



www.cnrs.fr

L'invisibilité : rêve ou réalité ?

Conférence de presse

Mercredi 23 mai 2012, à Paris

DOSSIER DE PRESSE

Contact

Presse CNRS | Priscilla Dacher | T 01 44 96 46 06 | priscilla.dacher@cnrs-dir.fr



www.cnrs.fr

SOMMAIRE

- Invitation presse
- Les intervenants
- Leurs présentations
- Programme du workshop scientifique
- Le journal du CNRS « *Un bouclier contre la colère des mers* » (janvier-février 2009)
- Communiqué du CNRS « *Une cape d'invisibilité... contre les séismes !* » (10 juillet 2009)
- Fait marquant 2010 de l'Institut des sciences de l'ingénierie et des systèmes du CNRS
« *La première cape d'invisibilité non magnétique démontrée en micro-onde, l'invisibilité dans le visible en vue* »
- Quelques visuels disponibles



www.cnrs.fr

INVITATION PRESSE | PARIS | 11 MAI 2012

L'invisibilité : rêve ou réalité ?

Conférence de presse

Mercredi 23 mai 2012, à 10H30

au CNRS - 3, rue Michel-Ange, Paris 16e

Métro Michel-Ange Auteuil (lignes 9, 10)

Protéger nos habitations d'éventuels séismes ? Limiter les émissions d'ondes par des antennes de téléphonie « intelligentes » ? Rendre insensible à la chaleur ou bien invisible à la lumière ? Ce sera peut-être bientôt possible grâce aux métamatériaux et aux progrès effectués en la matière. Tout a commencé en 2006 par la conception d'une « cape d'invisibilité » aux rayons micro-ondes. Désormais, cette quête de l'invisibilité accapare les spécialistes mondiaux du domaine qui se réunissent à Paris, le 23 mai à l'initiative du CNRS.

Venez découvrir, au cours d'une conférence de presse prévue le 23 mai à 10H30, les dernières avancées dans ce domaine.

Au programme :

> **Introduction** par Claude Amra, directeur de recherche CNRS à l'Institut Fresnel (CNRS/Aix-Marseille Université/Ecole centrale de Marseille)

> **La quête de l'invisibilité** par John Pendry de l'Imperial College de Londres

> **Le cas des tsunamis et des séismes** par Sébastien Guenneau, chargé de recherche CNRS à l'Institut Fresnel (CNRS/Aix-Marseille Université/Ecole centrale de Marseille)

> **Au-delà de l'invisibilité** par André de Lustrac, professeur de l'Université Paris Ouest et directeur de l'Institut d'électronique fondamentale (Université Paris-Sud/CNRS)

Contact

Presse CNRS | Priscilla Dachet | T 01 44 96 46 06 | priscilla.dacher@cnrs-dir.fr



www.cnrs.fr

Les intervenants



Claude Amra est directeur de recherche au CNRS, avec une expertise initiale en photonique et dans le domaine des ondes. Il s'est d'abord intéressé à la diffusion de la lumière, aux couches minces optiques, à l'endommagement laser et aux microcavités luminescentes. Puis, il est amené en 1996 à diriger le laboratoire d'optique des surfaces et des couches minces (CNRS/ENSPM¹). En 2000 il crée l'Institut Fresnel (CNRS/Aix-Marseille Université/Ecole centrale de Marseille), spécialisé dans les domaines de l'optique et des ondes, de l'image et du signal. Il a ensuite été directeur adjoint scientifique à l'Institut des sciences de l'ingénierie et des systèmes du CNRS. Claude Amra poursuit aujourd'hui une carrière scientifique au plus haut niveau international, en particulier sur l'exaltation optique géante en milieu confiné, la cohérence et polarisation de la lumière en milieu désordonné ainsi que l'invisibilité et la protection thermique.



John Pendry est un théoricien de la matière condensée. Il travaille au laboratoire Blackett du Collège Impérial de Londres depuis 1981. Il a débuté sa carrière au laboratoire Cavendish de Cambridge, puis est resté six ans au laboratoire de Daresbury. Il a beaucoup contribué aux propriétés électroniques et structurales des surfaces en développant la théorie de la diffraction aux basses énergies et aux états électroniques de surface. Le transport dans les systèmes désordonnés constitue un autre de ses axes de recherche. En 1992, John Pendry s'est tourné vers les matériaux photoniques, et a développé les tout premiers codes capables de modéliser ces matériaux novateurs. Ces études pionnières l'ont conduit à sa recherche actuelle : **les propriétés électromagnétiques remarquables de matériaux** où la réponse des champs électromagnétiques est sens dessus dessous, et conduit à des valeurs négatives de l'indice de réfraction.

En collaboration avec l'entreprise Marconi, John Pendry a inventé des '**métamatériaux**' dont les propriétés « surnaturelles » doivent plus à leur intime micro-structure qu'à leurs matériaux constitutifs. Par ordre chronologique, des métamatériaux avec une permittivité électrique négative, puis avec une perméabilité magnétique négative, ont été conceptualisés puis construits vers la fin des années 90. Ces innovations ont permis de concevoir le premier matériau avec un indice de réfraction négatif, une propriété inédite.

John Pendry s'est ensuite intéressé aux exaltations des interfaces de ces matériaux novateurs et a montré leur lien avec les plasmons de surface² (connus dans les métaux). De ces recherches a résulté la '**lentille parfaite**' découverte en 2000 (dont la résolution n'est pas limitée par la longueur d'onde). Enfin en 2006, John Pendry a proposé un nouveau concept : **une cape d'invisibilité** par transformations de l'espace, réalisée en utilisant des métamatériaux. Prix Dirac en 1996, John Pendry a obtenu la médaille Royale de la Royal Society de Londres en 2006.

¹ Ecole nationale supérieure de physique de Marseille, aujourd'hui Ecole centrale de Marseille

² Un plasmon est l'oscillation collective des électrons de conduction dans un métal. Les plasmons de surface sont confinés à la surface.



www.cnrs.fr



Sébastien Guenneau est chargé de recherche CNRS à l'Institut Fresnel (CNRS/Aix-Marseille Université/Ecole centrale de Marseille) où il poursuit ses recherches sur des modèles multi-échelles de métamatériaux permettant de contrôler des ondes (vagues, ondes sismiques en particulier). Il est lauréat d'une bourse ERC junior portant sur la conception de capes de protection contre les tsunamis et contre les séismes. Sept années au Royaume-Uni lui ont permis de tisser d'étroites collaborations avec les départements des sciences mathématiques de l'Université de Liverpool et de l'Imperial College London, où il a travaillé au sein des groupes d'Alexander Movchan et John Pendry.



André de Lustrac a obtenu en 1986 un doctorat en physique appliquée à l'Institut d'électronique fondamentale (IEF, Université Paris-Sud/CNRS), portant sur les dispositifs logiques Josephson et leurs applications. Après avoir été maître de conférences à l'Institut de technologie de Cachan de 1989 à 1992, il est aujourd'hui professeur à l'Université Paris Ouest, tout en dirigeant une équipe de recherche à l'IEF. De 2002 à 2007 il a été à l'origine de l'UFR 'Systèmes industriels et techniques de communications' de l'Université Paris Ouest, qu'il a piloté. Depuis 2006, il est conseiller scientifique en nanotechnologies à la Direction générale pour la recherche et l'innovation du ministère de l'Enseignement supérieur et de la recherche. Avec son équipe de recherche à l'IEF, il explore la physique et les applications des cristaux photoniques et des métamatériaux dans le domaine des télécoms et en optique. Depuis 2007, il développe des applications de la transformation d'espace, en particulier en invisibilité et dans le domaine des antennes.



www.cnrs.fr

Introduction

Claude Amra

Directeur de recherche au CNRS,
Institut Fresnel (CNRS/Aix-Marseille
Université/Ecole centrale de Marseille)



L'invisibilité, un thème en forte émergence...

Les pionniers ont eu raison de croire dans une ambition qui pouvait sembler démesurée a priori.



Être invisible = ne pas être vu?

cas de l'obscurité : « rien n'est vu »

(on peut suspecter la présence d'un objet)



Être invisible

=

***Exhiber une scène identique en
présence ou en l'absence d'objet***

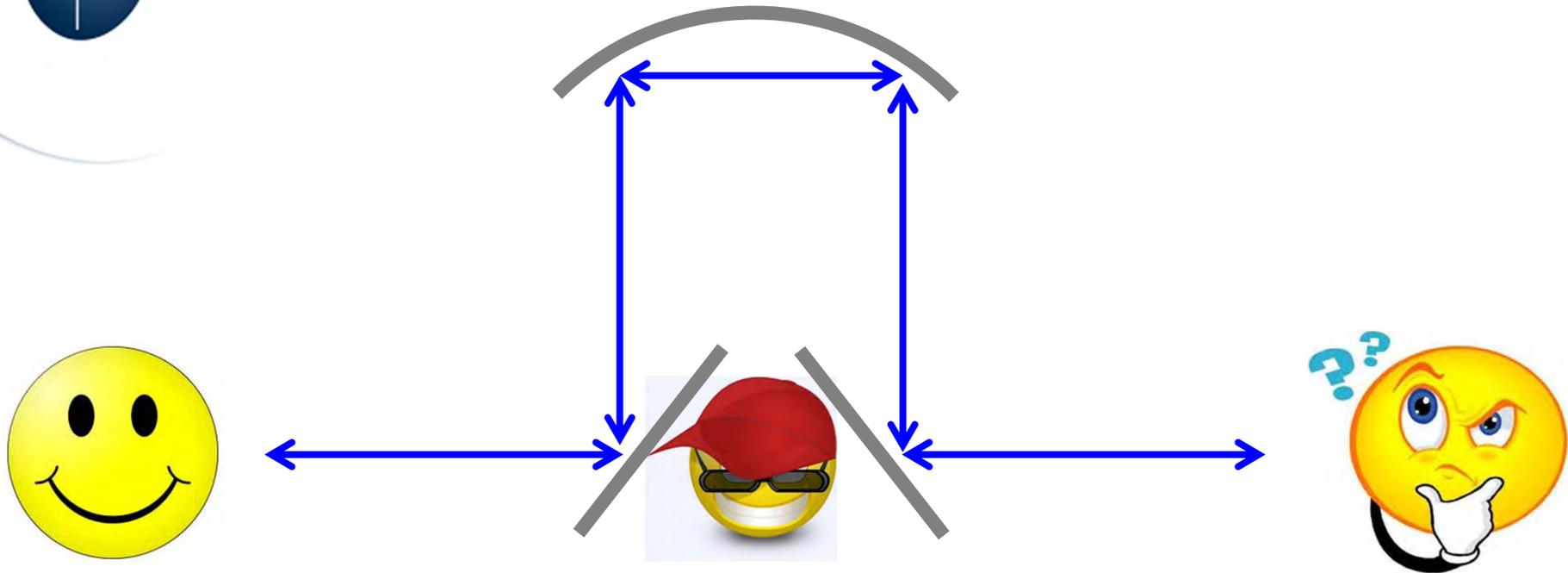


Paul et Jacques se regardent...





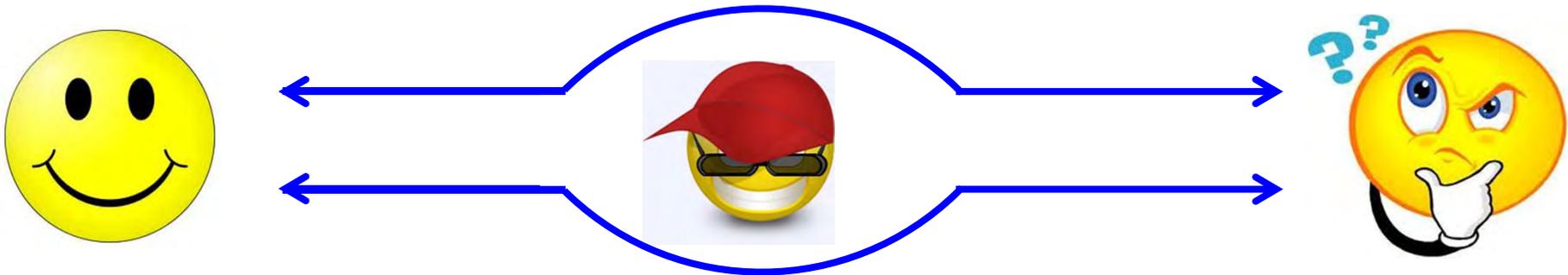
Paul et Jacques se regardent...



et ne voient pas Alice si l'on introduit 3 miroirs.
Avec ce système, Paul et Jacques croient tout voir!



On remplace les miroirs par un métamatériau capable de dévier progressivement et localement la lumière.



Apparaît également la notion de « **protection** »
(les flux de photons sont détournés).



Un processus multi-physique

Etre invisible = ne pas être vu

mais... il existe différentes façons de voir

(percevoir & ressentir & détecter) :

- *Lumière :* **Optique**
- *Son :* **Acoustique**
- *Vibration :* **Mécanique**
- *Température :* **Chaleur**



Applications

*L'invisibilité,
une ingénierie pluridisciplinaire*



Mais encore ?

*L'invisibilité,
une notion réservée à l'espace?*

Vers une transdisciplinarité à venir?

Invisibility & Control of Electromagnetic fields

JB Pendry

The Blackett Laboratory, Imperial College London

email: j.pendry@imperial.ac.uk

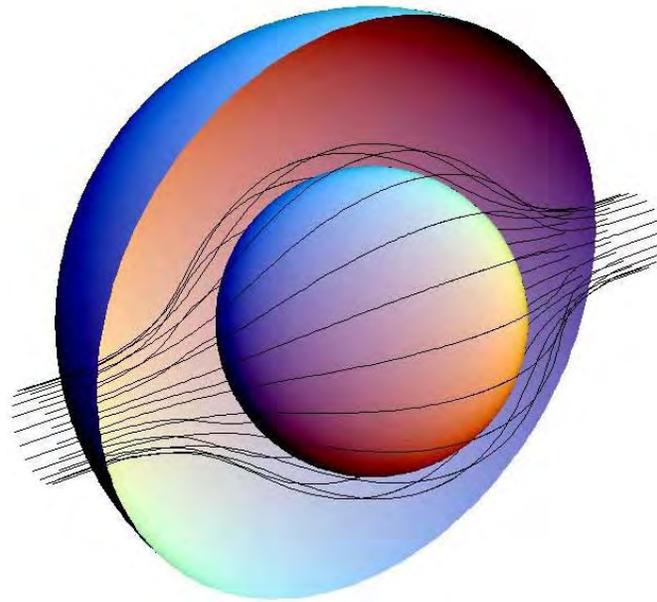
Black is not enough – the problem of the shadow



How to make something invisible

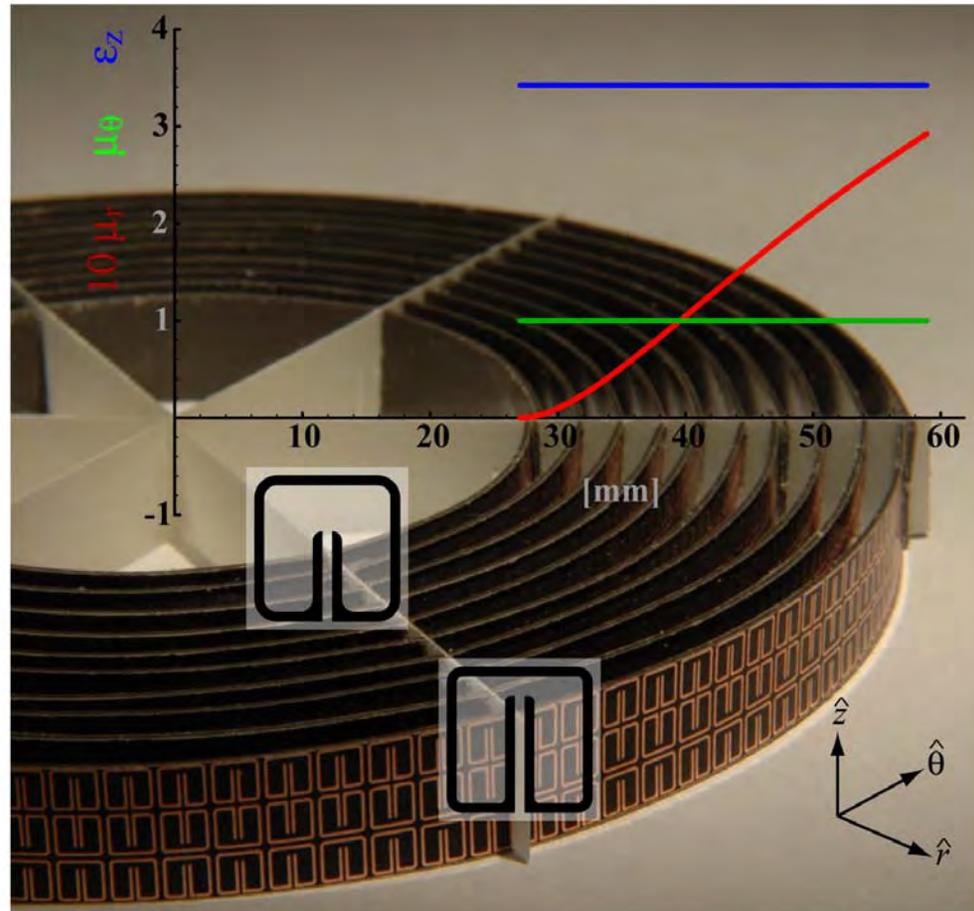
Science **312** 1780-2 (2006), JB Pendry, D Schurig, and DR Smith

1. define a region that is to be invisible
2. surround it with an optical medium that can bend light
3. design the medium to bend the light rays inside the cloak away from the invisible region – this ensures no one can see inside
4. check that rays outside the cloak are never disturbed – this ensures no one can detect that the cloak is present



The Duke metamaterial cloak for radar waves

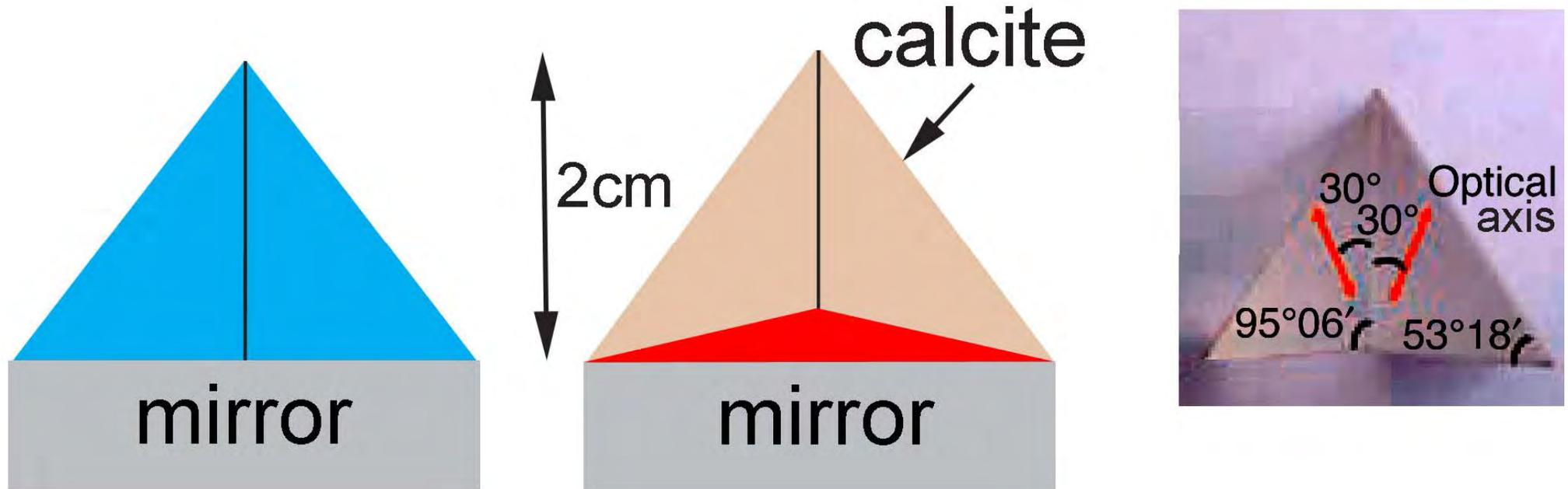
D. Schurig, J. J. Mock, B. J. Justice, S. A. Cummer, J. B. Pendry, A. F. Starr, D. R. Smith, *Science*, **314**, 977-80 (2006)



Two dimensional microwave cloaking structure with a plot of the material parameters that are implemented. μ_r (red) $\times 10$, $\mu_\theta = 1$ (green), $\epsilon_z = 3.423$ (blue).

The Birmingham calcite cloak for visible light

Chen Xianzhong; Luo Yu; Zhang Jingjing; et al., *Nature Communications*, 2, 176 (2011).



Left: transformation optics starts from a triangular region of space and a reflecting surface.

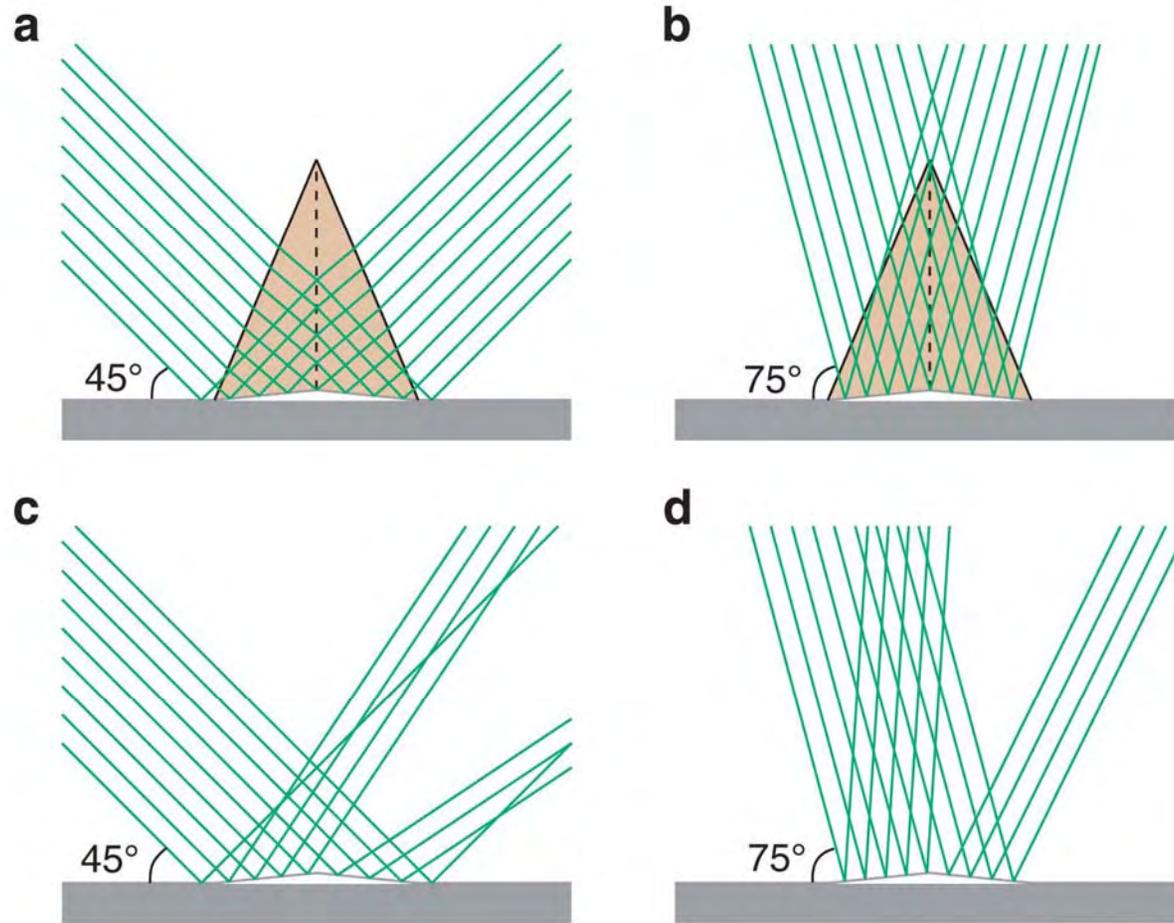
Centre: then compresses the upper region to make a hidden triangle.

Right: two calcite crystals can be used to realize the cloak.

Viewed externally the cloaked region appears to be a flat mirror.

Dimensions: approximately 2cm x 2 cm.

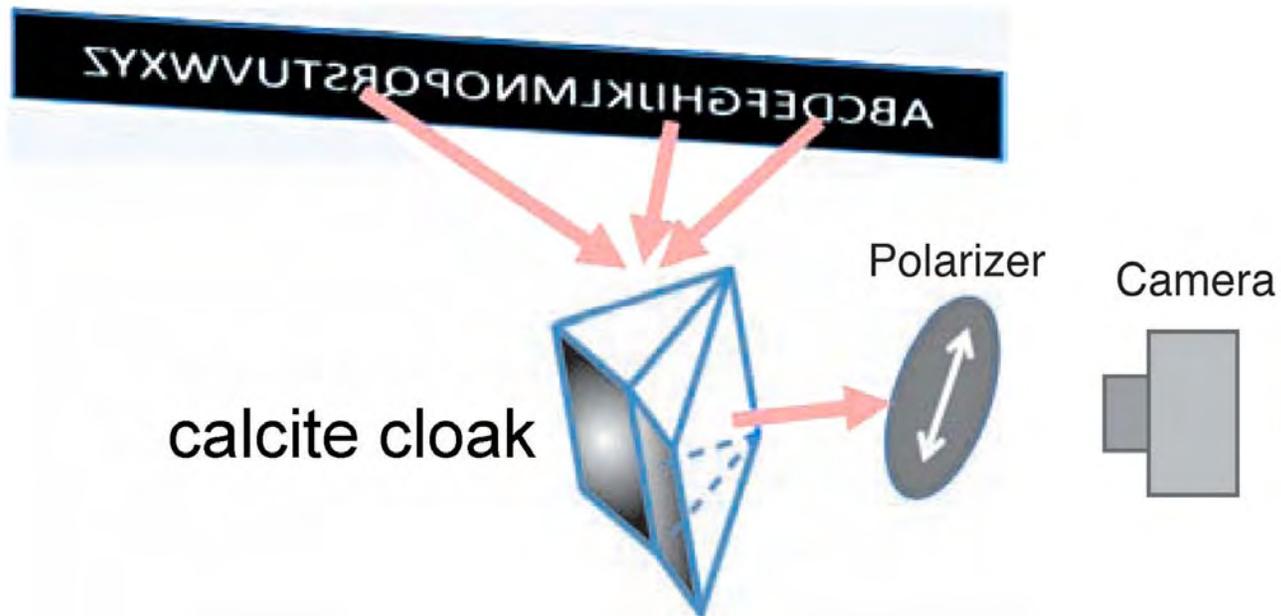
Trajectories of rays through the calcite cloak



Top: ray trajectories with the cloak in place

Bottom: ray trajectories without the cloak

The alphabet viewed through the calcite cloak



no cloak



with cloak





www.cnrs.fr

Le cas des tsunamis et des séismes

Sébastien Guenneau

Chargé de recherche au CNRS,
Institut Fresnel (CNRS/Aix-Marseille
Université/Ecole centrale de Marseille)

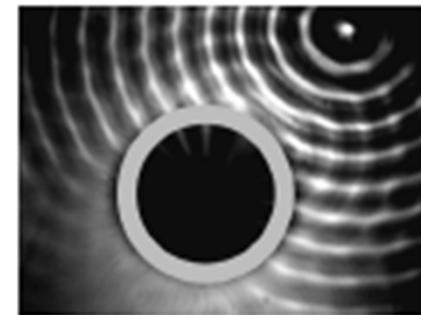
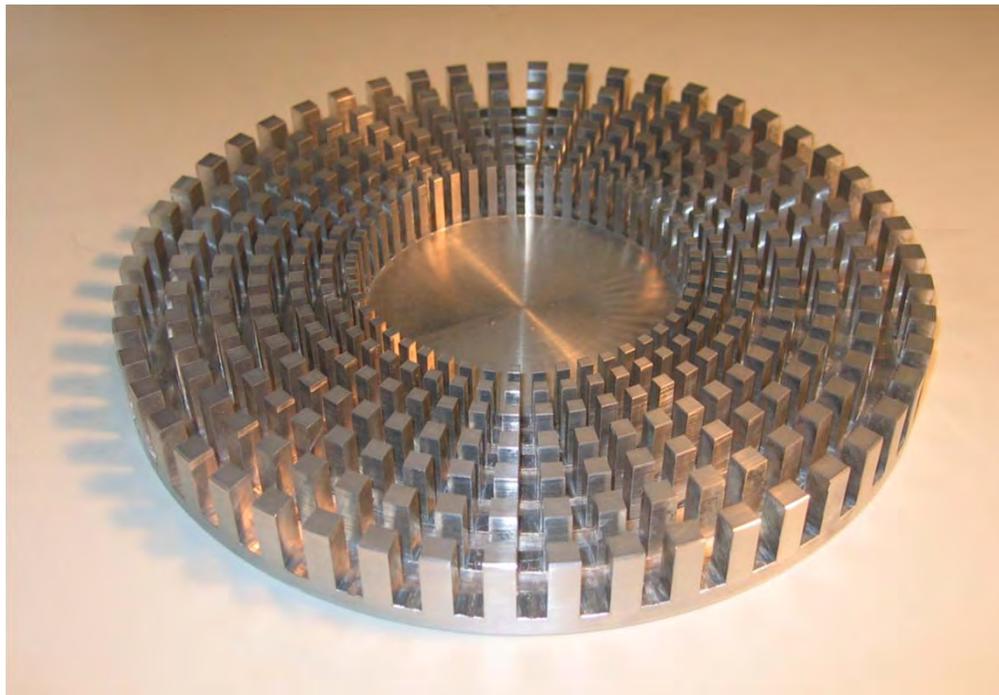


Collaborations

- Laboratoire de mécanique et d'acoustique (CNRS, Marseille)
- Institut Langevin (CNRS/ESPCI/UPMC/Univ. Paris 7)
- Imperial College London (Royaume-Uni)
- Liverpool University (Royaume-Uni)
- Sydney University (Australie)
- Austin University (USA)
- Indian Institute of Technology Kanpur (Inde)

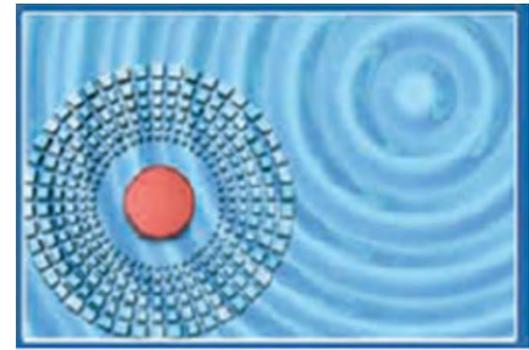
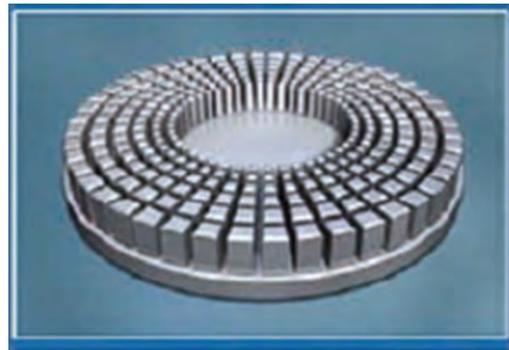
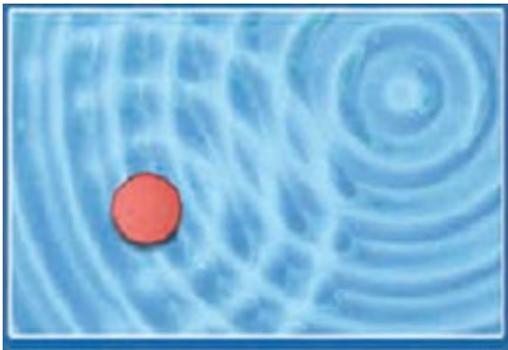


Petite échelle (20 cm) Cape à vagues

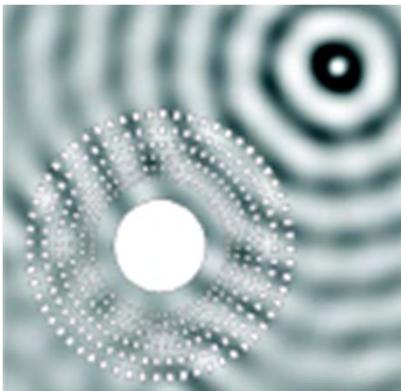


Physical Review Letters 101, 134501 (2008)

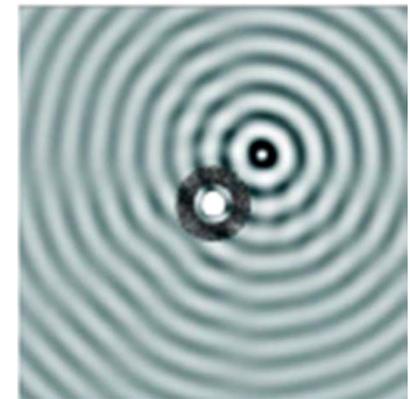
Grande échelle (200 m) Cape anti-tsunamis



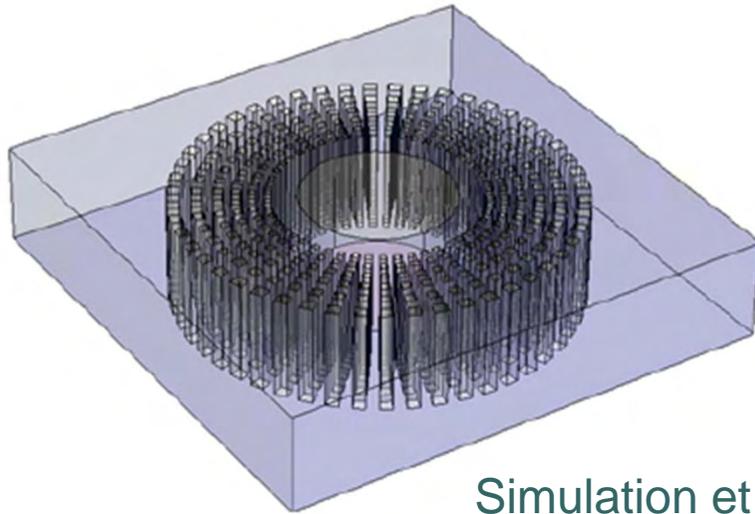
Infographie La Recherche (Février 2012)



Simulation et design:
Institut Fresnel

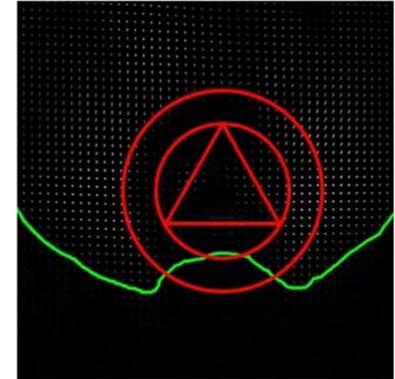
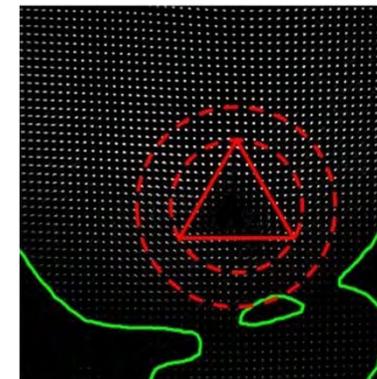
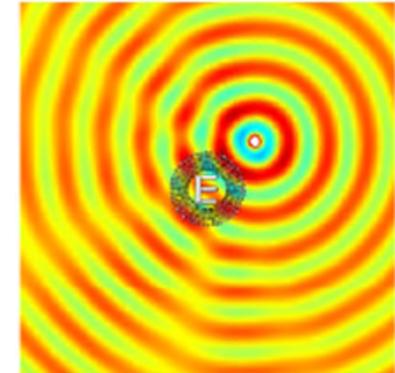
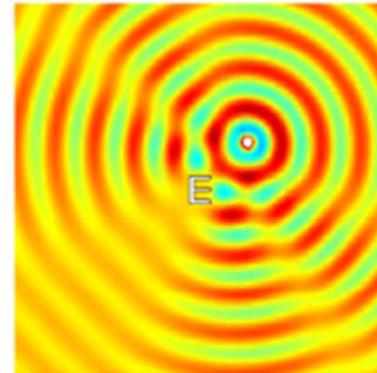


Petite échelle (10 cm) Cape anti-vibrations

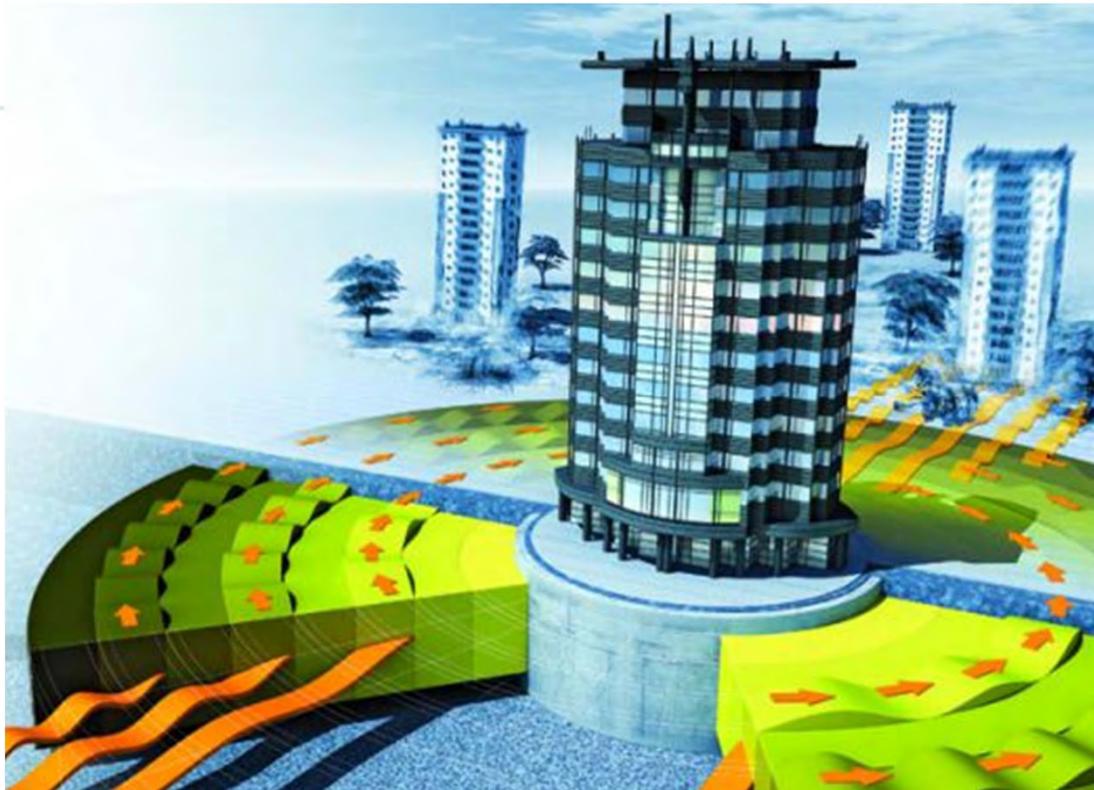


Simulation et design:
Institut Fresnel

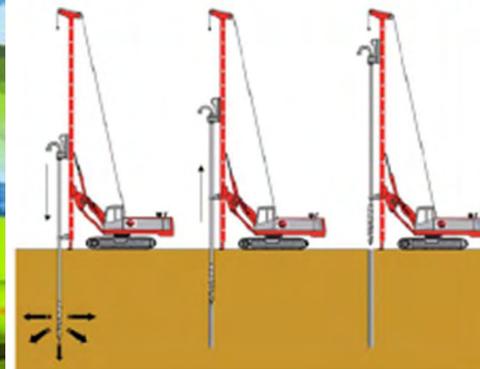
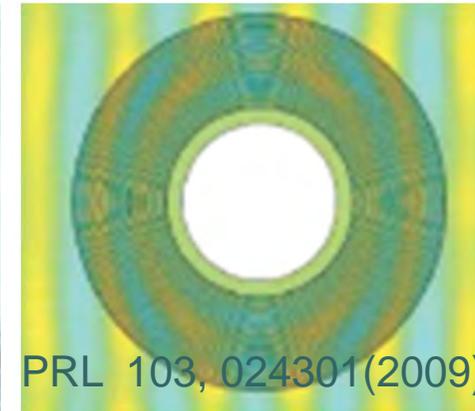
Validation expérimentale:
Nicolas Vandenberghe (IRPHE)



Grande échelle (200m): Cape anti-séismes



Infographie Popular Science Magazine (2009)



Infographie Ménard



Brevets et publications

- 3 brevets, dont un sur des systèmes anti-vibratoires embarqués
- 100 publications scientifiques, dont 40 sur l'invisibilité
- 2 ouvrages scientifiques, dont un sur les métamatériaux acoustiques
- 10 chapitres de livre



www.cnrs.fr

Au-delà de l'invisibilité

André de Lustrac

Professeur de l'Université Paris Ouest
et directeur de l'Institut d'électronique fondamentale
(Université Paris-Sud/CNRS)



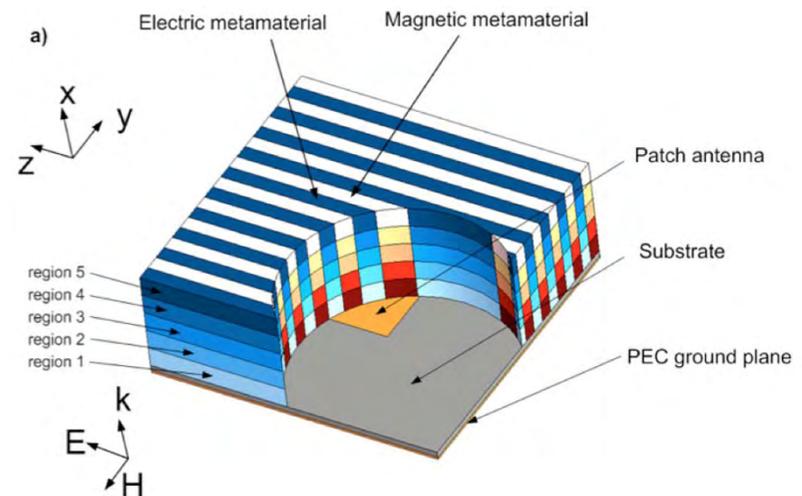
Principes

- La cape d'invisibilité est basée sur la transformation d'espace.
- On peut appliquer la technique de transformation d'espace à des applications non-standards en micro-onde et en optique.
- Il faut développer une méthodologie de réalisation et réaliser des preuves de concept pour la valider.



Exemples...

- Cape d'invisibilité non-magnétique
- Transformation d'antennes
- Modification de la taille apparente d'un objet rayonnant
- Transformation de la forme d'un objet
- Etc...





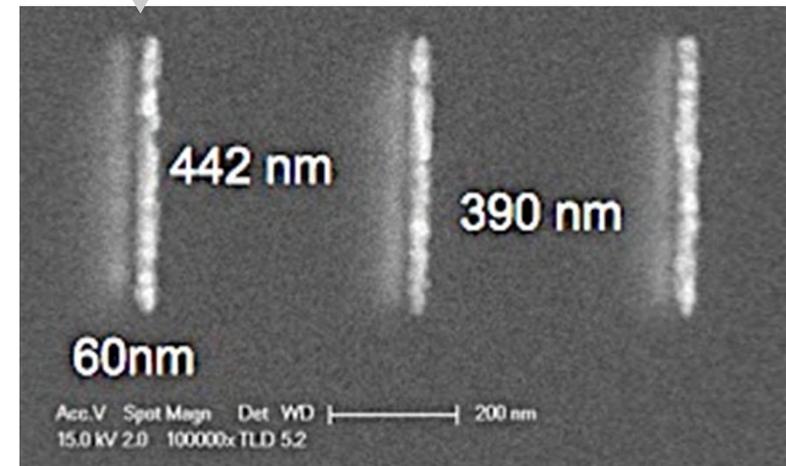
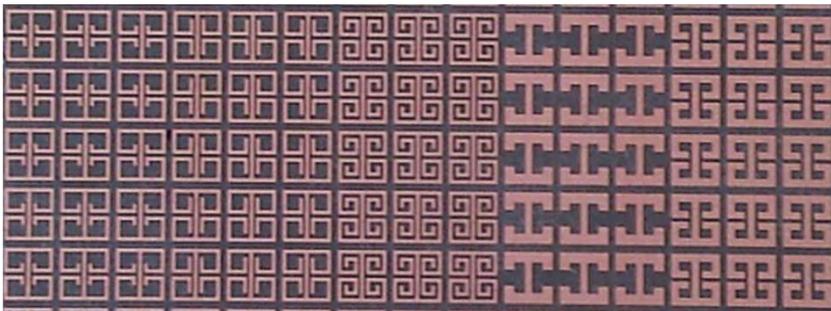
De la théorie à la pratique...

- Choix de l'application
- Définition de la transformation
- Design théorique et optimisation
- Design des métamatériaux nécessaires
- Fabrication
- Tests expérimentaux et comparaison avec la théorie



Métamatériaux

- Propriétés nouvelles en électromagnétisme, optique, acoustique,...
- Design à la demande: propriétés physiques modulables
- Utilisation de l'anisotropie
- Applicable en micro-onde, en optique...



André de Lustrac



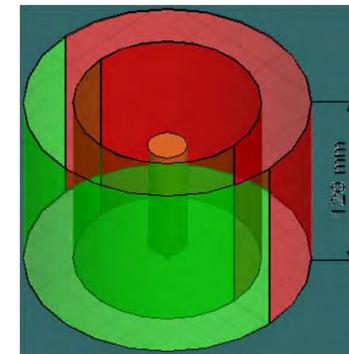
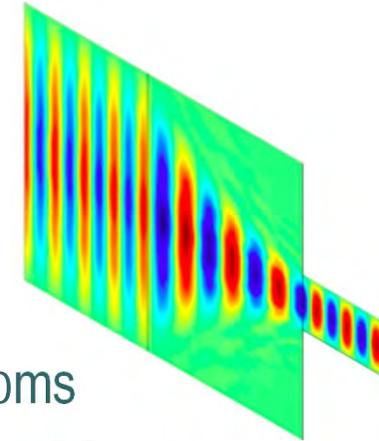
Conclusions

- La théorie est fascinante.
- Est-elle transposable à toutes les échelles?
- Les métamatériaux permettent de la réaliser.
- Il ne reste plus qu'à l'appliquer à l'espace (et peut-être au temps?).



Le futur...

- Applications en optique
- De nouveaux circuits compacts pour les télécoms
- Transformation de l'environnement électromagnétique
- Cape ultra-mince et protection électromagnétique
- Antennes miniatures pour applications industrielles
- Antennes intelligentes pour l'aéronautique et les transports
- ...





Le Graal de l'«Invisibilité»: rêve ou réalité ?

Invisibilité, Protection et Méta-matériaux

23 mai 2012

Workshop Scientifique – Auditorium Marie Curie - Siège du CNRS
1 rue Michel-Ange, 75016 Paris

Invisibilité, protection et méta-matériaux... sont aujourd'hui à la base d'une effervescence rare qui anime la compétition mondiale.

Force est de constater que les pionniers ont eu raison de croire dans une ambition qui pouvait sembler démesurée a priori. Les ruptures conceptuelles se sont étendues à différents domaines de la physique (optique, électromagnétisme, acoustique, hydrodynamique, élasto-dynamique, thermique...) et débouchent sur une véritable *ingénierie pluridisciplinaire de l'invisibilité* : cape électromagnétique, cape de silence, protection anti-tsunami, protection anti-séisme, protection thermique... Le succès des premières expériences a certainement décuplé les imaginations et fédéré en conséquence d'autres expertises dans le domaine des ondes de matière et de la relativité. Peut-on imaginer une transdisciplinarité à venir ?

Si les techniques de *transformation d'espace*, mères du concept de l'invisibilité, ont permis qu'émergent ces nouveaux thèmes, leur validation et concrétisation a été favorisée par le concept de matériaux dits *artificiels* parce qu'ils n'existent pas dans la nature. Ces *méta-matériaux* confèrent à la matière des propriétés inattendues (indices négatifs...) mais désormais couramment managées par le chercheur ou l'ingénieur.

Ce meeting d'une journée est l'occasion d'accueillir les meilleurs spécialistes mondiaux des domaines de l'invisibilité, de la protection multi-onde et des méta-matériaux. Le CNRS veut ainsi soutenir cette communauté multi-expertise et ses investigations extrêmes, pour favoriser la conception et la réalisation de nouveaux composants, systèmes et fonctionnalités à des échelles allant du nanomètre au kilomètre.

Conférenciers & Programme de la Journée

9h00-9h15	Welcome		
9h15-9h30	Introduction		
9h30-10h30	John Pendry	Imperial College London	Transformation Optics, Invisibility, and the Control of Electromagnetic Fields
10h30-11h00	Martin McCall	Imperial College London	Space-Time Cloaking
11h00-11h15	Coffee break		
11h15-12h15	Ross McPhedran	University of Sydney	A Spectrum of Cloaking
12h15-12h45	Sébastien Guenneau	CNRS, Institut Fresnel	Water-Wave and Earthquake Cloaks
12h45-14h00	Lunch		
14h00-15h00	Ulf Leonhardt	Saint-Andrews University	Non-Euclidean Transformation Optics
15h00-15h30	Nicholas Fang	MIT, Cambridge	Acoustic Cloaking
15h30-16h00	Romain Quidant	ICFO, Barcelone	Plasmonic Invisibility Carpets
16h00-16h30	André de Lustrac	CNRS & Psud, IEF	Electromagnetic cloak and beyond: toward non standard devices
16h30-16h45	Conclusion		

Inscription gratuite (**places limitées**) à partir du 11 avril 2012 : www.workshop-cloaking-cnrs.fr

Date limite d'inscription : 11 Mai 2012

Renseignements : cloaking@cnrs-dir.fr

Comité d'Organisation : claud.amra@fresnel.fr, sebastien.guenneau@fresnel.fr, laurent.nicolas@cnrs-dir.fr

*manifestation soutenue par le CNRS & Mission pour l'Interdisciplinarité

MÉCANIQUE DES FLUIDES**Un bouclier contre la colère des mers**

Protéger nos côtes de l'érosion causée par la houle, voire d'éventuels tsunamis ? Mettre à l'abri de ces terribles vagues les plateformes pétrolières ? Ce sera peut-être bientôt possible grâce à un drôle de bouclier imaginé par

des chercheurs : un réseau de piliers espacés de quelques dizaines de mètres et disséminés le long du rivage à sauvegarder.

L'idée vient des équipes de Stefan Enoch, de l'Institut Fresnel¹, à Marseille, et d'Alexander Movchan, à Liverpool, et s'inspire du concept d'invisibilité : en 2007, Sir John Pendry, professeur à l'Imperial College de Londres, avait réalisé un

vieux rêve de la science-fiction en montrant qu'on pouvait rendre invisible un objet grâce à des matériaux disposés convenablement autour².

Or les lois qui régissent le comportement des ondes lumineuses sont très proches, « du point de vue des équations », de celles qui s'appliquent aux ondes « matérielles » comme les vagues. Stefan Enoch et ses collègues ont donc appliqué ce principe aux milieux liquides.

Leur expérience : un bassin, tenant sur une table, rempli d'un liquide et pourvu d'un disque au centre. De la taille d'une main et effleurant la surface, le disque est hérissé de petits plots. Dès que la surface du liquide est mise en mouvement, les vaguelettes sont renvoyées par les plots et s'annulent mutuellement au centre du disque. Résultat : c'est le calme plat dans cette zone.

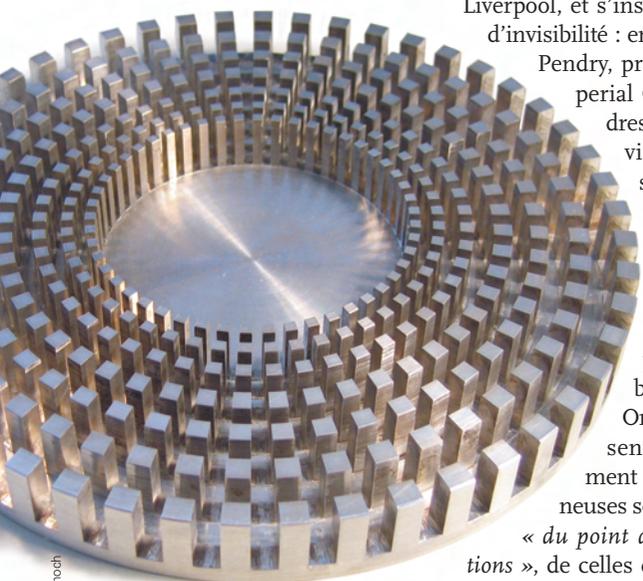
Des résultats mathématiques, obtenus par Sébastien Guenneau, un membre de l'équipe, doublés de simulations numériques, avaient déjà montré que seul l'agencement des plots compte ici pour obtenir ce résultat. « *La structure fonctionne dans toute une gamme de longueurs d'ondes* », souligne Stefan Enoch. Autrement dit, moyennant l'utilisation de piliers à la place des plots, le principe pourrait être appliqué aux vagues réelles. Même celles d'un tsunami. Une plateforme pétrolière encerclée d'un tel bouclier serait ainsi protégée des puissantes lames de fond, d'après Stefan Enoch. Parfaitement approprié à des zones entièrement entourées d'eau, ce principe de bouclier anti-tsunamis

peut-il aussi bénéficier aux côtes ? Oui, estiment les chercheurs, à condition toutefois d'adapter la forme de la structure à la géométrie du rivage.

L'agence chargée de la protection des côtes britanniques s'est montrée très intéressée et devrait débiter bientôt des tests en bassin. Outre-Manche, on ne craint pas un tsunami, mais le travail de sape de l'érosion. Sur les bords de la Manche, les vagues grignotent chaque année plus de vingt centimètres aux falaises de craie. En jalonnant une partie des côtes d'un système inspiré de celui de l'équipe française, l'agence britannique pense réduire l'effet dévastateur de la houle.

Xavier Müller

1. Laboratoire CNRS / Universités Aix-Marseille-I et III / École Centrale Marseille.
2. Voir *Le journal du CNRS*, n° 219, avril 2008, p. 12.



Dupliquée à grande échelle, cette structure de 10 cm de diamètre pourrait rendre les rivages et les plateformes pétrolières « invisibles » aux tsunamis.

© S. Enoch

PERCEPTION**Nos stéréotypes nous jouent des tours**

A quelle distance suis-je du bout de la rue ? Cette route est-elle fortement en pente ? Ces questions font appel à notre perception de l'espace. Perception qui – cela a été maintes fois prouvé – peut être influencée par l'évaluation de nos propres forces : une personne âgée ou fatiguée estimera les distances plus longues et les pentes plus raides que quelqu'un de jeune et en pleine forme. Or, Michel Chambon, chercheur au Laboratoire de psychologie sociale et cognitive (Lapsco)¹, à Clermont-Ferrand, démontre aujourd'hui qu'il n'est pas nécessaire d'être âgé ou fatigué pour voir sa perception de l'espace altérée. En effet, les mêmes observations

ont été faites avec de jeunes adultes en parfaite santé, mais à qui on venait juste d'évoquer, très subtilement, des personnes âgées.

Ce « mimétisme perceptif », comme il est appelé, a été démontré par le biais d'une expérience. Après avoir remis les mots d'une trentaine de phrases courtes dans l'ordre, des individus de 18 à 25 ans ont évalué la distance qui les séparait d'un cône de chantier et estimé la pente de plusieurs allées. Pour la moitié d'entre eux, chaque phrase comportait un mot associé aux personnes âgées (retraite, rides, etc.). Les résultats montrent que les participants ainsi « amorcés » ont jugé les pentes plus raides et les distan-

ces plus longues que les autres, sans se rendre compte qu'ils avaient été influencés. « *Quand on leur a posé la question, ils ont déclaré en effet ne pas avoir imaginé un lien quelconque entre les deux études, ni même avoir reconnu le thème de la vieillesse, prouvant ainsi leur absence de conscience du phénomène.* »

Cette découverte s'ajoute à celle, plus ancienne, d'un autre mimétisme, cette fois comportemental. « *Il a déjà été observé qu'après un exercice consistant à remettre dans l'ordre des phrases présentant des mots fortement reliés aux personnes âgées, des jeunes gens s'étaient révélés significativement plus lents dans leurs décisions comme dans leurs déplacements* », explique Michel

Chambon. Ils ont agi selon la manière supposée des membres d'une catégorie sociale, et ce de manière non consciente et non volontaire. En rapprochant notre vision du monde de celle des autres, de tels phénomènes mimétiques contribueraient à faciliter les interactions entre membres de différentes catégories sociales.

Claire Gouny

1. Laboratoire CNRS / Universités Clermont-Ferrand-II.

CONTACT

→ **Stefan Enoch**
Institut Fresnel, Marseille
stefan.enoch@fresnel.fr

CONTACT

→ **Michel Chambon**
Laboratoire de psychologie sociale et cognitive (Lapsco), Clermont-Ferrand
michel.chambon@univ-bpclermont.fr



COMMUNIQUÉ DE PRESSE NATIONAL | PARIS | 10 JUILLET 2009

Une cape d'invisibilité... contre les séismes !

Des écoles et des hôpitaux équipés pour ne pas ressentir les effets d'un séisme... Des chercheurs du CNRS ont imaginé à l'Institut Fresnel de Marseille(1) un dispositif qui isole des ondes sismiques les plus dévastatrices. Conçue à partir de modèles mathématiques, cette « cape d'invisibilité » laisse présager des applications allant de l'industrie automobile et aéronautique aux protections antisismiques. L'étude paraît dans la revue *Physical Review Letters* du 10 juillet 2009.

La « cape d'invisibilité » est une plaque mince structurée de manière à contrôler la propagation de certaines ondes pour les dévier d'un obstacle. Ainsi, un objet placé au centre de cette cape ne sera pas touché par ces ondes, mais simplement contourné. La protection se présente sous forme d'anneaux concentriques constitués de différents matériaux. L'ensemble constitue un métamatériau qui possède des propriétés qu'on ne retrouve pas dans un matériau naturel.

La cape d'invisibilité ne permet pas néanmoins de détourner tous les types d'onde sismique(2). Les ondes de surface, d'une amplitude généralement plus forte que les autres, produisent les effets les plus destructeurs des séismes. Les équations qui régissent ce type d'onde sont invariantes par transformation géométrique : cette caractéristique, mise en évidence par les chercheurs de l'Institut Fresnel, leur a permis de concevoir la cape d'invisibilité(3).

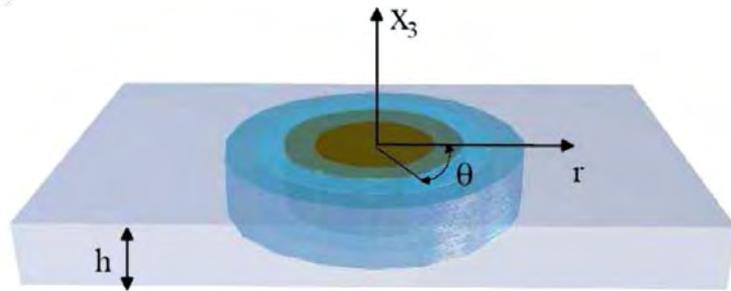
Sa mise en application contre les séismes nécessite encore de travailler en collaboration avec des géologues pour s'adapter aux contraintes de terrain. A plus petite échelle, la cape pourra supprimer les vibrations gênantes dans les industries automobile et aéronautique.

En 2008, la même équipe avait déjà conçu une cape d'invisibilité contre les vagues, ayant le même effet mais fonctionnant sur un principe physique différent. Cette cape à vagues suscite des essais à grande échelle et des applications sont envisagées pour favoriser la reproduction de poissons en zones tropicales ou encore pour la protection de côtes calcaires telles que les falaises d'Albion.

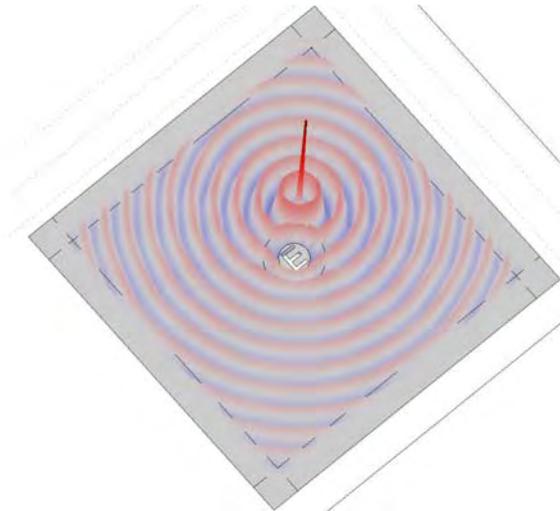
(1) CNRS / Université Paul Cézanne / Ecole centrale Marseille / Université de Provence

(2) Les ondes sismiques se déclinent en trois catégories : les ondes de pression, de cisaillement et de surface

(3) Les ondes de surface sont régies par des équations bi-harmoniques issues de la théorie des plaques minces. Les ondes de pression et de cisaillement sont régies par les équations de Navier, qui ne sont pas invariantes par transformation géométrique.



*Représentation schématique de la structure de cape pour les ondes de flexion.
© Mohamed Farhat, Sébastien Guenneau, Stefan Enoch*



*Propagation des ondes de flexion sur la plaque, les ondes contournent la zone où se trouve l'obstacle.
© Mohamed Farhat, Sébastien Guenneau, Stefan Enoch*

Bibliographie

Ultrabroadband Elastic Cloaking in Thin Plates. Mohamed Farhat, Sébastien Guenneau, Stefan Enoch.
Paru le 10 juillet 2009 dans la revue Physical Review Letters.

Contacts

Chercheurs CNRS | Stefan Enoch | T 04 91 28 87 09 | stefan.enoch@fresnel.fr
Sébastien Guenneau | T 04 91 28 88 84 | sebastien.guenneau@fresnel.fr

Presse CNRS | Jonathan Rangapanaiken | T 01 44 96 51 37 | jonathan.rangapanaiken@cnrs-dir.fr

Fait marquant 2010

La première cape d'invisibilité non magnétique démontrée en micro-onde, l'invisibilité dans le visible en vue ...

Imaginer et concevoir des nouvelles fonctionnalités micro-ondes ou optiques grâce à la technologie des métamatériaux est l'objectif de l'équipe CRIME (CRISTaux photoniques et MEta-matériaux) de l'Institut d'électronique fondamentale à Orsay (CNRS/Université Paris-Sud) qui vient de démontrer expérimentalement la première cape d'invisibilité non magnétique en micro-onde, ouvrant la voie à des structures pour l'optique.

Empêcher que la lumière ne se propage dans une région de l'espace sans changer sa propagation dans le reste de l'espace, tel est le principe d'une «cape d'invisibilité». En effet, tout objet entouré de cette cape sera invisible pour un observateur extérieur qui ne pourra détecter ni ombre ni reflet parasites. Réaliser une telle cape, ce qui revient à transformer l'espace pour les ondes électromagnétiques, nécessite néanmoins de disposer de matériaux d'indice optique, qui n'existent pas dans la nature. Il faut donc créer des matériaux artificiels structurés, des métamatériaux, dont on peut ajuster l'indice optique en ajustant les paramètres géométriques des structures qui les composent. Dans le cas présent, la cape cylindrique conçue pour les micro-ondes (Figs.1a-d), est formée d'anneaux métalliques coupés, répartis suivant les rayons du cylindre (Fig.1e). L'indice optique est ajusté radialement en modifiant l'ouverture (la coupure) des anneaux depuis la paroi interne du cylindre (rayon $r=a$) jusqu'à sa périphérie (rayon $r=b$). Une fois la cape rigidifiée par coulage de résine époxy (Fig.1b), celle-ci est testée sur un banc micro-onde (Figs.1c,d). L'onde est émise par une antenne à cornet (Fig.1c) et le front d'onde est mesuré par une sonde qu'on déplace suivant un plan horizontal (Fig.1d).

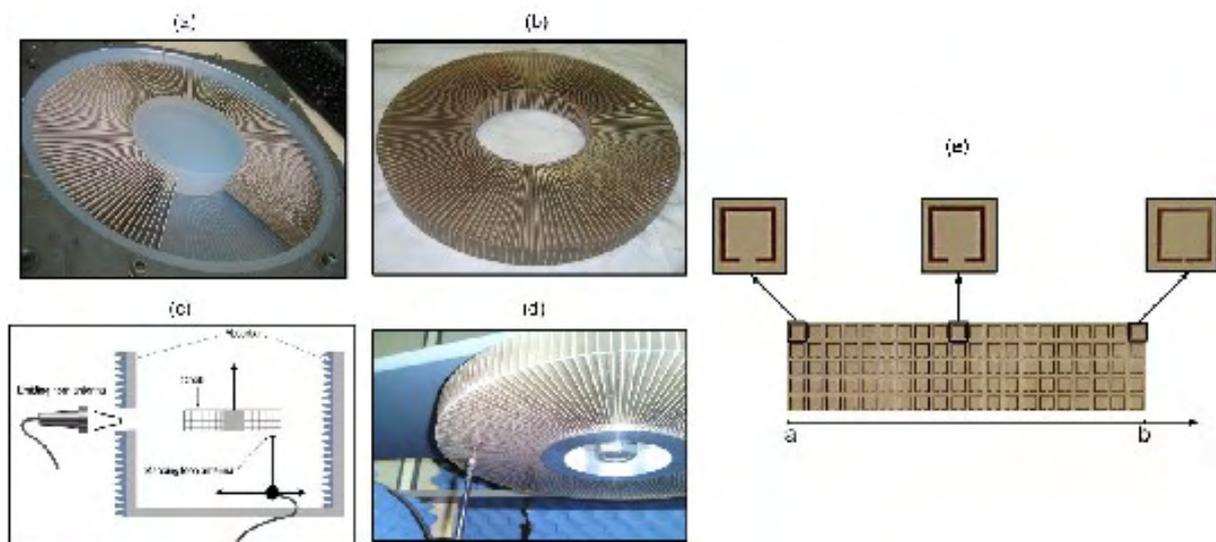


Fig.1 : (a) Montage de la cape d'invisibilité basée sur la résonance électrique (et non magnétique) des anneaux coupés qui la composent. (b) Photographie de la structure réalisée après coulage de la résine époxy. (c) Principe du dispositif expérimental de mesure. (d) Photographie d'une portion de la structure sous test montrant la sonde électromagnétique utilisée pour analyser les fronts d'onde. (e) Détails d'une des 160 lames constituant la cape. La figure révèle la variation de l'ouverture des anneaux coupés et donc la variation d'indice de l'intérieur ($r=a$) à l'extérieur de la cape cylindrique ($r=b$).

Le test d'invisibilité consiste à comparer les fronts d'onde en présence ou en l'absence de cape lorsqu'un cylindre métallique est placé à l'origine (Figs.2b,d). On observe qu'en présence de cape, les fronts d'onde ne sont pas modifiés derrière le cylindre métallique (Fig.2d).

La démonstration proposée fonctionne aux fréquences micro-ondes et est transposable à l'infrarouge et à l'optique [1]. Les auteurs ont rendu invisible une zone aussi grande que 4,4 longueurs d'onde, la plus grande jamais démontrée. Le résultat représente un pas important vers la conception de dispositifs invisibles ou, de façon plus générale, « inspirée de la relativité » à travers une méthode désormais connue sous le nom de transformation d'espace. Les chercheurs ont également montré comment la structure pouvait être transposée au proche infrarouge ou au visible, ce qui était impossible pour la structure de la première cape d'invisibilité proposée par D.R. Smith en 2006 [2].

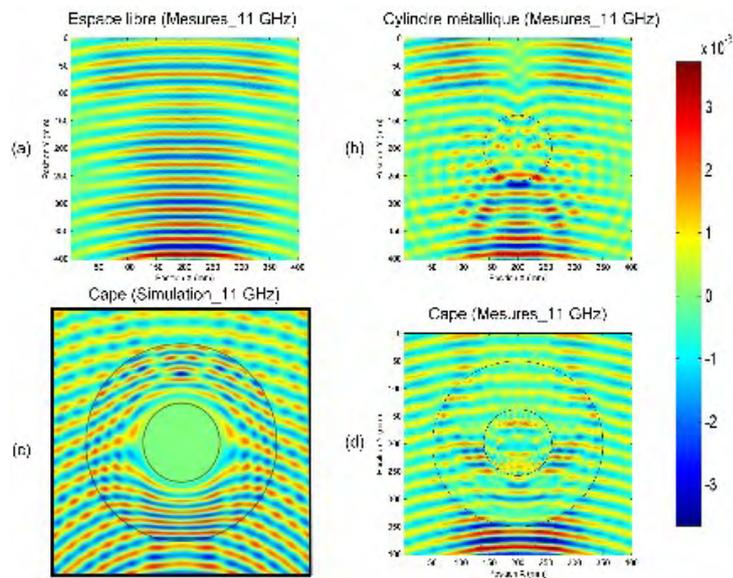


Fig.2 : (a) Onde électromagnétique émise par une antenne cornet en espace libre, (b) en présence d'un obstacle sous la forme d'un cylindre métallique, et (d) avec la cape d'invisibilité autour du cylindre métallique. La mesure montre la réduction significative des réflexions et la disparition de l'ombre du cylindre métallique en présence de la cape (d). Pour comparaison, la figure (c) présente la simulation de la propagation de l'onde par un modèle à éléments finis.

Contact chercheur

Jean-Michel Lourtioz, jean-michel.lourtioz@ief.u-psud.fr

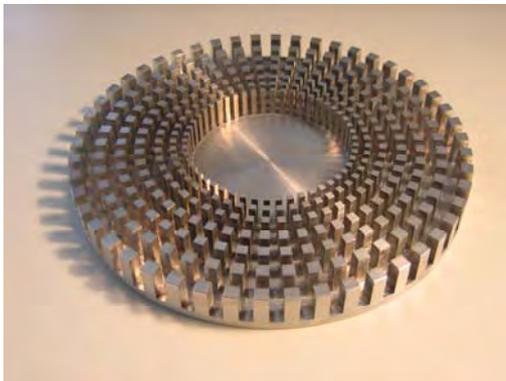
Références

- "Experimental demonstration of a non magnetic cloak at microwave frequencies", B. Kanté, D. Germain, A. de Lustrac, Phys. Rev. B (R) 80, 201104 (2009).
- "Infrared cloaking based on the electric response of split ring resonators", B. Kanté, A. de Lustrac, J.-M. Lourtioz, S. N. Burokur, Optics Express, Vol. 16, pp.9191-9198 (2008).

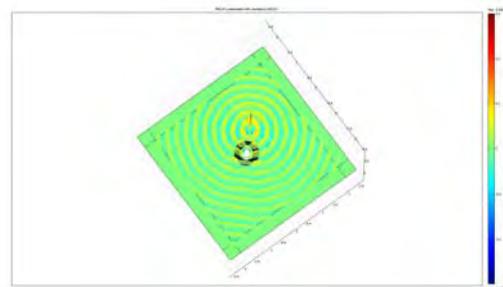


www.cnrs.fr

Quelques visuels disponibles



Cape d'invisibilité pour les vagues ou bouclier anti-tsunami.
Cette structure hérissée de petits plots, est usinée dans un disque d'aluminium de 20 cm de diamètre. Son rayon extérieur est de 10 cm. Le métamatériau utilisé se comporte comme un fluide anisotrope forçant les vagues à contourner la zone centrale. Ce type de structure pourrait constituer une nouvelle voie pour préserver certaines zones côtières de l'érosion, ou protéger des installations maritimes, telles que les plateformes pétrolières, des lames de fond.
© CNRS Photothèque / Stefan ENOCH



Exemple de résultat de simulation de la cape d'invisibilité pour les vagues (bouclier anti-tsunami), en 3D et en couleur. Le métamatériau utilisé pour sa fabrication se comporte comme un fluide anisotrope, forçant les vagues à contourner la zone centrale. Ce type de structure pourrait constituer une nouvelle voie pour préserver certaines zones côtières de l'érosion, ou protéger des installations maritimes, telles que les plateformes pétrolières, des lames de fond.
© CNRS Photothèque / Stefan ENOCH, Sebastien GUENNEAU, Mohamed FARHAT, A. MOVCHAN