

## La localisation des objets sonores

*Yves de Ribeaupierre  
Institut de physiologie  
Faculté de médecine de l'Université de Lausanne  
7, rue du Bugnon  
CH-1005 Lausanne*

### Résumé

Dans la vie courante, on parle d'"objets" pour décrire ce qui est visible et palpable. Aussi la notion d'*objet sonore* semble-t-elle un défi à la raison. Mais quand on réalise que les objets sont une construction de notre cerveau pour représenter le monde et que le bruit d'une voiture est aussi réel que sa couleur, on peut, en prenant quelques risques épistémologiques, étendre la notion d'objet aux sons qu'il émet.

L'exposé comprendra quatre étapes:

- les sources de sons
- la physique de l'audition
- l'axiomatique de l'objet sonore
- la psycho-acoustique

Les énoncés correspondant à chacun de ces paragraphes renvoient à la suite d'images présentées parallèlement.

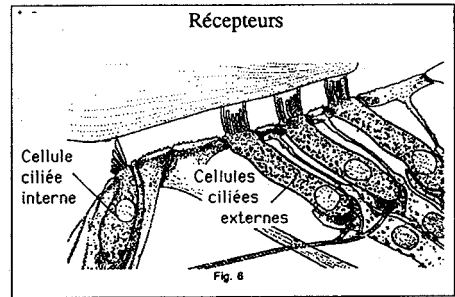
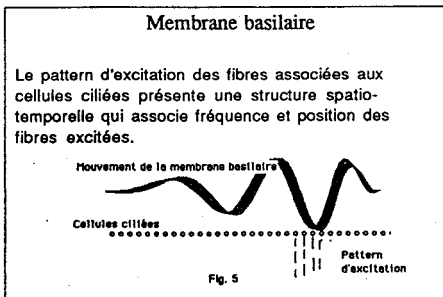
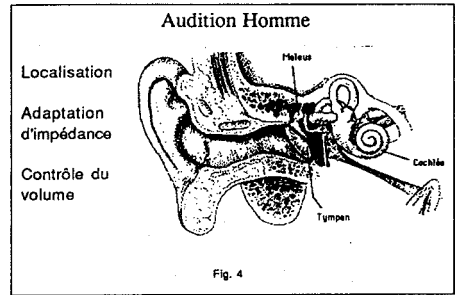
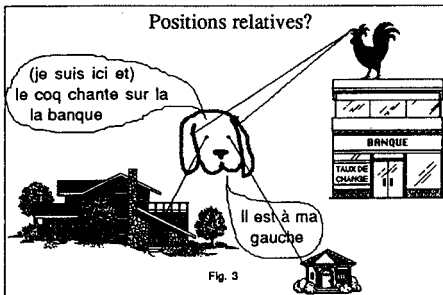
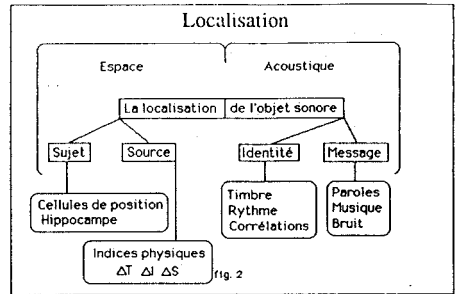
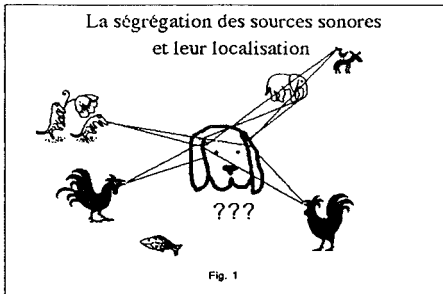
### Summary

In everyday life one talks of "objects" when describing what can be seen and touched. Talking about a *sonic object* may then seem nonsensical. However, we must remember that objects are constructs that we use to represent the world. The noise produced by a car is thus as real as its colour. This allows us to use the term 'object' to designate the sounds an object emits.

The article is subdivided into four sections:

- the source of sounds
- the physics of hearing
- the axiomatic aspects of sound objects
- psycho-acoustics.

Simultaneously, a series of illustrations is presented.



## 1. Les sources de sons

L'espace sonore n'est pas identique pour toutes les espèces animales. Ainsi les scorpions du désert entendent par les pattes et localisent leurs proies par une détection des différentes ondes de surface. L'homme et le chien ont une audition semblable, sauf que le chien perçoit des sons de plus haute fréquence (50 kHz), l'homme étant limité à 16 kHz.

Dans ce qui suit, seules les sources sonores perçues par l'homme seront considérées.

Lorsque l'on est en présence d'une seule source sonore, les deux problèmes principaux sont de localiser et d'identifier la source.

Mais en présence de plus d'une source, il faut en plus séparer chaque source les unes des autres (fig. 1). On parlera de *ségrégation des sources*. Les mécanismes permettant la ségrégation ne sont pas connus, mais on a quelques hypothèses quant aux indices utilisés par ces mécanismes: fréquence fondamentale, rythme, timbre...

Dans ce qui suit, on se restreindra au cas simple d'une seule source. Dans la pratique, c'est une situation courante lorsque l'une des sources est beaucoup plus intense que les autres et conduit à négliger les autres.

Le problème de la localisation des sources sonores comporte deux aspects: l'un acoustique et l'autre spatial (fig. 2).

Dans le cas de l'audition binaurale, la position relative sujet-source peut être détectée par des indices physiques, qui sont contenus dans les signaux acoustiques provenant de la source. Ces indices sont: les rapports d'intensité, le délai et la différence spectrale entre les signaux parvenant aux deux oreilles. Le problème de passer de cette représentation relative à une représentation qui situe le sujet et la source sonore dans l'espace est un problème complexe. La physiologie animale suggère que le sujet se situe constamment par rapport à son milieu. Par exemple, des cellules nerveuses de l'hippocampe s'activent pour des positions données du sujet par rapport à son environnement. La figure 3 résume ce problème de référentiel relatif ou absolu.

## 2. Physique de l'audition

La description anatomique de l'oreille en trois parties permet d'attribuer un rôle fonctionnel à chacune d'entre elles (fig. 4).

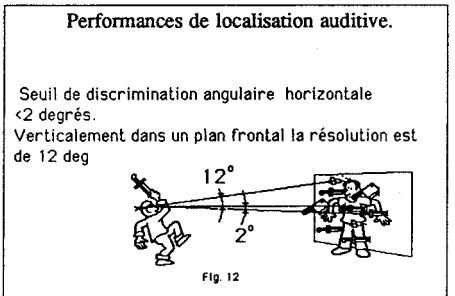
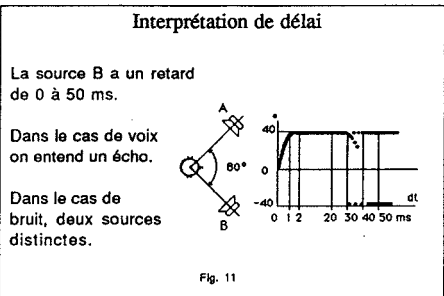
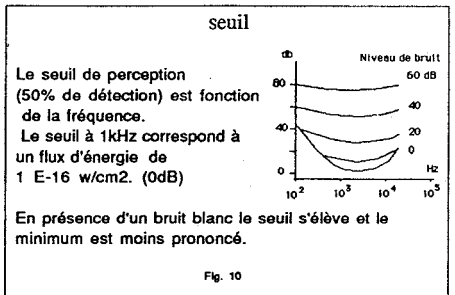
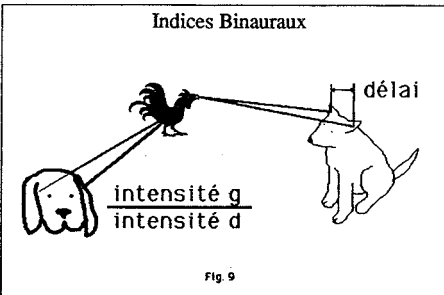
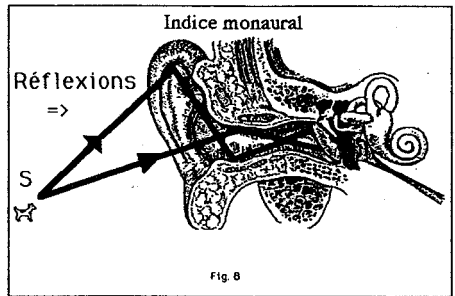
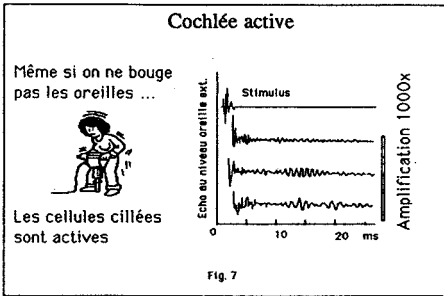
*L'oreille externe* (pavillon et conduit) modifie le spectre en fonction de l'orientation de la source et joue donc un rôle dans la localisation.

*L'oreille moyenne* (tympan, osselets et fenêtre ovale) assure une adaptation d'impédance (rapport des surfaces, tympan et fenêtre ovale) et un contrôle de la sensibilité (par contraction réflexe des muscles de l'étrier et du marteau).

*L'oreille interne* (cochlée) fait une analyse active et électro-mécanique du signal. De plus, elle transforme l'onde de pression en information nerveuse (fig. 5).

L'affirmation d'une analyse active se base sur les propriétés des cellules ciliées externes (fig. 6) qui répondent mécaniquement à un stimulus acoustique. Cette réponse mécanique peut être enregistrée comme un son sortant de l'oreille après un délai d'environ 10 msec (fig. 7).

Les indices physiques de localisation sont monauraux ou binauraux.



La modification des harmoniques par interférence des différents chemins acoustiques est l'exemple type de l'indice monaural (cf. fig. 8 - qui est très schématique).

Le délai et le rapport des intensités entre l'oreille gauche et l'oreille droite sont des indices binauraux (fig. 9).

### 3. La psychophysique

La psychophysique s'occupe des performances des systèmes sensoriels. Elle montre par exemple que la possibilité de détecter un sons pur dépend de sa fréquence et du bruit environnant. La figure 10 montre qu'en milieux silencieux la dépendance est très marquée mais qu'en présence d'un bruit (blanc) de 40 dB, qui équivaut à celui d'une conversation normale, la dépendance est très faible.

La figure 11 montre l'interprétation que fait le système auditif d'un délai entre deux sources. Pour un délai nul, une source est perçue au milieu des deux haut-parleurs. En augmentant le délai, la source semble se rapprocher du haut-parleur A. Pour un délai de 1 ms à 20 ms, on perçoit une seule source localisée en A. Pour un délai dépassant 40 ms, on entend un écho (dans le cas d'une émission vocale).

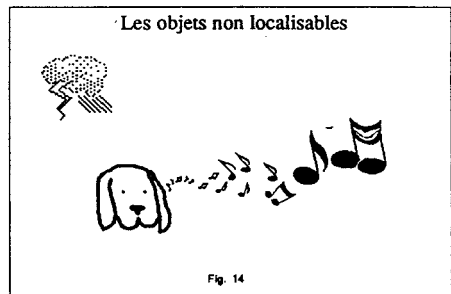
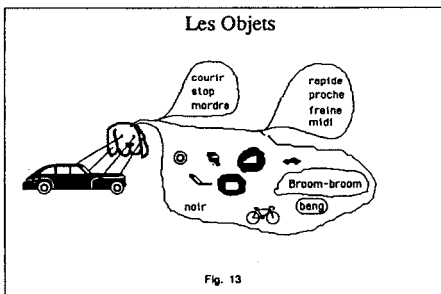
Les performances de localisation sonore sont résumées par la figure 12.

### 4. Axiomatique objective

La représentation du monde extérieur en termes d'objets est si naturelle qu'on oublie que ce n'est qu'une représentation et que le réel n'est probablement pas "objectif"...

Le système nerveux construit, à partir des informations sensorielles et de sa mémoire, une représentation interne du réel, permanente par rapport aux fluctuations continues des entrées sensorielles. Cette construction divise le réel en deux composantes: les objets d'une part et l'espace-temps d'autre part.

Cette représentation est abstraite et de haut niveau, c'est-à-dire qu'il ne faut pas la voir comme une image du monde extérieur, mais plutôt comme un *ensemble interactif de propriétés*. C'est ce que cherche à suggérer la figure 13. D'après ce modèle, les objets sont des constructions multisensorielles (visuelles, auditives, tactiles, ...). Il arrive souvent qu'une des entrées sensorielles soit prédominante. On parlera alors d'objets visuels (un cube, une maison, un arbre) ou d'objets sonores (une voix, une musique, le bruit de la rue).



On voit que le problème de la ségrégation n'est pas le même pour les objets visuels et les objets sonores. Les objets visuels peuvent se masquer mais ne se mélangent pas, alors que les objets sonores de même intensité ne se masquent pratiquement pas et, par contre, se mélangent complètement.

Le problème de la ségrégation des sources sonores est un problème typique du système auditif, mais il n'est pas abordé ici.

Par définition, un objet est quelque chose de discret et de permanent, c'est-à-dire qu'il est unique et continue à être présent, même s'il n'est plus perçu par les sens.

La variation d'un signal sensoriel peut s'interpréter en termes de déplacement de l'objet ou en termes de déformation: c'est la "mémoire" qui décide du résultat qui parvient à la conscience. Exemple: l'image sur la rétine grandit, on en déduit que la voiture se rapproche et non pas qu'elle gonfle... Mais on pensera qu'un pianiste joue plus ou moins fort, et non qu'il s'approche ou s'éloigne...

## **5. Les objets non localisables**

Le ciel bleu, le vent, la pluie, la musique des grandes surfaces, sont des sensations qui ne se laissent pas analyser suivant le modèle précédent. On ne peut localiser leurs causes. D'où les questions suivantes: y a-t-il des objets non localisables, et faut-il les distinguer des non-objets et des omni-présents?