

Les enjeux de l'optique d'aujourd'hui

Problématique

Dissimuler un objet

LE CONCEPT DE « CAPE D'INVISIBILITÉ »

1 Si l'on place 4 miroirs autour d'un objet, on peut le rendre invisible en détournant la lumière incidente.

2 Les recherches actuelles visent à mettre au point un « métamatériau » capable de dévier progressivement et localement la lumière.

1. Expérience d'invisibilité à faire soi-même (Rochester University)

2. Principe théorique de l'invisibilité (John Pendry, Imperial College) testé depuis 10 ans en laboratoires universitaires

Protéger des ondes

Comment rendre un bâtiment « invisible » aux ondes sismiques ?

Des pieux en béton enfoncés sur plusieurs dizaines de mètres et placés de façon concentrique autour du bâtiment à protéger font dévier les ondes, évitant ainsi la destruction du bâtiment.

À la suite d'un séisme, les ondes sismiques se propagent à partir de son épicentre.

Pieux de béton

Contrôle sismique

Principe théorique de l'invisibilité sismique (Stefan Enoch et Sébastien Guenneau, Institut Fresnel/AMU/CNRS/ECM) testé depuis 3 ans par l'entreprise Ménard (équipe de Stéphane Brûlé).

Relocalisation

Déviation

Arrivée des ondes sismiques

Axes de recherche

Les capes d'invisibilité en métamatériaux pour ondes électromagnétiques

Cape pour micro-ondes

Imperial college London/ Duke University/ Birmingham University

Tapis pour ondes lumineuses

Cape pour micro-ondes

Institut d'Electronique Fondamentale (Paris Sud)

Tapis pour ondes plasmoniques

Institut de Ciències Fotòniques (Barcelone)/Institut Fresnel (AMU)

Cape ferromagnétique pour champ magnétique statique

Universitat Autònoma de Barcelona

Les capes d'invisibilité en métamatériaux pour ondes acoustiques, sismiques et pour la diffusion de la chaleur

Cape pour les vagues

Institut Fresnel (AMU/CNRS/ECM)

Entreprise Ménard (groupe Vinci) Institut Fresnel (AMU/CNRS/ECM)

Cape pour la thermique

Karlsruher Institut für Technologie /Institut Fresnel (AMU/CNRS/ECM)

Cape à indice de Poisson négatif

Karlsruher Institut für Technologie

Cape pour la biochimie

A*Midex

Echangeurs thermiques

Circuits électriques

D'après Wikipedia, le terme **métamatériau** désigne un *matériau composite artificiel* qui présente des propriétés électromagnétiques qu'on ne retrouve pas dans un matériau naturel. Il s'agit en général de structures périodiques, diélectriques ou métalliques, qui se comportent comme un matériau homogène n'existant pas à l'état naturel. Ils ont été découverts par le physicien britannique John Pendry à la fin du siècle dernier.

1999 : Découverte des métamatériaux

2000 : Lentille parfaite de John Pendry

2006 : Cape d'invisibilité en micro-ondes

2008 : cape d'invisibilité pour les vagues

2009 : cape d'invisibilité pour les séismes

2012 : cape d'invisibilité thermique

2013 : cape d'invisibilité biochimique

Où en sommes nous AUJOURD'HUI?

Innovation et valorisation dans les protections contre vagues et séismes . . .

Les techniques de transformation d'espace sont combinées à des méthodes dites d'homogénéisation (ou méthodes asymptotiques) pour structurer des sols argileux afin de leur conférer des propriétés inédites (telle que de l'anisotropie artificielle) permettant de contrôler la trajectoire des ondes de Rayleigh qui sont des ondes sismiques se propageant aux interfaces air-sol. Ce faisant, ces ondes particulièrement délétères pour les infrastructures entre 1 et 12 Hertz, contournent les zones sensibles à protéger. Un dépôt de brevet est en cours avec la SATTSE entre l'Institut Fresnel (AMU/CNRS/ECM), l'entreprise Ménard (groupe Vinci) et l'Imperial College de Londres. Un autre dépôt de brevet est en cours avec la SATT SE sur des protections contre les vagues entre l'Institut Fresnel et l'Institut de Recherche des Phénomènes Hors Equilibre, IRPHE (AMU/CNRS/ECM).

Et dans des couches absorbantes d'ondes acoustiques et sismiques!

André Diatta, chercheur CDD au CNRS travaille dans le cadre du projet ERC ANAMORPHISM sur des milieux élastiques issu de transformations géométriques tridimensionnelles. La découverte de couches absorbantes parfaitement adaptées (sans réflexion) issues de la recherche sur des capes mécaniques conduit à un dépôt de brevet avec la SATT SE et l'Institut Fresnel (AMU/CNRS/ECM) et à la soumission d'un projet ERC Proof of Concept. Les applications de QUAKEPML se situent dans l'acoustique des salles de spectacle, l'insonorisation de bâtiments, et l'atténuation des ondes sismiques.

La technique du morphing introduite au début des années 80 pour les effets spéciaux au cinéma (Willow etc.) quand elle est combinée aux techniques mathématiques utilisées pour dessiner les capes d'invisibilité, conduit à des simulations numériques plus rapides. Par exemple, en appliquant le morphing aux simulations numériques des deux figures du haut, on obtient l'image en bas à gauche indiscernable à l'œil nu de celle issue d'une simulation numérique en bas à droite. Un dépôt de brevet impliquant des membres de l'Institut Fresnel (porté par Ronald Aznavourian, IE CNRS) est en cours avec la SATTSE qui devrait conduire à la création d'une START UP dans la région marseillaise.

Exemple de recherche improbable issue du Morphing et de l'optique transformationnelle :

Les enjeux de l'optique d'aujourd'hui dépassent largement le cadre des ondes lumineuses. Des modèles mathématiques issus de la résolution des équations de l'électromagnétisme-- qui apparaissent pour la première fois dans l'ouvrage *Electricity and Magnetism* publié par James Clerk Maxwell en 1873-- dans des systèmes de coordonnées curvilignes (qui s'écrivent alors sous forme tensorielle un peu à l'instar des équations de la relativité d'Einstein, mais sans déformation temporelle, et à des échelles spatiales beaucoup plus petites), ont conduit à la réalisation des premières capes d'invisibilité durant la dernière décennie. Des analogies entre les équations de la physique des ondes permettent d'envisager un contrôle accru d'ondes acoustiques, hydrodynamiques et mécaniques pour la réalisation de chapes de silence, de digues de nouvelle technologie contre les vagues et de chapes parasismiques. Ces projets s'inscrivent pleinement dans le cadre de **l'année internationale de la lumière et des techniques utilisant la lumière comme proclamé par l'Organisation internationale des Nations unies en 2015. Le but est de sensibiliser le public à la contribution de ces techniques au développement durable, et aux solutions qu'elles peuvent apporter aux grands défis contemporains comme l'énergie, l'éducation, l'agriculture et la santé.**