envisager d'attaquer en essayant de montrer que la mesure n'est pas valide. Il est donc important de veiller à ce que les appareils et la mesure soient bien calibrés, que le bruit soit bien corrélé[6] et que tout cela soit inattaquable.

Silence Chantier : Quelles ont été les réactions quand vous avez mis en place la réglementation ?
Il faut s'attendre à ce qu'il y ait des résistances, du lobbying notamment, pour contourner la contrainte. C'est normal. En 2007, quand l'ACNUSA a mis en place des pénalités, la compagnie la plus condamnée a été Air France. La DGAC[7] avait du mal à l'accepter que l'autorité demande que l'ensemble des manquements soient relevés et Air France a essayé de ne pas payer les amendes, ils ont attaqué systématiquement les décisions de sanctions, une saisie à tiers détenteur[8] a été mise en place, mais ils ont perdu devant le juge.

Une fois que la compagnie a compris qu'elle ne pourrait pas échapper à l'amende, elle a évolué et a donné la priorité aux respects des restrictions environnementales, qu'elle n'avait pas donnée auparavant, et pris en compte les contraintes horaires.

Finalement la compagnie a mis en place un système dans lequel toutes les équipes devaient analyser les causes de retard et justifier le cas échéant pourquoi ils n'avaient pas réussi à le rattraper, ce qu'ils n'avaient pas fait qui aurait pu résoudre le retard…

La compagnie Air France a réussi à devenir exemplaire dans le respect des créneaux horaire. En 2017, plus un seul avion d'Air France n'a décollé sans créneau au cœur de la nuit de Charles De Gaulle. En plus elle est doublement gagnante car elle communique aujourd'hui sur le fait qu'elle est une société innovante, progressiste, équipée d'appareils peu bruyants qui décollent à l'heure et la clientèle ne s'y trompe pas.

Si vous ne passez pas par le portefeuille ; l'amende, il ne se passera pas grand-chose. Il faut contraindre financièrement. Des obligations et des modalités d'applications de pénalités pénales, financières ou administratives, sont déjà prévues pour les Installations Classées par les Ministère du Développement Durable et des inspecteurs environnementaux assermentés pour constater les délits.

Silence Chantier : Vous insistez sur la transparence vis à vis des riverains.
L'exploitant doit être transparent et communiquer le bruit produit.

Silence Chantier : dans le cadre d'un chantier, les riverains pourraient également indiquer la nature du bruit gênant, la machine qui le produit, cela aiderait notamment pour le corréler.
En effet ce serait très intéressant. Il faut un site accessible le plus simplement possible où les riverains puissent voir le bruit mesuré par les stations de mesure les plus proches. Il faut que toutes les informations soient accessibles au même endroit. Transparence est le maître mot. Du point de vue de l'acceptation, n'y a rien de pire que d'avoir le sentiment d'être pris en otage sans information, ni transparence, ni calendrier, ni possibilité d'action. Les riverains des aéroports demandent tous les jours des mesures de bruit qui traduisent leur gêne, et cela ne concerne pas que les riverains d'aéroport.

Même si vous organisez quelque chose de simple, certains riverains seront tellement gênés, qu'ils suspecteront que les informations qui leur sont communiquées ne sont pas fiables et la suspicion apparaîtra. Tout le monde sait qu'un chantier fait du bruit. En affichant la mesure juste et correcte, on se débarrasse de la suspicion, on transforme la relation en un engagement mutuel qu'on respecte et dont on négocie les limites. La pédagogie est donc essentielle pour permettre aux riverains d'appréhender cette mesure et les actions possibles.

Silence Chantier : Un riverain averti est-il un riverain associé ?
Je n'ai pas dit ça, c'est faux. Des études universitaires s'intéressent à la gêne[9]. L'OACI pointe la communication comme un pilier important de la gestion des nuisances sonores aéroportuaires.

5. C'est notamment le cas pour le relevé de certains manquements sur le tarmac, où l'équipe doit être prévenue.
6. Le bruit est corrélé quand on a la preuve que le bruit est bien causé par la source désignée fautive.
7. Direction Générale de l'Aviation Civile
8. L'Avis à Tiers Détenteur est une procédure permettant aux Impôts d'obtenir, auprès d'un tiers détenant des sommes vous appartenant, le paiement d'une somme que vous devez et n'avez pas payée.

Aujourd'hui ; on ne doit plus croire que l'information c'est le pouvoir ; on sait que ne pas la donner c'est le perdre. Aujourd'hui tout le monde a un smartphone avec un microphone qui permet de mesurer, d'enregistrer le bruit et de partager les données. Lorsque le manque de transparence est soupçonné, très vite, des systèmes alternatifs se mettent en place. Par exemple les riverains de Bâle Mulhouse excédés par les facilités accordés par la direction de l'aéroport à des vols bruyants ont mis en place un système d'envoi de plainte en un clic à chaque passage d'avion bruyant, qui fait crouler l'administration sous la quantité des plaintes auxquelles elle est obligée de répondre.

Dans tous les domaines où les sources d'information parallèles se multiplient, les projets échouent. Si l'ACNUSA existe encore après presque 20 ans, c'est parce qu'il y a une forte suspicion des riverains que les informations communiquées par les acteurs ne sont pas transparentes. Étant indépendants, nous reconnaissons la gêne des riverains, les intérêts et difficultés de chaque partie, mais apportons une réponse unique et règlementée, quitte à ne donner raison à personne.

Silence Chantier : Les amendes que vous infligez sont-elles utilisées pour isoler les habitations des riverains ou les indemniser ?
Étant une autorité administrative indépendante agissant en tant que juridiction, nous ne faisons pas parti de l'État et donc nous ne pouvons pas agir directement pour aider les riverains. Étant indépendants, il ne faudrait pas que nos actions puissent être taxées de favoriser une des entités ; compagnies, plateformes, riverains ou élus autour des plateformes. Les amendes vont donc au budget général de l'État.

Il faut ajouter qu'en dehors de notre organisme, l'État impose la Taxe sur les Nuisances Sonores Aéroportuaires (TNSA), qui profite aux riverains, car cette taxe est perçue par la DGST puis redistribuée pour financer les travaux d'isolation des riverains. C'est le Plan de Gêne Sonore (PGS), qui définit les locaux et habitations pouvant bénéficier de cette aide à l'insonorisation en fonction de l'exposition au bruit. Si votre habitation a été construite avant l'arrivée des nuisances de l'aéroport, vous avez le droit à une aide pour insonoriser. Les riverains font alors une demande et sont indemnisés en pourcentage d'un plafond. La difficulté est que les personnes exposées au bruit des avions n'ont pas toujours les moyens de payer le pourcentage restant des travaux.

À Lyon par exemple, un interlocuteur unique du bruit a été créé[10]. Seules les entreprises habilitées peuvent réaliser les travaux d'insonorisation afin que les critères de qualité et de prix soient bien respectés. L'effet a été très positif, et il n'y a presque plus d'habitations à insonoriser autour de la plateforme de Lyon. Mais ces dispositifs sont complètement indépendants des amendes administratives.

Silence Chantier : Comment prendre exemple sur ce que font d'autres pays européens ?
Il est très important de s'inspirer de ce qui se fait à l'étranger. Par exemple en France certaines compagnies ont négocié des créneaux de nuit dans leurs accords. D'autres n'en ont pas mais décollent quand même et payent une amende. L'amende leur coûte moins cher que d'héberger les voyageurs, de les indemniser ou de perturber les vols suivants. Dans d'autres pays, à Londres, Genève, Oslo ou Madrid, ils ne sont pas autorisés à décoller du tout.

En 2000, la Commission Européenne a fixé des objectifs précis de réduction de la gêne due aux bruits d'avions de moins 50% pour 2020 et en 2011 l'objectif a été réactualisé à -65% pour 2050. Les constructeurs ont donc mis en œuvre des politiques beaucoup plus ambitieuses de réductions du bruit des avions à la source.

9. Voir à ce sujet les travaux de Catherine Marquis-Favre – Université de Lyon, qui propose notamment des outils d'évaluation de la gêne sonore. https://www.researchgate.net/profile/Catherine_Marquis-Favre/research https://hal.archives-ouvertes.fr/search/index/q/*/authIdHal_s/catherine-marquisfavre
Dans le domaine de l'aviation et sur les aspects sociaux-économiques de l'exposition au bruit, voir les travaux de Guillaume Faburel. journals.openedition.org/developpementdurable/pdf/2775
10. Service d'Aide aux Riverains – SARI – Direction du Développement Durable – B.P. 113 69125 Lyon-Saint Exupery Aeroport insonorisation.riverains@lyonaeroports.com

Philharmonie de Paris

INTERVIEWÉ

CHRISTOPHE ROSENBERG
Studio Son Philharmonie de Paris

Silence Chantier : Quel est le lien entre le studio son de la Philharmonie de Paris et les bruits de chantier ?
Christophe Rosenberg : Le studio son de la Philharmonie de Paris a une vocation pédagogique. Nous organisons des ateliers pour tous les publics, enfants, amateurs et professionnels où nous développons la pratique sonore dans toutes ses dimensions ; l'enregistrement, l'écoute, l'observation du monde sonore qui nous entoure et sa compréhension. Lorsque le chantier de la Philharmonie a démarré, en 2009, j'ai entendu des sons incroyables, que je n'avais jamais entendus, y compris au cœur du studio son, pourtant bien insonorisé. Je me suis dit que ce n'était pas possible de rater un tel évènement. J'ai pris mon enregistreur et suis allé faire des captations sonores de l'arrachage des arbres, du raclage du bitume et d'autres sons.

Silence Chantier : Comment avez-vous perçu la nuisance sonore pendant le chantier ?
C. R. : Les sons entendus sur le chantier étaient très riches. D'autre part tout geste professionnel bien réalisé produit un son qui a du sens. Par exemple, les ouvriers nous disent, que lorsque qu'ils mélangent le béton, ils savent reconnaître à l'oreille quand le mélange est prêt. Le retour sonore des gestes manuels est fondamental pour savoir si on a réalisé le bon geste. Comme pour tous les chantiers de cette dimension, nous avons été soumis à de nombreuses critiques, pressions et craintes plus ou moins fondées quant aux nuisances de toutes sortes.

Puis, quand on se rend compte qu'un bruit gênant a une utilité on est plus à même de l'accepter et on développe une certaine tolérance vis-à-vis de ce bruit. Bien sûr, il y a des limites, les gens qui habitent sous les pistes des aéroports, et dont le bruit bousille la santé, on ne va pas leur dire que c'est acceptable. Tout ce qu'on tolère n'est pas accepté par notre métabolisme.

Tout son peut être perçu comme un bruit si on ne le comprend pas. Même des bruits importants peuvent être agréables et souhaitables dans certaines situations. À l'inverse un petit bruit apparemment gentil peut être absolument irritant.

Silence Chantier : Comment faire pour que les gens qui se sentent plutôt agressés par ce chantier, puissent se rendre compte que ce qui s'y passe est intéressant, qu'ils en sont les premiers témoins et en seront les bénéficiaires ?
C. R. : La plupart du temps ces chantiers sont interdits au public, on voit et on entend de loin, derrière des palissades. On entend une masse sonore indiscernable, on ne discrimine pas, il n'y a que les évènements les plus forts qui nous arrivent. Donc l'idée était de changer l'écoute et donc la perception de cette gêne afin qu'on puisse s'y intéresser davantage.

À partir des sons glanés sur le chantier, environs 200 sons différents, j'ai composé une pièce intitulée « Les Parisiennes », du nom de la technique de creusement des fondations utilisée pour la Philharmonie. La pièce a convaincu tout le monde d'aller plus loin. Nous avons alors mis en place des ateliers avec lesquels toutes sortes de publics sont venus sur le chantier pour enregistrer des sons et en faire quelque chose. Les étudiants du CNSM et d'autres conservatoires ont composé des pièces avec une animation graphique, un piano préparé, etc... Les ouvriers du chantier ont été partie prenante du projet et sont même venus au studio enregistrer leurs propres sons d'activités. Un des maçons jouait du concertina, pendant que ses collègues remixaient les sons du chantier avec les consoles du studio.

De fil en aiguille on a réalisé beaucoup d'expériences qu'on a mis sur un site web public. Avec les élèves de la Classe Électroacoustique de Pantin on a mis au point un système permettant aux visiteurs sur Internet de pouvoir remixer les sons et les musiques du chantier. Les élèves du Conservatoire de Noisy-le-Sec utilisaient les gestes des grutiers pour faire du « sound painting », c'est-à-dire diriger les autres musiciens pendant l'improvisation. Nous avons réalisé une affiche comme celle qu'on trouve à l'intérieur des chantiers indiquant tous les gestes des grutiers pour diriger l'orchestre. Nous avons placé les musiciens sur le chantier, au premier balcon, avant même que le toit de la salle de concert soit posé, et un grutier a exécuté avec sa grue les mouvements du chef d'orchestre pendant le morceau.

On a tout filmé, évidemment. Très concrètement tous cela a créé des liens importants entre les participants et les ouvriers du chantier.
Pour les musiciens, ils avaient l'occasion unique de mettre les pieds dans un lieu de musique en cours de construction. Les ouvriers, eux, se sont rendus compte que la même folie et la même passion qui anime les constructeurs sur un chantier animaient aussi les musiciens pour la musique.

> **« Vivre c'est faire du bruit. Il faut aussi mettre en place des moyens pour transformer ce qu'on entend en quelque chose de vivant. »**

Nous avons l'impression que les ouvriers qui ont participé aux ateliers se sont montrés plus sensibles aux finitions et à la finalité de leur travail qu'ils l'auraient été sans cette expérience. Les ateliers n'ont touché en direct qu'un petit nombre de personnes, mais le bouche à oreille, le fait que tout le monde a reçu un cédé (CD-rom), le site web, très fréquenté notamment par le voisinage, et le rayonnement du projet, ont produit un changement de perspective vis-à-vis du chantier. Les voisins ont complètement changé leur point de vue sur le chantier, comme s'ils avaient le *making of* du chantier, mais à travers un processus artistique.

Silence Chantier : Suite à cette expérience, avez-vous des solutions pour atténuer les nuisances pour les riverains ? Comment peut-on concevoir la nuisance autrement et apprendre à accepter le bruit plutôt que d'en souffrir ?
C. R. : Je dirais qu'il faut changer de perspective, se projeter dans l'avenir, penser aux nouvelles possibilités qu'on va avoir en bas de chez soi. Une station de métro, par exemple, c'est une liberté de déplacement formidable dans le futur.

Vivre c'est faire du bruit. Il faut aussi mettre en place des moyens pour transformer ce qu'on entend en quelque chose de vivant. Tout en gardant son pouvoir de résistance, il faut apprendre à vivre avec les contraintes dont on ne peut pas se débarrasser, comme certains apprennent à vivre avec un handicap. En emmenant les riverains sur le chantier par exemple, pour leur montrer que le bruit qu'ils perçoivent de chez eux est minime par rapport à ce que côtoient les gens qui y travaillent à longueur de jour-

née. En leur proposant de composer de la musique avec les bruits du chantier ou de chanter une partie musicale sur le son tenu d'une grue.

Il faut apprendre à qualifier, à décrire, et à caractériser les sons qui gênent, apprendre à communiquer sur ce qui nous gêne vraiment. Ces expériences d'observation et d'appréciation implique les gens dans l'écoute parce que la plupart des gens n'écoutent pas, ils subissent. Il faut donc apprendre à écouter.

À l'école on ne cesse pas de demander aux élèves de se taire, mais ce n'est jamais justifié. Du silence pourquoi ? Faire du bruit c'est jouer, c'est écouter l'autre, c'est produire des sons et du sens soi-même, c'est apprendre à discerner.

Silence Chantier : N'est-ce pas rajouter du bruit au bruit ?
C. R. : Ce genre de solution ne doit pas être utilisé à la place de mesures acoustiques pour dédouaner les responsables des nuisances de leurs responsabilités, mais en plus de ces mesures, pour le bien-être du voisinage. Il est également important de comprendre ce que vivent déjà les riverains avant l'arrivée du chantier. Certains sont déjà gênés par le bruit avant même que le chantier ne commence et donc quand le chantier arrive par-dessus ils n'en peuvent plus. Beaucoup de constructions sont très mal insonorisées, on entend déjà les voisins à travers les cloisons et ce qui accentue la pénibilité de ces gros chantiers, c'est qu'ils viennent ajouter le bruit au bruit. Si on allait chez eux pour améliorer leurs conditions de vie et l'isolation de leurs logements, ils seraient plus heureux de vivre à proximité des chantiers. Pour que l'acceptation fonctionne, il faut prendre le temps de la préparer en amont.

> **“ Pour que l'acceptation fonctionne, il faut prendre le temps de la préparer en amont. ”**

Des gens qui mettent la musique ou la télé H24 sont encore plus irrités de n'importe quel bruit qui survient sans qu'ils l'aient décidé.
Dans les situations difficiles il faudrait pouvoir offrir aux personnes qui souffrent du bruit des occasions de silence, des abris, des refuges. Souvent la médiation vient trop tard. C'est plus difficile quand les riverains sont déjà irrités par le bruit, mais si on le fait avant, on peut expliquer, sensibiliser, comprendre les phases, les évènements saillants, apprendre à distinguer, à s'organiser en fonction des nuisances annoncées. Les rencontrer pour préparer tout ça mais aussi pour voir quel est leur degré de sensibilité, de façon à pouvoir mesurer les problèmes déjà existants.

Silence Chantier : Il existe déjà des visites de chantier avec les riverains.
C. R. : Visiter le chantier et écouter, c'est se dire : « c'est ce son-là qui me gêne ! ».

Certes un projet comme celui du studio de la Philharmonie ne réduit pas directement les nuisances, mais modifie leur perception en reliant les riverains avec le chantier et entre eux. Les projets que nous menons ici, ont pour but de faire des choses ensemble. Pour construire un corps social, par le vecteur de la musique ou du bruit.

Laboratoire d'Acoustique de l'Université du Maine (LAUM)

En acoustique, ne pas oublier qu'isoler signifie réduire le bruit transmis au travers une structure, cela étant souvent opéré en augmentant la masse de cette dernière (loi de masse), alors qu'absorber signifie le plus souvent réduire le bruit réfléchi (et transmis) par une structure, cela étant souvent opéré à l'aide de couches de matériaux poreux (mousses ou laines) épaisses. Toutefois, il semble que les recherches actuelles dans le domaine des métamatériaux contredisent ou tempèrent ces règles de dimensionnement. Serait-il possible d'isoler du bruit avec des structures ajourées et de l'absorber avec des structures fines et rigides ?

INTERVIEWÉ

↓

JEAN-PHILIPPE GROBY
Chargé de Recherche
CNRS au Laboratoire
d'Acoustique de l'Université
du Maine (LAUM)
—
jean-philippe.groby@univ-lemans.fr

Silence Chantier : Qu'est-ce qu'un métamatériau acoustique ?
Jean-Philippe Groby : Les métamatériaux acoustiques sont des matériaux structurés possédant des propriétés acoustiques non-conventionnelles, comme par exemple des densités effectives négatives. Ces propriétés peuvent être contrôlées à partir de la structure interne du matériau qui est souvent constitué d'éléments résonants basses fréquences. En exploitant ces propriétés non-conventionnelles, les métamatériaux acoustiques peuvent avoir de nouvelles propriétés isolantes et/ou absorbantes, notamment pour les sons très basses fréquences, médium ou grave. Les isolants (transmission) et absorbants (réflexion) traditionnels sont très performants à hautes fréquences, i.e. dans les aigus, mais souffrent d'un défaut d'absorption et d'isolation à basses fréquences. Dès lors des structures épaisses, et donc lourdes, sont requises, avec une efficacité pouvant être réduite, notamment en absorption ; alors que les métamatériaux peuvent être plus légers et conserver une efficacité très importante.

De façon général, les métamatériaux acoustiques permettent de contrôler les ondes sonores, mais en particulier, ils peuvent être très performants pour isoler et absorber les bruits grâce à leur comportement résonant à basse fréquences et ce avec une épaisseur drastiquement réduite, donc un poids bien moins important que les matériaux acoustiques traditionnels, notamment dans la bande de fréquence de 100 à 5000 Hz.

L'idée des métamatériaux est d'utiliser des phénomènes de résonance

basse fréquence, par exemple dus à des cavités d'un matériau structuré, de façon à piéger l'énergie acoustique, qui sera ensuite dissipée principalement par effet visqueux et thermique. Ils utilisent pour cela des cavités résonantes, un peu comme des bouteilles, ou des membranes.

Ces résonateurs peuvent être organisés périodiquement ou pas (dans l'espace) à l'intérieur du matériau ou être des matériaux eux-mêmes. Le principe est de faire résonner ces résonateurs de façon à produire des « bandes interdites », c'est-à-dire des plages de fréquences dans lesquelles le son ne peut pas se propager.

Pour isoler ou absorber un spectre sonore plus large, un métamatériau isolant/absorbant les parties graves du bruit peut être combiné avec des matériaux acoustiques classiques de faible épaisseur pour les aigus. C'est par exemple le principe des couches dîtes métaporeuses.

Il existe aussi d'autres propriétés intéressantes des métamatériaux acoustiques comme le *cloaking* : la cape d'invisibilité qui rend la présence d'un objet inaudible, par exemple en faisant disparaître l'effet diffractant de colonnes dans une salle. Mais aussi des métadiffuseurs ; des surfaces de très faibles épaisseurs par rapport aux diffuseurs de Schröeder permettant de contrôler la direction ou la redirection des réflexions de sons (Jimenez et al. 2017).

Les métamatériaux acoustiques pour l'absorption sont très efficaces. Ils permettent d'atténuer l'énergie réfléchie de 30 à 40 dB sur une bande passante allant de 300 Hz à 5 kHz, mais on peut descendre plus bas en fréquence. Ces métamatériaux absorbants peuvent être 20 fois plus minces que les matériaux classiques équivalents, c'est-à-dire environ 5 cm d'épaisseur, mais probablement moins.

Cependant, ils sont souvent dimensionnés comme des structures rigides et supposés ne pas transmettre de façon solidienne, c'est-à-dire ne pas vibrer sous une excitation acoustique.

> **« Les métamatériaux acoustiques pour l'absorption sont très efficaces. »**

L'équipe du professeur Ping Sheng de Hong-Kong University of Science and Technology a montré qu'il n'est pas possible à la fois d'absorber à très basse fréquence et sur une large bande de fréquence avec un matériau mince : un compromis entre l'épaisseur du matériau et son efficacité large bande est fixé par les lois physiques.

Sur le plan des applications industrielles il existe des sociétés spécialisées dans le développement de Métamatériaux acoustiques :

Metacoustic
metacoustic.com/fr
Spin-off du LAUM. Clément Lagarrigue et Damien Lecoq, docteurs en Acoustique de l'Université du Mans, proposent et développent des solutions innovantes pour la réduction des nuisances sonores à partir de métamatériaux acoustiques : les couches métaporeuses et métaporoélastiques.

AMG
http://metacoustic.com/fr
Spin-off de HKUST à Hong Kong qui développe des solutions à partir de membranes.

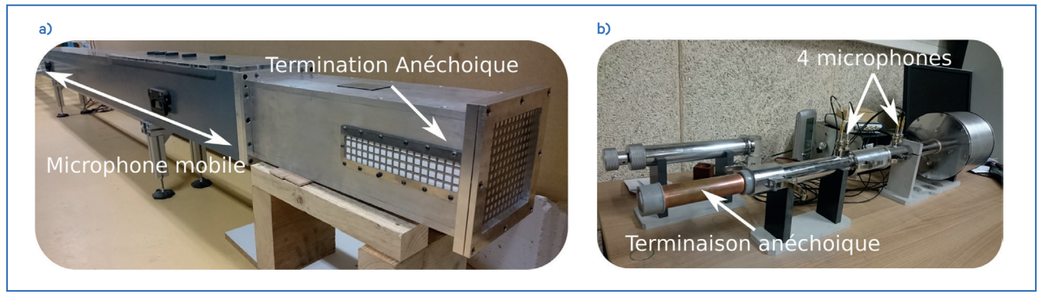
Sonobex (UK)
www.sonobex.com
L'entreprise développe des panneaux acoustiques performants SonoTEC® à base de résonateurs en acier galvanisé, surtout utilisés pour les technologies de pointe. Les métamatériaux sont également utilisés pour atténuer le bruit des réacteurs d'avions et remplacer à terme les matériaux de type nid d'abeilles.

Silence Chantier : Pourquoi les métamatériaux ne sont-ils pas davantage utilisés ?
J-. P. G. : Essentiellement à cause du coût de production. Pour construire des cavités et des orifices très précis dans un matériau, l'usinage rapide (impression 3D) reste la meilleure solution, mais elle est encore trop onéreuse pour une production de masse.

Aujourd'hui, ces matériaux sont surtout testés sur de petits échantillons en tube à impédance, voir la Fig.1, c'est-à-dire lorsque excités par un angle unique, mais ces matériaux fonctionnent pour tous les angles en champs diffus.

Les cristaux soniques résonnants sont plus faciles à réaliser industriellement et relativement peu coûteux. Ces cristaux sont une application pratique des métamatériaux particulièrement pertinente pour la réduction des bruits de chantiers et pouvant remplacer efficacement les murs antibruit. [1]

À la place d'un mur antibruit classique plein, une distribution périodique de cylindres de différentes sections et résonants peut être installée. Le son, à la manière d'une vague, est diffracté de manière destructive par ces cylindres produisant une atténuation importante en aval de la structure. Ces structures périodiques, combinées à des phénomènes de résonances, possèdent des « bandes interdites », c'est-à-dire des plages de fréquences dans lesquelles le son ne peut pas se propager, couvrant plusieurs octaves. On estime que trois rangées de cylindres dans l'épaisseur suffisent à obtenir une bonne atténuation. Ces cylindres de l'ordre de 5 à 7 cm de diamètres peuvent être distants de 8 à 10 cm. L'arrangement précis de ces cylindres peut permettre d'atténuer fortement le bruit de l'ordre de 30 dB [2] dans une bande de fréquence allant de 300 à 5000 Hz [3].



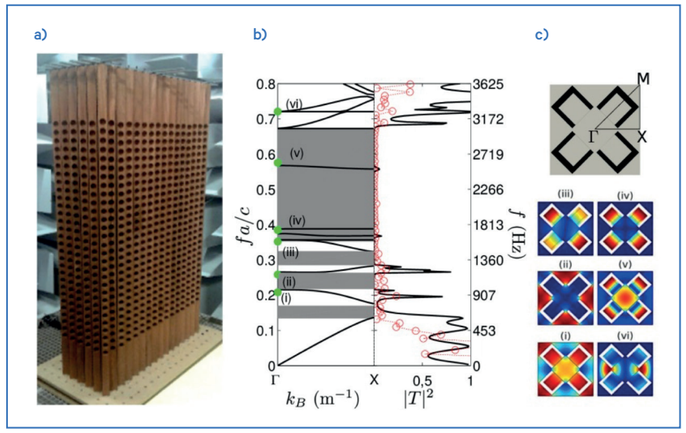


Fig. 1 (ci-dessus) : Tube à impédance (a) de section carrée permettant d'imiter un arrangement périodique en incidence normale et (b) de section circulaire permettant de caractériser certains matériaux constitutifs conçus par le Centre de Transfert de Technologie du Mans (CTTM).

Fig. 2 (à gauche) (Tirée de Lardeau et al., 2016) : (a) Photo d'un cristal résonant composé de diffuseurs de section carrée comportant des résonateurs de type quart d'onde. (b) Structure de bande d'un tel cristal en incidence normale, la transmission correspondante est reportée sur la droite : en trait plein les prédictions numériques et en pointillé rouge les mesures conduites dans la chambre anéchoïque du LAUM. (c) La répartition du champ acoustiques à différentes fréquences d'intérêts.

1. Voir LBSC : III. C. ❷ 3. « Cristaux soniques et métamatériaux ».
2. De l'ordre de grandeur d'un double vitrage.
3. Les médiums et les aigus.

Le gros avantage est qu'un individu peut voir à travers ces colonnes, qu'elles laissent passer la lumière, les petits animaux aux bords des routes, qu'elles présentent une faible résistance au vent, et peuvent être architecturées de façon à agir sur le paysage sonore. Selon les fréquences à traiter la structure est plus ou moins épaisse.

Au LAUM nous travaillons notamment avec Vicente Romero-García et la société Metacoustic en collaboration avec d'autres partenaires, comme José Sánchez-Dehesa de l'Universitat Politècnica de València ou d'autre partenaires industriels.
Nous avons conçu et validé expérimentalement les propriétés isolantes de plusieurs structures à l'échelle 1, utilisant des matériaux naturels tels que des bambous, ou des structures plus complexes permettant le couplage de résonances [Lardeau et al., 2016] conduisant à une perte en transmission couvrant deux octaves et demi, voir Fig. 2.

Conclusion :
Outre leur esthétique, ces dispositifs ont l'avantage de laisser passer l'eau en atténuant les bruits, offrant une bonne solution de barrière acoustique pour les chantiers en zones inondables qui ne doivent pas retenir l'eau.

RÉFÉRENCES

N. Jimenez, T. J. Cox, V. Romero-Garcìa, and J.-P. Groby, *Metadiffusers : Deep-subwavelength sound diffusers*, Sci. Rep., 7 : 5389, 2017.

A. Lardeau, J.-P. Groby, and V. Romero-García, *Broadband transmission loss using 3D locally resonant sonic crystals*, Crystals, 6 : 51-62, 2016.

LAUM – Laboratoire d'Acoustique de l'Université du Maine,
UMR CNRS 6613
laum.univ-lemans.fr/fr/equipes-de-recherche/axe-metamateriaux.html

VI.
CONCLUSION

Groupement Silence Chantier

Écrire ce Livre Blanc

Le travail de recherche, de conception, d'écriture, de design des solutions s'est révélé un exercice ambitieux. Nous avons travaillé avec passion, sans compter nos heures, pendant plus d'une année. Nos commanditaires et nous-mêmes rêvions de solutions magiques, mais nous leur avons finalement préféré un ensemble de propositions plus humbles et plus pertinentes ; donc pari impossible, mais pari réussi.

Recherche d'une certaine exhaustivité, mais néanmoins un domaine à peine effleuré

La documentation accumulée sur tout ce que nous avons pu trouver sur la question est importante. Nous avons rencontré et discuté avec de nombreux acteurs, à qui nous avons soumis nos propositions, et dont nous avons pris en compte autant que possible les remarques et commentaires. Mais nous sommes conscients que beaucoup d'initiatives existent dont nous n'avons pas connaissance. Nous restons demandeurs d'informations, de nouvelles idées, de solutions efficaces et peu couteuses, d'expériences vécues, d'initiatives, de témoignages et de réussites. N'hésitez pas à nous écrire et nous relaierons vos informations.

Ce livre blanc confirme la faisabilité de chantiers très peu bruyants

Ce livre blanc entre dans une logique de notre temps

Les chantiers bruyants sont aujourd'hui perçus comme des chantiers mal contrôlés. Les chantiers silencieux ne sont pas une utopie. Contrairement à ce que l'on entend souvent, il semble que la plupart des bruits actuels des chantiers puissent bel et bien être atténués et améliorés[1]. Certes la démolition et certaines activités bruyantes en elles-mêmes (percussion, raclement, projections…) restent des opérations plus difficiles à contrôler à la source et doivent donc être isolées acoustiquement[2].

Mais le plus gros des bruits de chantiers peut être considérablement réduit, à commencer par les bruits de moteur, les bips de recul et quelques autres émissions courantes (réceptacles résonnants, mécaniques instables, réflecteurs acoustiques…). Des bruits qui causent l'essentiel de la gêne perçue et qui sont dès aujourd'hui maîtrisables.

1. Rendus plus pertinents et plus sécures (Voir LBSC : I. B. 1. « Comprendre le son, le bruit, la gêne, comment les combattre »).
2. En théorie, rien n'empêche de trouver des solutions permettant de réduire à la source le bruit des actions bruyantes en elles-mêmes (percussion, raclement, projections…), mais il faudra encore quelques années de travail.

Réduire le bruit en même temps que les autres émissions polluantes

Pour réussir à réduire le bruit des moteurs à la source, il est essentiel d'unir toutes les forces pour des chantiers à zéro émission : plus de gaz d'échappement, plus de bruit. Accélérer l'électrification des moteurs, encourager et contraindre leur mise en œuvre progressive et leur généralisation dans les prochaines années, c'est faire d'une pierre deux coups.

Complexité des arbitrages

Obligation de rendement pour rattraper les retards, réduction des coûts, urgences et manque d'anticipation, sont autant de causes de chantiers bruyants. Le Maître d'Ouvrage est à la fois juge et partie et se retrouve trop souvent à la fois victime et coupable : il demande des travaux silencieux d'un côté, mais lorsque le titulaire ne respecte pas ses obligations, pour une raison justifiée ou non, c'est généralement le Maître d'Ouvrage qui est mis en cause *in fine*.

Mieux distribuer la responsabilité des nuisances sonores entre les acteurs

La mise en place d'un système complet de régulation du bruit sur chaque chantier peut permettre de réguler la nuisance sonore de manière efficace et transparente[3] :

- → Engagements de garantie de qualité environnementale acoustique des chantiers.
- → Système de Points Bruit.
- → Prix du silence pour les solutions adaptées.
- → Pénalités ou rachats de points en cas d'absence de solution.
- → Information et formation des riverains.
- → Monitoring mutualisé et contrôlé en continu sur tous les chantiers avec corrélation des sources de bruit.
- → Participation des riverains.
- → Mise en œuvre rapide des solutions telle que celles proposées dans ce Livre Blanc.

3. Le sujet est développé dans ce Livre Blanc : « Checklist », II. B. ❶ « Évolutions contractuelles », II. C. « Monitoring et participation », II. B. 2. « Noise labels et Prix du silence ».

Mieux valoriser les solutions qui marchent et les innovations

Mettre en œuvre les savoir-faire innovants des acteurs métiers

Entreprises de génie-civil, industriels fabricants, startups innovantes,... produisent leurs propres procédés, souvent avancés, créatifs, mais mal relayés. La réduction des nuisances n'est pas encore assez considérée comme un avantage compétitif. La recherche et l'innovation doivent être davantage encouragées, mais à condition qu'elles se concrétisent par la mise en œuvre et par la généralisation des solutions. Le déploiement des solutions innovantes est la condition de leur réussite. Il est essentiel de mettre fin à la possibilité de s'en tirer à bon compte avec seulement de bonnes intentions, avec la proclamation vaine de preuves de concepts ou de prototypes expérimentaux réussis, mais sans lendemains.

Renforcement, inclusion et participation des mouvements citoyens, associations de riverain...

Là où les riverains sont organisés et savent défendre leurs droits, comme c'est le cas dans d'autres pays[4], les chantiers sont de facto moins bruyants, car les acteurs sont contraints de mettre en œuvre des solutions. Il est donc important d'intégrer les associations de riverain et de leur donner les outils leur permettant de jouer leur rôle dans le projet, afin qu'elles travaillent en relation avec les acteurs du projet dans un esprit d'échange, de participation et de progrès.

4. Europe du nord notamment avec les *Grassroot movements*, la démocratie participative et la société civile.

Remerciements

Société du Grand Paris
Léo Kahn, Guillaume Talandier, Heloïse Pontaud, Xiaoning Yang, Etienne Pihouée, Alexandre Di-Cocco

CidB
Philippe Strauss, Laurent Droin, Sylvie Bouin, Agathe Chateauminois, Elsa Érimée

ENSCi les Ateliers
François Gaulier, Laurent Dubois, Quentin Lesur, Armand Behar, Françoise Hugont, Anne Sabine Heriau

Soletanche Bachy
Stéphane Monleau et Bertrand Capelle

Xavier Auffret
Designer ENSCi L'Atelier Universel

Paul Gaiardo et Ruth Sefton-Green
Conseil juridique

Olivier Boudot
Relecture

Intervenants au séminaire ENSCi les Ateliers
Suzanne Carval (professeur de droit), Mickael Bardy (Bouygues)

Jean-Philippe Groby
LAUM

Jean-Noël Onfield
Chantiers de France

Anne Laure Verneil et Céline Callegari
ACNUSA

Christophe Rosenberg
Philharmonie de Paris

Remerciements tout particuliers à Bernard Delage et Dominique Potin : Viasonora, pour leur participation active à la réflexion en amont du projet du Livre Blanc

VII.
ANNEXES

Références bibliographiques

LES INDISPENSABLES

Principalement des guides et des dossiers présentant des règlementations, bonnes pratiques, conseils et solutions techniques, la liste non exhaustive ci-dessous est donnée dans un ordre chronologique inverse.

Echo Bruit (CidB) : Dossier Spécial Chantiers à paraitre
Suite au colloque du 21 juin 2018

Les Guides du Conseil National du Bruit (CNB) :
n°4 Bruits de Chantiers
Missions incombant aux acteurs d'une opération de construction pour limiter les nuisances – Juin 2013

Echo Bruit (CidB) : Dossier Spécial Chantiers n°143
Suite au colloque du 26 novembre 2013

Guide méthodologique du SETRA
Bruit des chantiers de construction des infrastructures de transports terrestres – Mars 2010

Guide du Maire
Plaquette « Bruits de Voisinage » – CidB – Mars 2009

Techniques de réduction du bruit en entreprise
Quelles solutions, comment choisir – IRNS ED 962
Exemple de réalisation IRNS ED 997 Décembre 2007

Acoustique & Techniques (CidB) : n°46-47, année 2006
Dossier Spécial « Bruits de chantiers »

Compte-rendu du colloque organisé le 9 novembre 2006 par l'AAE et le CIDB
Table ronde : les droits et les devoirs de chacun des acteurs d'un chantier

Guide à l'usage du Maire
Rappel de la réglementation et fiches pratiques – Lutte contre le Bruit
DRASS et DDASS de Picardie – Juin 2006

Eco-Guide professionnel
– Chantiers du Bâtiment
Conseil Régional de Picardie – ADEME, novembre 2001

Gérer le bruit d'un chantier urbain
Guide ARENE, ADEME, CSTB – 19 septembre 1997

Bulletin des laboratoires des Ponts et Chaussées : Le bruit des chantiers
Bulletin n°208 – Mars-avril 1997 pp 87-98

Jean-Marie Rapin – Rapport du CSTB, n°GR 712.97.001I(B) – Août 1998
La prise en compte de l'impact du bruit sur le voisinage dans l'organisation d'un chantier et la réalisation d'un chantier silencieux

QUELQUES RETOURS D'EXPÉRIENCES EN FRANCE ET DANS LE MONDE

Principalement des retours d'expériences et des cas particuliers, quelques exemples ci-dessous dans un ordre chronologique inverse.

Charte chantier à faibles nuisances – Construction & Démolition
GreenAffair – Juin 2017

Guidelines on Quieter Construction Fund
National Environement Agency (NEA) Singapour – 2017

Noise abatement approaches
Commission Européenne – Avril 2017 – Issue n°17

Plan de Prévention du Bruit dans l'Environnement
2015-2020 Mairie de Paris – Février 2016

Laborers' Health & Safety Fund (LHSF) of North America
Controlling Noise on Construction Sites, bp guide – 2014

Centre for European Policy Studies
Study on the merger of the Directive on noise from outdoor equipment, 200/14/EC, with the machine Directive 2006/14/EC – 15 juin 2014

Juribruit
Lutte contre les bruits de voisinage – n°D5 Bruits des chantiers – CidB
Me Christophe Sanson – 2013

Prise en compte de l'environnement et de sa réglementation dans les chantiers de bâtiment
Recommandation aux maîtres d'ouvrage.
Direction générale de l'Urbanisme, de l'habitat et de la construction Ministère de l'emploi, de la cohésion sociale et du logement – Novembre 2006

Cahier de recommandations environnementales pour les Acteurs de la Construction et de l'Aménagement
Mairie de Paris – 2008

Construction Noise Handbook
U.S. Department of Transportation – Federal HighWay Administration – Août 2006

L'exposition au bruit en milieu professionnel, Evaluation, prévention et réduction
Edité par Berenice Goelzer, Colin H. Hansen and Gustav A. Sehrndt – 2001

Guidelines for community noise
Edité par Berglund, Thomas Lindvall, Dietrich H. Schwela – 1999

À l'écoute du Chantier – Des productions sonores aux modes de prévention
Jean-Paul Thibaud – Mai 1989 – Centre de Recherche sur l'Espace Sonore (CRESSON)

L'environnement acoustique et vibratoire aux postes de conduite des engins de terrassement
INRS – 59 par P Danière, D.Robinet, J Sueur P Boulanger et al. – 1986

Mentions légales

I. Clause déterminant les obligations du Groupement Silence Chantier

1. Les obligations du Groupement Silence Chantier (GROUPEMENT sont de proposer des solutions existantes et des solutions nouvelles, pour limiter les bruits des chantiers, fournir des concepts et les présenter à titre indicatif dans le Livre Blanc Silence Chantier (LBSC). Par solutions nouvelles, il faut entendre des solutions n'existant pas sur le marché à la date de parution du LBSC.
2. Dans le cadre de la mission du LBSC, le Groupement ne développe pas, ni ne met en œuvre les concepts proposés dans le LBSC. Les obligations du GROUPEMENT n'incluent donc ni la conception détaillée, ni le développement, ni la fabrication matérielle des solutions proposées dans le LBSC.
3. Par conséquent, en l'absence des obligations mentionnées dans le paragraphe 2, la mise en œuvre des solutions, leurs conséquences éventuelles et la responsabilité qui en découle n'incombent pas au GROUPEMENT.

II. Positionnement des auteurs

1. Les opinions exprimées dans le Livre Blanc Silence Chantier reflètent le point de vue de ses auteurs.

III. Reproduction et diffusion

1. Les Propositions du LBSC sont protégées au titre du droit français de la propriété intellectuelle et/ou industrielle.
2. Toute exploitation nécessite l'autorisation préalable des titulaires des droits : le GROUPEMENT, comprenant les Auteurs du LBSC et les structures auxquels ils sont rattachés (ENSCi les Ateliers, AtelierGH, Impédance).
3. La propriété intellectuelle du LBSC appartient au GROUPEMENT qui se réserve tous droits de cessions en cas d'exploitation commerciale.

IV. Droit d'utilisation et de développement des concepts

1. Les Entités qui souhaitent utiliser les Propositions Nouvelles du LBSC devront informer le Groupement, notamment dans un but de mutualisation d'information.
2. Le groupement entend contribuer au développement à la réduction des nuisances des chantiers et à la mise en œuvre des propositions du LBSC. À ce titre, les Entités Directement Rattachées au Grand Paris qui souhaitent exploiter une ou plusieurs Proposition(s) Nouvelle(s), peuvent exploiter librement et gratuitement les propositions du LBSC, dans la mesure où l'objectif de la SGP est justement de fournir aux entreprises des propositions qu'elles pourraient mettre en œuvre concrètement.
3. Ces Entités Directement Rattachées, c'est à dire les entreprises qui ont remporté un appel d'offres, pourront bénéficier d'une cession de droit d'utilisation libre des idées et Propositions Nouvelles avec obligation d'attribution (licence creative commons (BY)) : mention obligatoire = « Sur une idée du Livre Blanc Silence Chantier ». Elle pourront développer, modifier et mettre en œuvre librement ces Propositions Nouvelles.

4. En revanche, les Propositions Nouvelles du LBSC ne pourront être exploitées gratuitement par des entreprises Hors Grand Paris. Par « Hors Grand Paris il faut entendre :
a. Toute entreprise opérant un chantier en dehors d'un appel d'offre de la Société du Grand Paris, mais aussi.
b. Tout chantier réalisé par ces entreprises ne répondant pas à un appel d'offres du Grand Paris

Toute information, question, demandes d'autorisation ou de cession est à envoyer à l'adresse mail : contact@silencechantier.com.

SILENCE CHANTIER

Groupement

—

Roland Cahen, Gaël Hiétin, Bertrand Masson

Société du Grand Paris

Grand Paris express

impédance ingénierie

atelier gh

ENSCi LES ATELIERS