



# ÉOLIENNES ET HISTOIRES DE FANTÔMES : LES EFFETS DES INFRASONS SUR LE SYSTÈME AUDITIF HUMAIN

**Hsuan-hsiu Annie Chen**

Programme de premier cycle de neuroscience  
Université de Californie, Los Angeles  
Los Angeles, Californie 90095

Et

**Peter Narins**

Département de Biologie intégrative et physiologie,  
et département d'Écologie et biologie évolutive  
Université de Californie, Los Angeles  
Los Angeles, Californie 90095

## Introduction

Le changement climatique et l'épuisement des combustibles fossiles ont poussé de nombreux pays à chercher et à investir dans des sources d'énergie propre alternatives, telles que l'énergie éolienne. En convertissant l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique ou électrique, les parcs éoliens en Californie, par exemple, fournissent de l'électricité à près de 850 000 foyers chaque année, tout en produisant et en contribuant peu à la pollution de l'eau<sup>1</sup> (voir Fig. 1). Néanmoins, il reste de nombreuses sources de préoccupations écologiques et environnementales. Les niveaux élevés d'infrasons et de sons de basse fréquence générés par les éoliennes représentent une menace potentiellement sérieuse pour les communautés vivant à proximité des parcs éoliens. Les sociétés produisant l'énergie éolienne restent en général méprisantes, affirmant que le bruit des éoliennes est sous-audible et indétectable par l'homme, et que, par conséquent, il présente un risque minime pour la santé humaine. Cependant, les différentes études sur le [potentiel] microphonique cochléaire, les produits de distorsion et les otoémissions acoustiques, et l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf) ont démontré la détection des infrasons par l'oreille interne humaine et le cortex auditif. En outre, des stress et des troubles psychosomatiques, y compris le « syndrome éolien » et des expériences paranormales, sont également liés à des expositions aux infrasons.<sup>2,3</sup> Avec des éoliennes générant des niveaux substantiels d'infrasons et de sons de basse fréquence, des modifications et des réglementations pour les plans d'ingénierie et l'implantation

« ... Les études fournissent des preuves solides de l'impact des infrasons sur les réponses auditives périphériques et centraux humaines. »

géographique des parcs éoliens sont nécessaires pour minimiser l'exposition de la communauté et les risques potentiels pour la santé humaine.

## Définition des infrasons

Il y a une croyance populaire selon laquelle la plage de fréquences audio audibles par de l'oreille humaine est comprise entre 20 et 20 000 Hz et que rien au-delà de ces limites ne peut être détecté par l'homme. « Infrason » est le terme qui décrit les fréquences

« inaudibles » inférieures à 20 Hz. Cette croyance repose sur la pente raide des seuils d'audition vers l'extrémité inférieure de la plage de l'ouïe humaine.<sup>4, 5</sup> À 1 kHz, le niveau de pression acoustique (SPL) nécessaire pour percevoir un son de 10 phon est de 10 dB SPL. À 20 Hz, le SPL minimum pour la perception d'un son de 10 phon augmente à environ 84 dB SPL. Le phon est une unité qui décrit le niveau sonore perçu. Avec des fréquences décroissantes, les SPL nécessaires à la perception sonore augmentent rapidement, ce qui rend la détection des très basses fréquences à une intensité normalement audible plus difficile que celle des hautes fréquences à la même intensité. Le manque de sensibilité humaine aux basses fréquences se reflète également dans la compression des seuils d'audition. À 1 kHz, les SPL capables de déclencher une plage d'audition comprise entre 4 et plus de 100 dB SPL, dépassent 100 dB en largeur et augmentent à 10 dB/phon. En revanche, la plage de SPL à 20 Hz est comprise approximativement entre 80 et 130 dB SPL, s'étendant sur environ 50 dB seulement et augmentant à 5 dB/phon.<sup>4</sup> En d'autres termes, une augmentation de SPL relativement faible à 20 Hz



Fig. 1. Parc éolien de San Geronimo Pass dans le comté de Riverside, en Californie. Avec plus de 2000 éoliennes installées, ce parc éolien produit suffisamment d'électricité pour alimenter Palm Springs et toute la vallée de Coachella.<sup>23</sup> Photographie d'Annie Chen

changerait la perception de ce son du niveau « à peine audible » à « très fort ». D'autre part, les changements perceptibles dans le niveau sonore à 1 kHz exigeraient des changements de SPL plus importants. La combinaison de l'augmentation de seuil de SPL et de la compression de la plage entraîne une discrimination faible d'intensité aux basses fréquences chez la majorité des personnes.

Toutefois, cette plage de fréquences audio est trompeuse et variable, puisque les différences interindividuelles en matière de sensibilité auditive permettent à certaines personnes de détecter les sons « inaudibles ». Des seuils d'audition humaine ont été rapportés pour des fréquences légèrement inférieures à 20 Hz, voire des fréquences aussi faibles que 2 Hz dans certains cas.<sup>6,7</sup> En outre, l'homme rencontre et détecte régulièrement de nombreuses sources d'infrasons de haut niveau, en dépit de leurs seuils élevés.<sup>5</sup> Des réponses corticales auditives et des modulations cochléaires à l'exposition aux infrasons ont également été observées, en dépit de l'absence de perception tonale des sujets.<sup>8,9</sup> Ces études fournissent des preuves solides de l'impact des infrasons sur les réponses auditives périphériques et centraux humaines.

### L'impact des infrasons sur les réponses de l'oreille interne

Alors que la perception sonore normale dépend de la fonction des cellules ciliées internes (CCI), la sensibilité humaine vis-à-vis des infrasons et des basses fréquences dépendrait fortement des cellules ciliées externes (CCE).<sup>10</sup> Cette sensibilité différentielle entre des cellules ciliées internes et externes découle de leur relation différente avec les structures de l'oreille interne environnantes. Bien que les CCI et les CCE se dressent tous deux sur la membrane basilaire, les rangées de stéréocils des CCE sont ancrées dans la membrane tectoriale sus-jacente, contrairement aux stéréocils des CCI. À la place, les rangées de stéréocils des CCI baignent dans le liquide endolymphatique au sein de l'espace sous-tectorial et leur stimulation dépendent du mouvement de ce liquide (« ondes de pression »).<sup>11</sup> L'énergie mécanique doit être transférée depuis les membranes basilaires et tectoriales vers l'endolymphe afin de déplacer les rangées de stéréocils des CCI. Cependant, la vitesse de la membrane basilaire diminue lorsque la fréquence du stimulus diminue.<sup>12</sup> À des fréquences infrasonores, la faible vitesse du liquide peut neutraliser efficacement le déplacement des rangées de stéréocils des CCI causé par le mouvement du liquide, rendant ainsi les CCI insensibles aux infrasons.

En revanche, les stéréocils des CCE sont stimulés directement par le mouvement de la membrane basilaire par rapport à la membrane tectoriale, puisqu'ils sont ancrés dans la membrane tectoriale sus-jacente. L'amplitude de vibration de la membrane basilaire est proportionnelle au niveau de pression acoustique et inversement proportionnelle à la fréquence.<sup>11-13</sup> Le couplage direct de CCE avec les mouvements de la membrane tectoriale se traduit par le maintien de la sensibilité vis-à-vis des sons de basse fréquence, alors que le couplage indirect des CCI avec la vitesse par l'intermédiaire des mouvements du liquide se traduit par une sensibilité réduite. Comme les sons de basse fréquence génèrent des déplacements importants de la membrane basilaire mais à des vitesses de membrane basilaire faibles, les CCE sont stimulés sélectivement par rapport aux CCI. Par ailleurs, les sons de basse fréquence génèrent des forces de viscosité endolymphatiques minimales, permettant l'étirement maximal des extrémités des stéréocils pour la dépolarisation des CCE.<sup>14</sup>

Il est donc important de garder à l'esprit que les stimuli de haut niveau et de basse fréquence peuvent entraîner d'importantes forces de cisaillement sur les stéréocils des CCE, mais seulement des déplacements minimaux couplés aux liquides des stéréocils des CCI.

La dépolarisation intracellulaire des CCE induite à basse fréquence peut être mesurée comme un changement de tension extracellulaire, à savoir le potentiel microphonique cochléaire (PMC). À 10 Hz (90 dB SPL), les amplitudes de PMC dépassent celles du potentiel intracellulaire des CCI obtenues à la suite d'un déplacement de la membrane basilaire.<sup>10, 15</sup> La génération de PMC en réponse à ce son de 10 Hz apporte la preuve concrète de la sensibilité des CCE vis-à-vis des infrasons dans le cobaye. Pendant ce temps-là, les grands PMC générés par les CCE à 40 Hz (112 dB SPL) peuvent stimuler électriquement les CCI pour qu'ils deviennent des fibres afférentes de type I activées dans le ganglion spiral.<sup>15, 16</sup> Bien que l'activation afférente de type I par les infrasons n'ait pas encore été étudiée de manière approfondie, ces données suggèrent que les infrasons pourraient provoquer la dépolarisation supraliminaire dans les CCI et les fibres afférentes de type I, via de grands PMC. La transmission et l'interprétation consécutives des signaux afférents de type I dans le cerveau seraient particulièrement intéressantes à étudier.

Outre les PMC, les produits de distorsion des otoémissions acoustiques (DPOAE) ont également démontré la sensibilité de l'oreille interne humaine aux infrasons. Les enregistrements de DPOAE permettent d'évaluer de manière non invasive et indirecte les caractéristiques de l'amplificateur cochléaire. Pour provoquer les DPOAE, deux sons purs différents (primaires),  $f_1$  et  $f_2$ , sont introduits dans l'oreille en plaçant une sonde sonore avec deux haut-parleurs miniatures dans le canal de l'oreille. Lorsque les ondes progressives générées par les sons primaires se propagent le long de la membrane basilaire, ils interagissent et produisent des ondes progressives supplémentaires.<sup>17</sup> Ces ondes se propagent au-delà de l'oreille interne, générant des DPOAE qui sont enregistrés par un microphone intégré dans la sonde sonore. Le DPOAE plus important et le plus facilement mesurable chez l'homme et les autres animaux est le produit de la distorsion de différence cubique,  $2f_1-f_2$ , typiquement produit par des ratios de tonalité primaire ( $f_2/f_1$ ) compris entre 1,2 et 1,3.<sup>18</sup>

Hensel *et al.* (2007) ont utilisé les tonalités primaires de  $f_1=1,6$  et  $f_2=2,0$  kHz ( $f_2/f_1=1,25$ ) à  $L_1=51$  et  $L_2=30$  dB SPL pour leur enregistrements DPOAE.<sup>8</sup> Avec les tonalités primaires comprises dans la plage de fréquences audio humaines normales, le DPOAE retourné représente un point de fonctionnement typique de l'amplificateur cochléaire. Les tonalités de polarisation infrasonores ( $f_b$ ) de 6 Hz, 130 dB SPL et 12 Hz, 115 dB SPL ont alors été introduites et les DPOAE résultants ont été enregistrés. Lors de la comparaison avec le modèle de DPOAE généré uniquement avec les primaires, les DPOAE générés par  $f_b$  ont montré des changements significatifs en ce qui concerne l'amplitude et la phase en raison du déplacement du point de fonctionnement de l'amplificateur cochléaire. Puisque le modèle de DPOAE généré par  $f_b$  a changé par rapport au modèle suscité par les DPOAE générés seulement avec les primaires, on peut donc conclure que les tonalités de polarisation infrasonores ont eu un impact observable sur la fonction de l'oreille interne.

Les tonalités de polarisation de haut niveau fournissent de grandes amplitudes de vibration qui peuvent modifier le mouvement de la partition cochléaire ou la pression nette sur elle. Le gradient de pression induite décale à son tour la position moyenne (un décalage CC) de la membrane basilaire.

Ce phénomène est parallèle au mécanisme de déplacement lent des CCE. Tout comme les contractions du soma des CCE modifient les dimensions de l'espace sous-tectorial pour augmenter ou réduire la sensibilité auditive, le changement de position de la membrane basilaire change également le volume sous-tectorial et ajuste la sensibilité auditive. En d'autres termes, le gain du système cochléaire peut être affecté par les infrasons de haut niveau. En outre, les modulations observées dans les DPOAE générés par  $f_b$  reflètent des interactions d'ondes progressives différentielles à la suite du déplacement de la membrane basilaire.

Bien que les SPL utilisés pour les tonalités de polarisation basse fréquence approchaient le seuil de la douleur pour l'audition humaine à 1 kHz, les tonalités de polarisation n'ont pas endommagé l'intégrité cochléaire des sujets, comme montré par les DPOAE cohérents générés par les primaires avant et après présentation des tonalités de polarisation. Aucun des sujets n'a signalé de pression douloureuse au niveau du tympan pendant l'expérience. Alors que les SPL élevés des tonalités de polarisation créent de grandes différences de pression dans l'oreille, la sensation de douleur peut avoir été réduite par la faible vitesse vibratoire des tonalités. Il a également été rapporté que certains sujets avaient perçu une « sensation sonore faible mais clairement audible, décrite comme un bourdonnement » mais pas un « stimulus audible tonal ». <sup>7, 8, 19</sup> L'absence d'une perception sonore pur et clair suggère que les fréquences infrasonores ne stimulent pas les CCI de manière appropriée et, par conséquent, qu'elles peuvent ne pas être à l'origine du bourdonnement. Au contraire, la source de cette perception est probablement les harmoniques de la tonalité de polarisation. <sup>20</sup>

### Traitement des infrasons par la voie auditive

Une étude IRMf par Dommes *et al.* offre un éclairage supplémentaire sur les réponses humaines aux infrasons. <sup>9</sup> En présence de tonalités de 12 Hz à 110 et 120 dB SPL, les sujets ont montré une activation bilatérale dans les cortex auditifs primaires et secondaires (gyrus temporal supérieur, espace de Brodmann 41, 42, 22). Les sujets ont également été exposés à des sons de la gamme des fréquences audibles par l'homme, 500 Hz à 105 dB SPL et 48 Hz à 100 dB SPL. Les sites du cortex activés pour toutes ces fréquences étaient similaires, ce qui suggère que les infrasons peuvent avoir un impact majeur sur l'activation du cerveau par la voie auditive. Lorsque la tonalité de 12 Hz a été réduite à 90 dB SPL, le cortex auditif n'a montré aucune activité significative, sauf chez un sujet. Cette observation soutient l'idée de différences interindividuelles en ce qui concerne la sensibilité aux basses fréquences.

Le bruit intrinsèque des machines d'IRMf peut présenter de graves contraintes expérimentales. Les spectres de bruit du scanner ont montré des fréquences comprises entre 3 et 10 Hz et entre 50 et 900 Hz à des niveaux compris entre 60 et 75 dB SPL et entre 60 et 80 dB SPL, respectivement. Bien que le bruit des infrasons est resté en dessous du seuil estimé, <sup>19</sup> le bruit entre 50 et 900 Hz était audible et pouvait avoir affecté les activités cérébrales. Cependant, Dommes *et al.* Croient que le cortex auditif peut distinguer et ignorer ce bruit de fond. <sup>9</sup> Les tonalités infrasonores doivent également être présentés à des niveaux élevés afin de surmonter le bruit de fond de la machine d'IRMf. À des niveaux élevés, les tonalités produisent une distorsion harmonique accrue entraînant des harmoniques de haut niveau et plus facilement détectables, qui peuvent

potentiellement modifier les résultats d'IRMf. Pour évaluer les effets des harmoniques, une tonalité de 36 Hz (troisième harmonique) à 70 dB SPL a été présentée aux sujets comme une fréquence fondamentale. L'activation corticale auditive a été observée, bien que sensiblement moindre que celle suscitée par une tonalité de 12 Hz à 120 dB SPL. Dommes *et al.* ont conclu que les fréquences infrasonores elles-mêmes jouaient des rôles importants dans l'activation du cortex auditif. <sup>9</sup>

### L'exposition aux infrasons sur la santé physique et psychologique

Bien que la recherche actuelle n'apporte aucune preuve concluante indiquant la perception auditive des infrasons par l'homme, il est néanmoins très utile d'étudier les sources d'infrasons dans l'environnement immédiat, car ils peuvent contenir des harmoniques détectables. Les sources typiques d'infrasons comprennent les vagues océaniques, le tonnerre, le vent, les moteurs des machines, les ventilateurs à vitesse lente, et le fait de conduire une voiture avec les fenêtres ouvertes. <sup>5, 19</sup> Comme les tonalités pures sont rarement générées dans la nature, ces sources infrasonores génèrent typiquement de multiples composantes harmoniques et d'autres bruits de fond. Il n'est pas rare que l'homme soit exposé à des niveaux élevés d'infrasons. Par exemple, un enfant sur une balançoire peut ressentir des infrasons autour de 0,5 Hz à 110 dB SPL. <sup>5</sup>

Les parcs éoliens constituent l'une des sources d'infrasons les plus fortement étudiés. Beaucoup de sociétés d'éoliennes affirment que l'exploitation d'un parc éolien produit des sons « soufflants » négligeables qui sont comparables seulement au bruit produit par un réfrigérateur de cuisine, autour de 45 dB SPL. <sup>121</sup> Cependant, ces allégations sont fondées sur l'analyse acoustique de pondération A, qui supprime tous les composants infrasonores du bruit à large bande de l'éolienne. Les filtres de pondération A sont des évaluations inadéquates parce qu'ils supposent l'insensibilité humaine vis-à-vis des infrasons. L'analyse spectrale des éoliennes par Jung et Cheung a révélé des niveaux de bruit importants compris entre 60 et 100 dB SPL pour les fréquences inférieures à 20 Hz. <sup>22</sup> Comme démontrés par les études sur les PMC, les modulations DPOAE et les IRMf, les niveaux élevés d'infrasons peuvent altérer la fonction cochléaire et activer le cortex auditif. Les changements potentiels à long terme de l'activité cérébrale induits par des parcs éoliens à proximité ont soulevé de graves inquiétudes. Certains risques pour la santé physique et psychologique des expositions aux infrasons comprennent le « syndrome éolien » et des expériences paranormales. <sup>2, 10, 23, 24</sup>

Les symptômes du syndrome éolien comprennent les troubles du sommeil, les maux de tête, la gêne, l'irritabilité et la fatigue chronique. Les symptômes apparaissent souvent lorsqu'une personne se trouve à proximité des éoliennes, ou d'une source d'infrasons, et ils disparaissent lorsque la personne s'en éloigne. Il a été rapporté qu'une famille exposée en continu à un son de 10 Hz à 35 dB SPL produit par une chaudière domestique s'est plaint de douleurs corporelles, de gêne accrue et de difficultés d'endormissement. <sup>5</sup> La sensibilité élevée de cette famille à un stimulus soi-disant infraliminaire soutient l'idée que les différences interindividuelles sont réelles et que certaines personnes sont plus sensibles et plus vulnérables aux effets des infrasons de faible niveau que les autres. Dans une autre étude, Pedersen *et al.* ont interrogé 70 000 adultes vivant à moins de 2,5 km de parcs éoliens. <sup>3</sup>



Ils ont constaté que les adultes exposés à des niveaux de bruit de pondération A de 40 à 50 dB SPL avaient déclaré des niveaux de gêne plus élevés que les adultes exposés à des niveaux inférieurs à 40 dB SPL. En outre, 12 % des sujets exposés à un bruit compris entre 40 et 45 dB SPL avaient déclaré se sentir « très gênés » contre seulement 6 % des sujets exposés à un bruit compris entre 35 et 40 dB SPL ; dans ces cas, la détresse psychologique individuelle causée par le bruit des éoliennes est évidente. Tout comme les niveaux de bruit audible qui augmentent lorsque l'on se rapproche des éoliennes, les niveaux des composantes infrasonores augmentent également. La plupart des sujets ont décrit le bruit comme un « bruissement/sifflement » plutôt que comme une sensation de tonalité pure. La discontinuité dans la perception sonore peut être attribuée à la sensibilité accrue de l'oreille interne pour les harmoniques infrasonores, comme l'étude de Hensel *et al.* le suggère.<sup>8</sup> En comparaison avec le bruit du trafic routier de niveaux similaires, les sujets ont rapporté des niveaux plus élevés de gêne pour les éoliennes. Les niveaux élevés de gêne sont en partie dus à la présence omniprésente du bruit des éoliennes tout au long de la journée et de la nuit, contrairement au bruit du trafic routier qui diminue la nuit. En outre, les niveaux élevés inhérents d'infrasons dans le bruit des éoliennes peuvent également moduler l'activité cérébrale et augmenter les niveaux de gêne.

Dans sa célèbre étude « ghost-buster (chasseur de fantôme) », Tandy a enregistré une émission continue d'infrasons dans une cave du 14<sup>e</sup> siècle près de l'université de Coventry, en Angleterre.<sup>2</sup> Selon la rumeur, la cave était hantée depuis 1997. Divers visiteurs locaux ont rapporté un « très fort sensation de présence », « un coup de froid », et des apparitions en entrant dans la cave. En outre, les touristes qui n'ont jamais entendu parler des rumeurs, ont également signalé des expériences paranormales. L'étude précédente de Tandy dans un laboratoire soi-disant hanté avait révélé une émission constante de 18,9 Hz produite par une machine de laboratoire.<sup>24</sup> Une fois la machine éteinte, les signalements de sensations et d'observations paranormales cessèrent également. Supposant un phénomène similaire dans la cave, Tandy a utilisé un sonomètre à large bande et il a enregistré un pic spectral de 19 Hz distinct dans le bruit ambiant à 38 dB SPL. Les autres signaux infrasonores de fond furent également enregistrés à de très faibles niveaux, entre 7 et 30 dB SPL. Compte tenu des sensibilités variables à fréquences ultra basses démontrées par Dommes *et al.*,<sup>9</sup> le pic de 19 Hz peut avoir eu un effet sur les visiteurs sensibles et suscité les expériences anormales. Comme 19 Hz était significativement inférieur à leur seuil d'audition, les expériences paranormales des visiteurs pourraient être dues à des changements de l'activité cérébrale, en dépit de l'absence de perceptions sonores. Il est bien connu que les patients souffrant d'épilepsie du lobe temporal sont également sujets à des risques élevés de dépression, d'anxiété, d'irritabilité, d'insomnie et de psychose.<sup>25,26</sup> Cela suggère que les modèles d'hyperactivité ou d'activité anormale dans le lobe temporal, qui comprend le cortex auditif primaire et secondaire, pourraient être liés à des symptômes psychiatriques observés dans le syndrome éolien et les expériences paranormales.

## Conclusions et orientations futures de la recherche sur les infrasons

Selon les études de modulation de PMC et de DPOAE, les fréquences infrasonores peuvent avoir des effets manifestes sur l'état et la fonction cochléaire chez l'homme. Contrairement à la croyance selon laquelle l'oreille interne n'enregistre pas les infrasons, il a été établi que les infrasons peuvent en fait être détectés par les CCE. Comme la motilité lente des CCE contrôle la sensibilité auditive, la réactivité de ces cellules sensorielles vis-à-vis des infrasons pourrait améliorer la capacité à percevoir les harmoniques supérieures des infrasons. La question de savoir si les PMC générés par les CCE peuvent déclencher la génération de pics dans les fibres nerveuses auditives de type I des CCI, avec pour résultat la perception directe des fréquences infrasonores, est une priorité majeure de la recherche actuelle. L'activation des CCI induite par les infrasons des nerfs auditifs propose une voie alternative de l'attention, puisqu'environ 5 % de toutes les fibres afférentes de type I forment des synapses avec les CCE.<sup>26</sup> Il a été montré que les niveaux élevés d'infrasons induisaient des changements de la position de membrane basilaire, modulant les modèles de DPOAE. Le changement de la membrane basilaire est parallèle à la fonction de motilité lente des CCE en modifiant l'espace sous-tectorial. Comme les changements dans l'espace sous-tectorial affectent la sensibilité des CCI, Hensel *et al.* ont conclu que les infrasons eux-mêmes peuvent affecter le gain global du système cochléaire.<sup>8</sup>

Il reste des lacunes dans les connaissances concernant les changements dans la fonction cochléaire, l'activité corticale auditive et la perception sonore. Comme l'électrophysiologie *in vivo* des fibres afférentes auditives humaines est éthiquement inacceptable, les perceptions sonores auto-déclarées et les scanners IRMF dominent les efforts expérimentaux actuels. Alors que Dommes *et al.* ont montré une activité corticale auditive significative en réponse aux infrasons,<sup>9</sup> des études supplémentaires sont nécessaires pour corroborer leurs conclusions. Par exemple, l'activité dans le cortex somatosensoriel primaire (aire de Brodmann 2, 3) doit être examinée et comparée avec celle dans le cortex auditif. Cela révélerait si la voie auditive ou vestibulaire joue le rôle plus important dans la détection des infrasons chez l'homme. En outre, les perceptions auditives de sujets pendant les analyses infrasonores par IRMF devraient être rapportées, comme Hensel *et al.*<sup>8</sup> l'ont fait. Puisque l'activité corticale auditive est significativement augmentée en réponse à une tonalité de 12 Hz par rapport à son harmonique de 36 Hz de niveau inférieur, la détection des infrasons chez l'homme pourrait être plus fréquente qu'on ne le pensait précédemment. Dans les expériences à venir, si les sujets rapportent des perceptions tonales ou de bourdonnement, ainsi que des activités corticales auditives prononcées, alors il est possible que les infrasons eux-mêmes déclenchent la perception, par opposition à ses harmoniques. Si les sujets ne rapportent aucune perception, l'activité corticale auditive pourrait être considéré comme non liée au stimulus.

Les risques pour la santé psychosomatiques ont été suggérés comme résultant d'une exposition aux infrasons, parce que des changements de l'activité du lobe temporal avaient été associés à plusieurs troubles psychiatriques. Avec les communautés voisines signalant une gêne relative au bruit des éoliennes, des études supplémentaires sont nécessaires pour étudier les effets des parcs éoliens sur la qualité de vie des individus sensibles.

Des études à long terme sur l'exposition au bruit des éoliennes sont également nécessaires. Comme l'énergie éolienne est largement acceptée pour son rôle prometteur dans la production d'énergie propre, il est très peu probable que l'on cesse de développer les parcs éoliens. Pour l'instant, les efforts de l'ingénierie et les dispositions géographiques isolées des fermes d'éoliennes constituent les meilleures méthodes pour réduire l'exposition des communautés aux niveaux substantiels et potentiellement nocifs du bruit des éoliennes.<sup>AT</sup>

## Références

- 1 American Wind Energy Association (AWEA), "Wind Turbines and Health," [http://www.awea.org/learnabout/publications/upload/Wind-Turbines-and-Health-Factsheet\\_WP11.pdf](http://www.awea.org/learnabout/publications/upload/Wind-Turbines-and-Health-Factsheet_WP11.pdf).
- 2 V. Tandy, "Something in the cellar," *J. Soc. Psychical Res.* 64.3(860), 129–140 (2000).
- 3 E. Pedersen, F. van den Berg, R. Bakker, and J. Bouma, "Response to noise from modern wind farms in the Netherlands," *J. Acoust. Soc. Am.* 126(2), 634–643 (2009).
- 4 ISO: 226, 2003. Acoustics—normal equal-loudness contours (International Organization for Standardization, Geneva, 2003).
- 5 G. Leventhall, "What is infrasound?" *Progress in Biophys. and Molecular Biol.* 93, 130–137 (2007).
- 6 T. Watanabe and H. Møller, "Low frequency hearing thresholds in pressure field and free field," *J. Low Freq. Noise and Vib.* 9(3), 106–115 (1990).
- 7 N. S. Yeowart, M. E. Bryan, and W. Tempest, "The monaural M.A.P. threshold of hearing at frequencies from 1.5 to 100 c/s.," *J. Sound and Vib.* 6(3), 335–342 (1967).
- 8 J. Hensel, G. Scholz, U. Hurttig, D. Mrowinski, and T. Janssen, "Impact of infrasound on the human cochlea," *Hearing Res.* 223, 67–76 (2007).
- 9 E. Dommès, H. C. Bauknecht, G. Scholz, Y. Rothmund, J. Hensel, and R. Klingebiel, "Auditory cortex stimulation by low-frequency tones—An fMRI study," *Brain Res.* 1304, 129–137 (2009).
- 10 A. N. Salt and T. E. Hullar, "Responses of the ear to low frequency sounds, infrasound and wind turbines," *Hearing Res.* 268, 12–21 (2010).
- 11 J. J. Guinan, Jr., T. Lin, and H. Cheng, "Medial-olivocochlear-efferent effects on basilar membrane and auditory-nerve responses to clicks: Evidence for a new motion within the cochlea," in *Auditory Mechanisms Processes and Models*, edited by A.L. Nuttall, T. Ren, P. Gillespie, K. Grosh, et E. de Boer (World Scientific, Singapore, 2006), pp. 3–16.
- 12 MA Ruggero, NC Rich, A. Reico, SS Narayan, et L. Robles, "réponses basilaire-membrane pour des tons à la base de la cochlée de chinchilla," *J. Acoust. Soc. Am.* 101(4), 2151–2163 (1997).
- 13 L. Robles and M. A. Ruggero, "Mechanics of the mammalian cochlea," *Physiol. Rev.* 81, 1305–1352 (2001).
- 14 D. E. Zetes and C. R. Steele, "Fluid-structure interaction of the stereocilia bundle in relation to mechanotransduction," *J. Acoust. Soc. Am.* 101(6), 3593–3601 (1997).
- 15 I. J. Russell and P. M. Sellick, "Low frequency characteristics of intracellularly recorded receptor potentials in mammalian hair cells," *J. Physiol.* 338, 179–206 (1983).
- 16 P. M. Sellick, R. Patuzzi, and B. M. Johnstone, "Modulation of responses of spiral ganglion cells in the guinea pig cochlea by low frequency sound," *Hearing Res.* 7(2), 199–221 (1982).
- 17 L. A. Shaffer, R. H. Withnell, S. Dhar, D. J. Lilly, S. S. Goodman, and K. M. Harmon, "Sources and mechanisms of DPOAE generation: Implications for the prediction of auditory sensitivity," *Ear and Hearing* 24, 367–379 (2003).
- 18 T. A. Johnson, S. T. Neely, C. A. Gamer, and M. P. Gorga, "Influence of primary-level and primary-frequency ratios on human distortion product otoacoustic emissions," *J. Acoust. Soc. Am.* 119(1), 418–428 (2006).
- 19 H. Møller and C. S. Pedersen, "Hearing at low and infrasonic frequencies," *Noise & Health* 23, 37–57 (2004).
- 20 D. L. Johnson, "The effect of high-level infrasound," *Proc. Conference on Low Frequency Noise and Hearing*, 7-9 May 1980 in Aalborg Denmark, 47-60; as cited by H. Møller, C. S. Pedersen, *Noise & Health* 23, 37–57 (2004)
- 21 Pennsylvania Wind Working Group (PWWG), *Wind Energy Myths*, Wind Powering America Fact Sheet Series May. [http://www.pawindenergynow.org/wind/wpa\\_factsheet\\_myths.pdf](http://www.pawindenergynow.org/wind/wpa_factsheet_myths.pdf)
- 22 S. S. Jung and W. Cheung, "Experimental identification of acoustic emission characteristics of large wind turbines with emphasis on infrasound and low-frequency noise," *J. Korean Physical Soc.* 53, 1897–1905 (2008).
- 23 N. Pierpont, *Wind Turbine Syndrome: A report on a natural experiment (K-Selected Books, Santa Fe, 2009); ISBN 0984182705.*
- 24 V. Tandy, "The ghost in the machine," *J. Soc. Psychical Res.* 62(851), 360–364 (1998).
- 25 J. Foong and D. Flugel, "Psychiatric outcome of surgery for temporal lobe epilepsy and presurgical considerations," *Epilepsy Res.* 75, 84–95 (2007).
- 26 M. Pompili, N. Vanacore, S. Macone, M. Amore, G. Petriconi, M. Tonna, E. Sasso, D. Lester, M. Innamorati, S. Gazzella, C. Di Bonaventura, A. Giallonardo, P. Girardi, R. Tatarelli, and E. Pisa, "Depression, hopelessness and suicide risk among patients suffering from epilepsy," *Ann Ist Super Sanita* 43(4), 425–429 (2007).
- 27 H. Spoendlin, "Neuroanatomy of the cochlea," in *Facts and Models in Hearing*, edited by E. Zwicker and E. Terhardt (Springer, New York) pp. 18–32 (1974).
- 28 American Wind Energy Association (AWEA), "Wind Energy Weekly," <http://www.awea.org/learnabout/publications/wew/loader.cfm?csModule=security/getfile&pageid=8321#123>.



Annie Chen et un ami

Hsuan-hsiu Annie Chen est née à Taipei, Taiwan et a déménagé à San Jose en Californie à l'âge de dix ans. Annie sera diplômée de l'Université de Californie, Los Angeles (UCLA) avec un B.S. en neurosciences avec mention au printemps 2012. En outre, Annie a terminé son travail de recherche en neuro-imagerie des troubles bipolaires

et elle est formatrice en réanimation cardiorespiratoire (RCR) certifiée par l'American Heart Association et moniteur en secourisme. Pendant ses temps libres, Annie aime jouer au tennis et aller à Disneyland, et elle travaille occasionnellement en tant que photographe de portrait et d'événement en freelance.



Peter Narins et un ami

Peter M. Narins a obtenu son B.S. et son M.E.E. en Génie électrique et son Doctorat en Neurobiologie et comportement à l'Université Cornell, à Ithaca. Il est actuellement Professeur émérite de Neuroéthologie dans le département de Biologie intégrative et physiologie à l'Université de Californie, à Los Angeles (UCLA). Ses recherches portent sur les mécanismes sous-jacents de l'évolution des communications sonores et vibratoires chez les amphibiens et les mammifères. Il a dirigé ou participé à plus de 50 expéditions de recherche scientifique d'outre-mer sur les 7 continents ainsi qu'à Madagascar, et il a donné des conférences sur l'évolution des systèmes de communication à la fois en anglais

dans le monde entier et en espagnol dans les universités de l'Amérique latine et de l'Espagne. Il est rédacteur en chef du *Journal of Comparative Physiology*, et il a reçu le prix Senior U.S. Scientist Award de la Fondation Alexander von Humboldt et un prix Fulbright (Montevideo, Uruguay). Il a été élu Membre de la Fondation Guggenheim, de l'Acoustical Society of America, de l'Animal Behavioral Society, et de l'American Association for the Advancement of Science (AAAS). Il est Membre honoraire de la Société zoologique de Cuba et Professeur *Ad honorem* à l'Université de la République, à Montevideo, en Uruguay.