

INVISIBILITÉ SISMIQUE ANTIQUE ET FORESTIÈRE

Les séismes se traduisent par des ondes dont certaines, celles dites « de Rayleigh », mettent parfois en résonance les édifices élevés, comme les immeubles, d'où le risque qu'ils s'effondrent. De plus, de nombreuses villes sont historiquement implantées dans les vallées, près de fleuves..., là où les sols sont souvent assez mous et épais. Or ces couches géologiques ont une propension à amplifier les ondes sismiques destructrices. Peut-on alors imaginer une « cape d'invisibilité sismique » qui contraindrait la trajectoire des ondes de surface autour d'un bâtiment à protéger ? Depuis une dizaine d'années, plusieurs études théoriques et expérimentales ont confirmé l'idée. Ainsi, sous certaines conditions, des trous de forage régulièrement et précisément espacés de façon à faire varier la densité moyenne du sol d'un endroit à l'autre, aident à contrôler la vitesse, donc la direction, de propagation d'une onde de vibration dans le sol. Un tel réseau protégerait une structure contre des ondes sismiques.

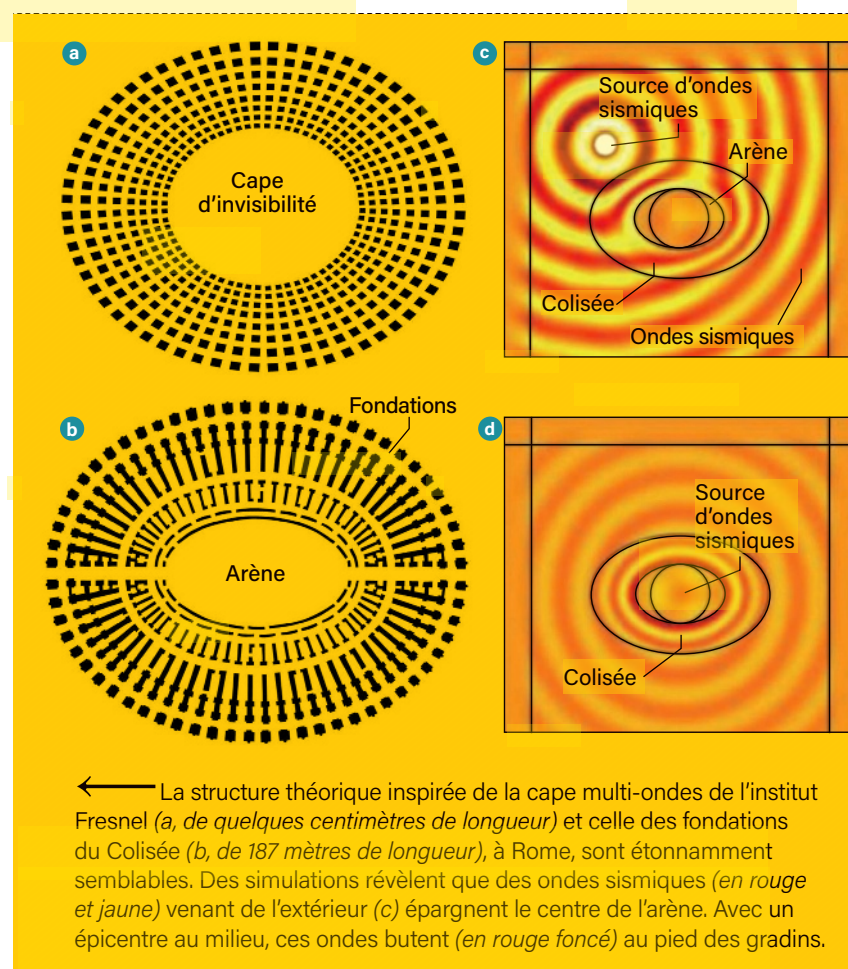
Les travaux sur l'ingénierie parasismique ont révélé quelques surprises. Par exemple, on s'est aperçu que la répartition dans le sol des piliers de soubassement du Colisée, le gigantesque amphithéâtre de Rome, est très semblable, à un changement d'échelle près, à la structure d'une cape d'invisibilité aux vagues mise au point en 2008 à l'institut Fresnel. Des simulations ont montré que des ondes sismiques venant de l'extérieur épargnent le cœur de l'arène. Cette similitude est fortuite, car la construction n'a été guidée que par des objectifs scéniques et de solidité.

Toujours est-il que cette structure a peut-être fait en sorte que rien n'arrête les jeux du cirque, même en cas de tremblement de terre ! Autre surprise, des physiciens, dont Andrea Colombi et Philippe Roux, de l'institut Isterre, à Grenoble, ont récemment proposé de voir dans les forêts des métamatériaux géants à même de protéger des secousses des zones urbaines. Des simulations informatiques ont bel et bien mis en évidence un tel effet, en l'occurrence

une atténuation des ondes de Rayleigh à certaines fréquences (celles-ci varient selon que les arbres sont feuillus ou non !). La végétalisation a déjà des effets bénéfiques sur le climat en ville. Si en plus elle protège des séismes, elle a sans doute de beaux jours devant elle !

Sébastien Guenneau,
UMI A. de Moivre
(CNRS-Imperial College,

Stéphane Brûlé,
Institut Fresnel





direction (rappelez-vous quand vous vous êtes cognés contre une porte en verre), mais un objet ne peut être invisible pour toutes les directions d'éclairage.

La question semblait donc définitivement réglée, jusqu'à ce que, en 2006, deux études théoriques soient publiées, l'une par Ulf Leonhardt, à l'université de Saint Andrews, en Écosse, et l'autre par John Pendry, de l'Imperial College de Londres, avec David Schurig et David Smith, de l'université Duke aux États-Unis. Ces deux articles proposaient des modèles théoriques de cape d'invisibilité fondés sur une technique nouvelle nommée «optique transformationnelle».

De quoi s'agit-il ? Quand de la lumière passe d'un milieu à un autre, par exemple de l'eau à l'air, elle change de direction – on parle de «réfraction». Cet effet est évident quand on observe une paille plongée dans un verre d'eau. L'idée clé de l'optique transformationnelle consiste à remarquer que, dans de nombreux cas, courber des ondes lumineuses équivaut mathématiquement à déformer la géométrie de l'espace. Le principe consiste donc à concevoir la déformation spatiale souhaitée, en l'occurrence celle qui force les rayons lumineux à contourner la région à dissimuler, puis à en déduire le type de matériaux nécessaires pour produire le dispositif de camouflage.

Comment est-ce possible alors que des recherches antérieures avaient apparemment prouvé l'impossibilité de l'invisibilité ? Les auteurs des deux études de 2006 résolvaient cette contradiction apparente de deux façons différentes. Ulf Leonhardt notait simplement

que la non-existence de l'invisibilité « parfaite » n'exclut pas la possibilité d'une quasi-invisibilité : un objet invisible à 99 %, par exemple, serait sans doute acceptable pour la plupart des applications. Quant à John Pendry et ses deux coauteurs, ils faisaient observer que les preuves de non-existence ne prennent pas en compte des milieux matériels très particuliers que l'on ne trouve pas dans la nature, mais que l'on peut fabriquer en laboratoire.

L'HEURE DES MÉTAMATÉRIAUX

Ces chercheurs pensaient à ce qu'on appelle à présent des «métamatériaux», des milieux formés par un assemblage de structures artificielles. Alors que la plupart des matériaux naturels ne réagissent qu'au champ électrique des ondes lumineuses, on pourrait mettre au point des métamatériaux présentant aussi une réponse magnétique. En outre, la plupart des matériaux naturels sont isotropes, c'est-à-dire que la lumière s'y propage à la même vitesse quelle que soit sa direction. Les matériaux anisotropes, où la vitesse de la lumière dépend de la direction considérée, offrent une liberté supplémentaire pour concevoir de véritables dispositifs de dissimulation.

Fin 2006, les chercheurs de l'Imperial College et de l'université Duke ont construit et testé un dispositif rudimentaire capable de cacher un objet vis-à-vis de microondes. Depuis, divers concepts de dispositif de dissimulation ont été proposés, et un certain nombre d'entre eux ont été testés. Notamment, en 2014, l'équipe de l'université Duke a fait la