

COCHLEAR IMPLANT



REFERENCES

- MED-EL, <https://www.medel.com/>
- Cochlear®, <https://www.cochlear.com/>
- Guyton, A.C. and Hall, J.E. (2006). Chapter 52 : The sense of Hearing. In *Guyton & Hall Physiology Review* (pp. 651–662). Textbook of Medical Physiology. 11th Edition, Elsevier Saunders
- Brand, Y., Senn, P., Dillier, N., Kompis, M., & Allum, J. (n.d.). *Cochlear implantation in children and adults in Switzerland*. Swiss Medical Weekly. <https://smw.ch/index.php/smw/article/view/1817>
- FG, Z. (n.d.). *Celebrating the one millionth cochlear implant*. JASA express letters. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36154048/>
- Spelman, F.A. (2006). Cochlear prostheses. In J. G. Webster (Ed.), *Encyclopedia of Medical Devices and Instrumentation* (2nd ed., pp. [133-141]). John Wiley & Sons.
- F.-G. Zeng, S. Rebscher, W. Harrison, X. Sun and H. Feng, "Cochlear Implants: System Design, Integration, and Evaluation," in *IEEE Reviews in Biomedical Engineering*, vol. 1, pp. 115-142, 2008, doi: 10.1109/RBME.2008.2008250.
- P. C. Loizou, "Introduction to cochlear implants," in *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine*, vol. 18, no. 1, pp. 32-42, Jan.-Feb. 1999, doi: 10.1109/51.740962
- Zeng F-G. Trends in Cochlear Implants. *Trends in Amplification*. 2004;8(1):1-34. doi: [10.1177/108471380400800102](https://doi.org/10.1177/108471380400800102)
- Wilson, B. S., & Dorman, M. F. (2008). Cochlear implants: current designs and future possibilities. *J Rehabil Res Dev*, 45(5), 695-730.
- Moon, I. J., & Hong, S. H. (2014). What is temporal fine structure and why is it important?. *Korean journal of audiology*, 18(1), 1–7. <https://doi.org/10.7874/kja.2014.18.1.1>



AGENDA

- Introduction
- Physiology aspects
- Technical description/specifications
- Medical significance/clinical application
- Financial overview
- Future perspectives
- Summary

INTRODUCTION

What is a cochlear implant?



PHYSIOLOGY ASPECTS: THE SENSE OF HEARING

External Ear

Collects sound waves and directs them toward the eardrum.

Middle Ear

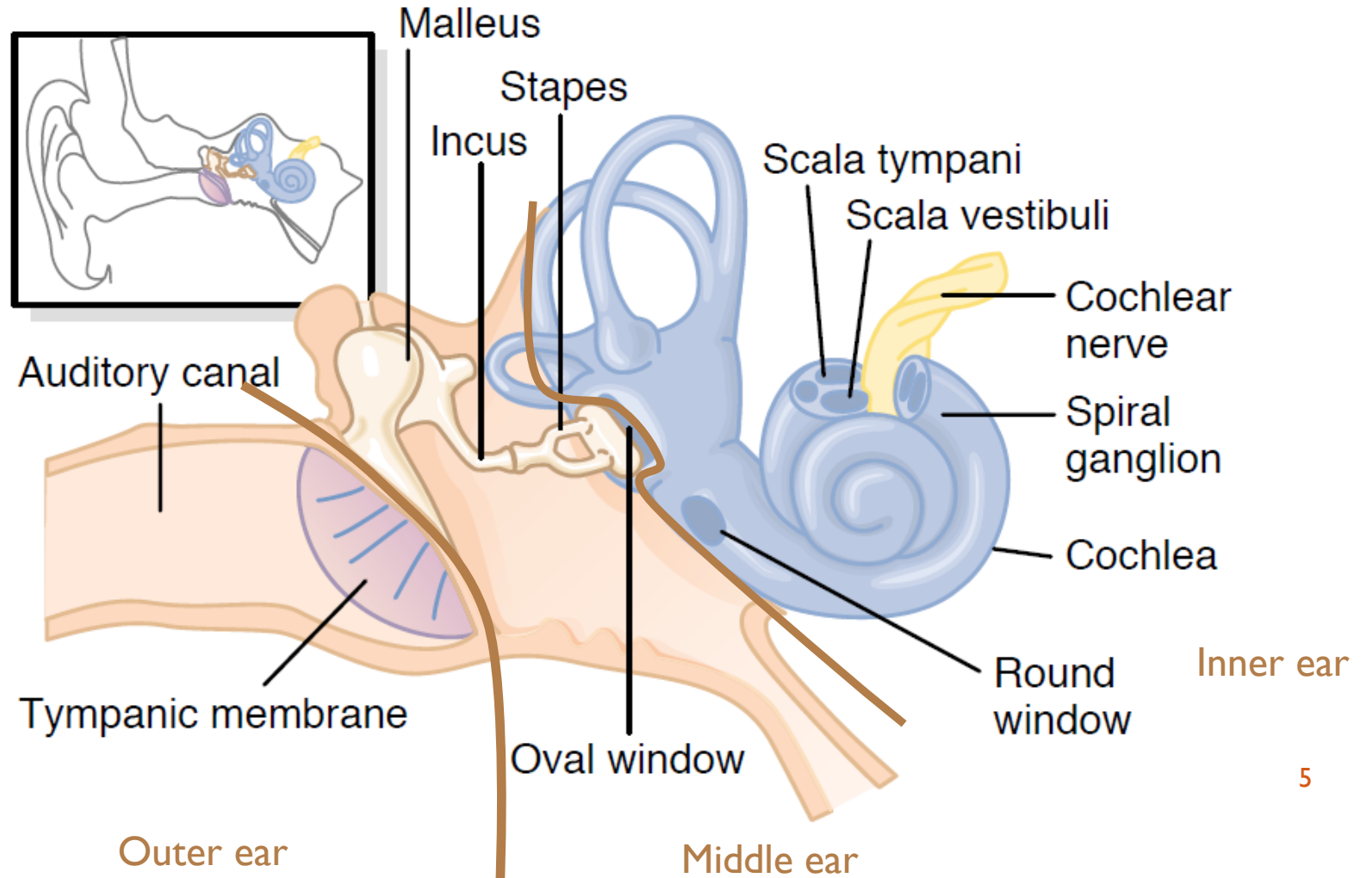
Converts sound waves into mechanical vibrations.

Inner Ear

Converts mechanical vibrations into electrical signals.

Auditory Nerve

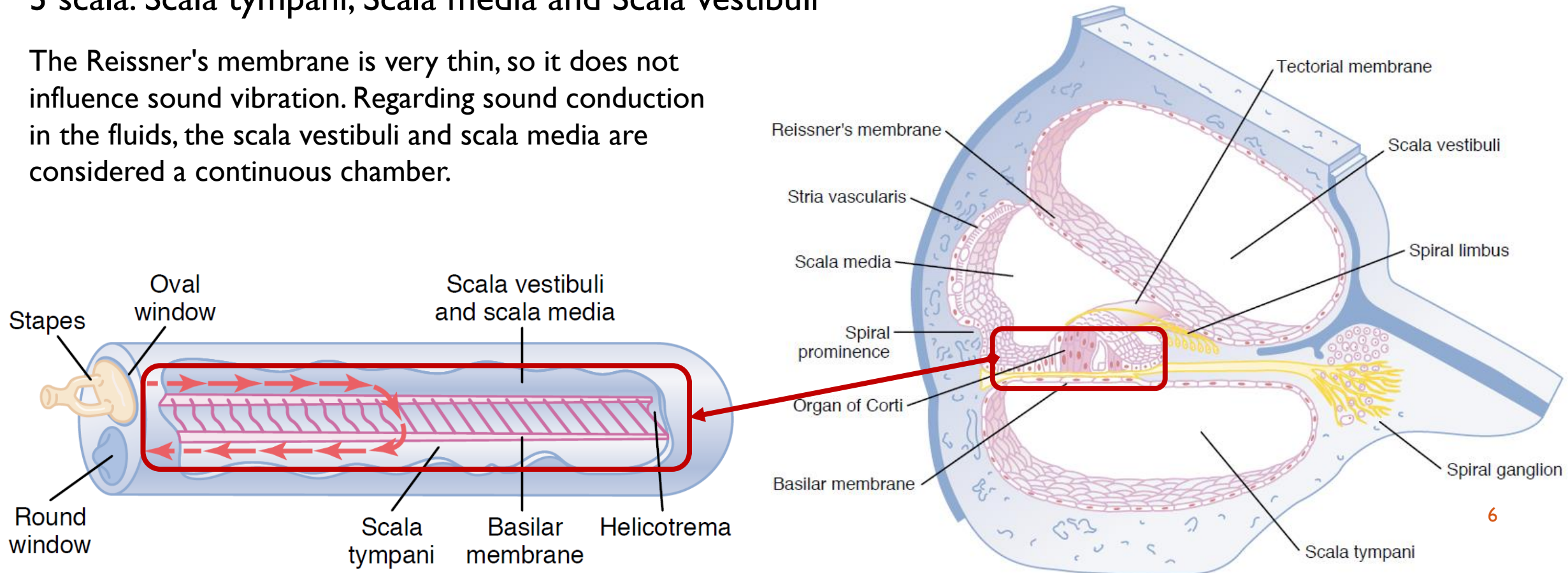
Transmits auditory signals from the inner ear to the brain.



PHYSIOLOGY ASPECTS: THE SENSE OF HEARING

3 scala: Scala tympani, Scala media and Scala vestibuli

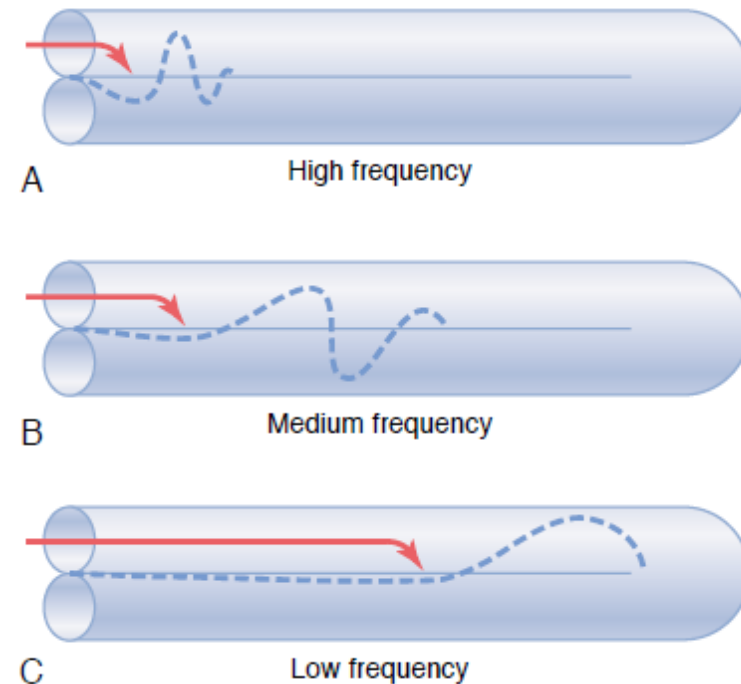
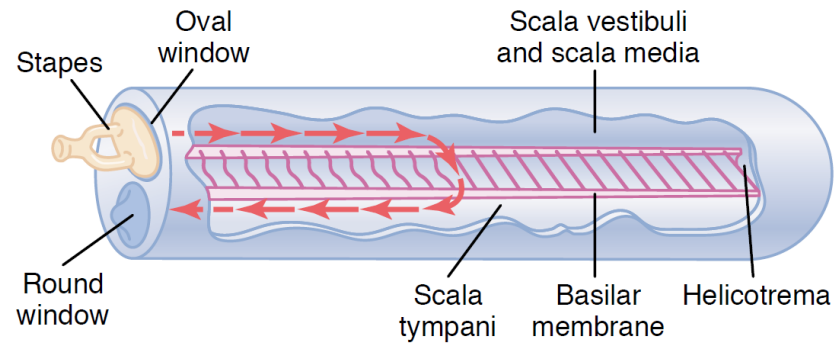
The Reissner's membrane is very thin, so it does not influence sound vibration. Regarding sound conduction in the fluids, the scala vestibuli and scala media are considered a continuous chamber.



PHYSIOLOGY ASPECTS: THE SENSE OF HEARING

Basilar fibers: Short and rigid at the base, long and flexible at the apex of the cochlea.

Resonance of high frequencies near the base and low frequencies at the apex of the cochlea



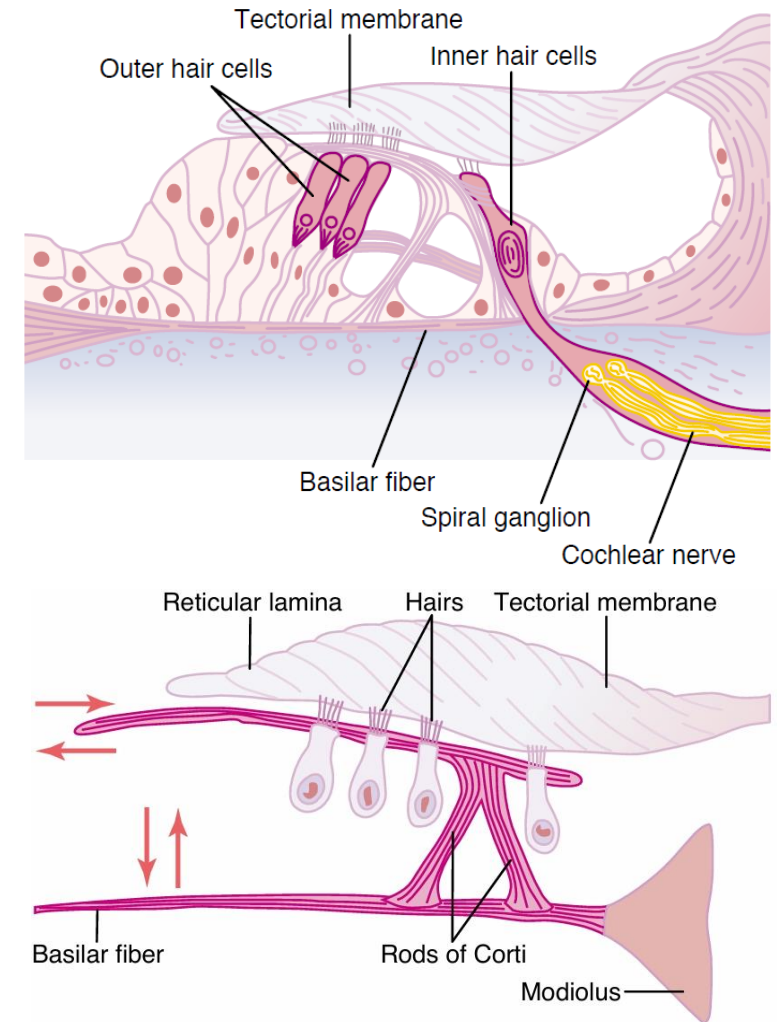
PHYSIOLOGY ASPECTS: THE SENSE OF HEARING

Corti's Organ: The sensory organ that generates nerve impulses in response to the vibration of the basilar membrane.

Sensory receptors in Corti's organ: Hair cells.

Two types: **Inner hair cells** and **Outer hair cells**.

The bending of the cilia in one direction depolarizes the hair cells, while bending in the opposite direction hyperpolarizes them. This, in turn, excites the auditory nerve.



PHYSIOLOGY ASPECTS: THE SENSE OF HEARING

There are different types of hearing loss:

Sensorineural: The hair cells in the cochlea or the auditory nerve are absent or damaged. This can result from genetic factors, head trauma, exposure to loud noises, or environmental influences. Sensorineural hearing loss is often a natural part of aging.

Conductive: Sound waves cannot reach the inner ear. This can result from damage to the middle ear or obstructions in the outer or middle ear.

Mixed: Mixed hearing loss involves both sensorineural and conductive hearing loss, resulting from issues in both the inner ear and the outer or middle ear.



TECHNICAL DESCRIPTION /SPECIFICATIONS

The microphones, the auditory processor, and the antenna.

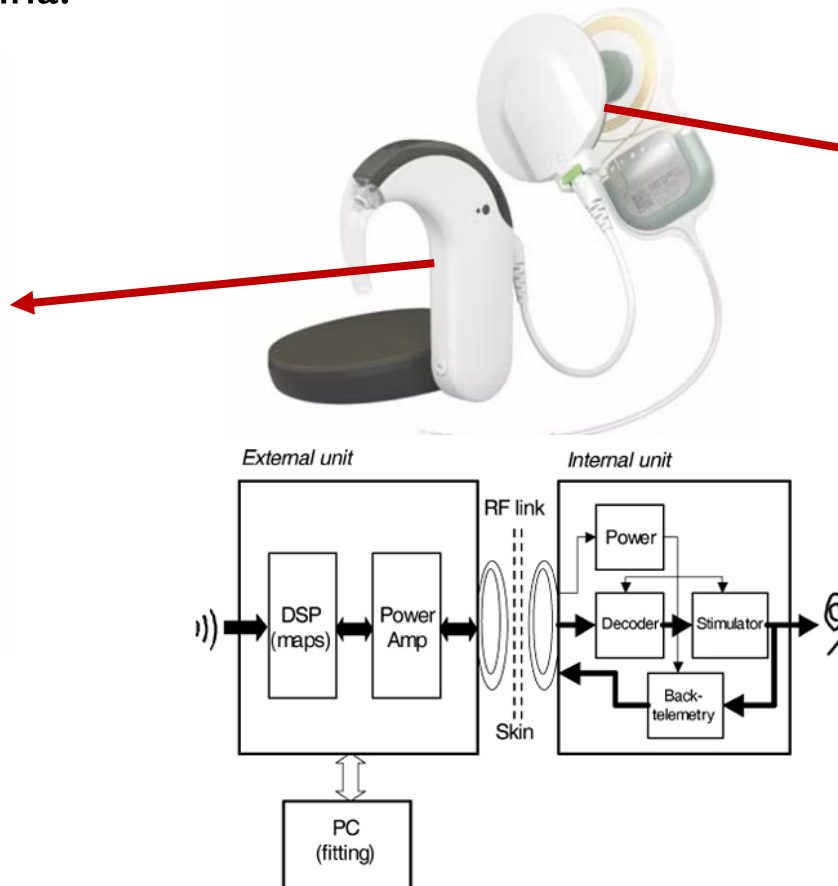


Out of the body

The receiver/stimulator and the electrode array.



In the body



TECHNICAL DESCRIPTION /SPECIFICATIONS

External Part:

Sound Acquisition:

Via 2 microphones

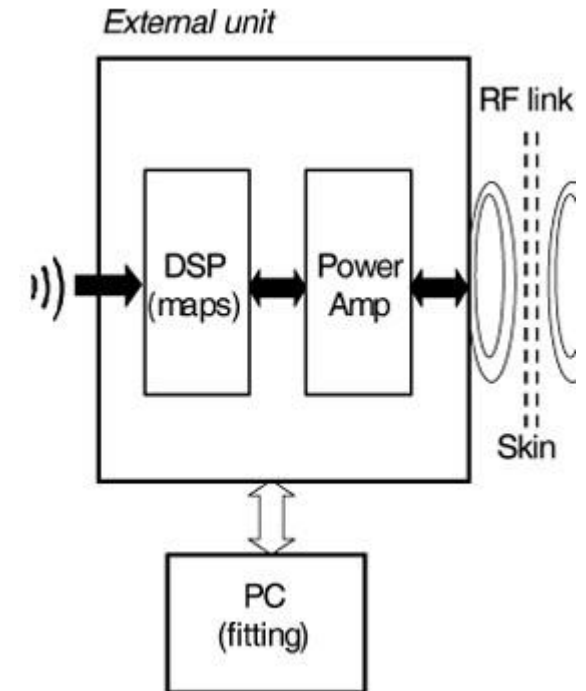
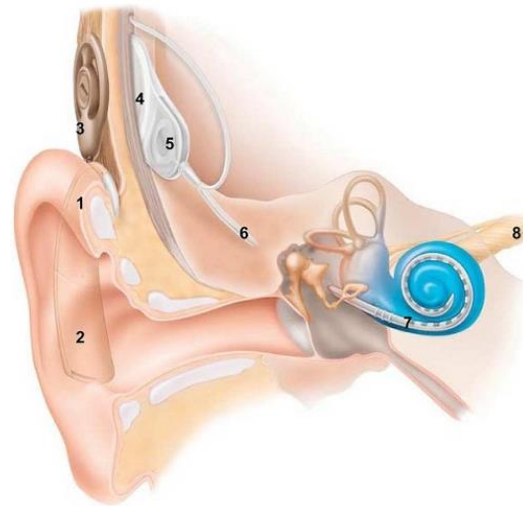
Sound Processing:

- Filtering
- Extraction and compression of temporal envelopes
- Encoding

Sound / Energy Transmission:

Via radio frequency

- 1) Microphone
- 2) Auditory processor
- 3) Antenna

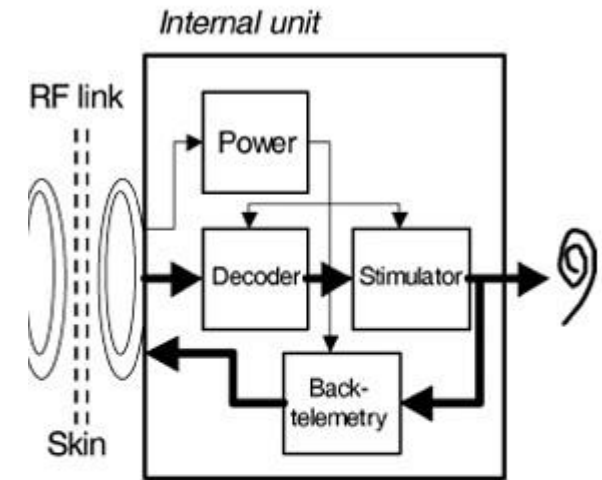
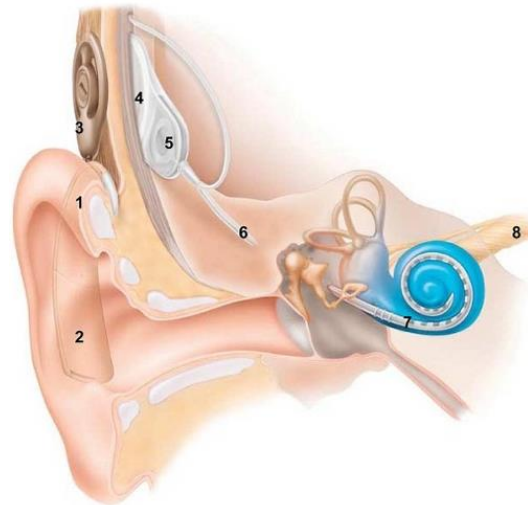


TECHNICAL DESCRIPTION /SPECIFICATIONS

Internal part :



- 4) Receptor
- 5) Stimulator
- 6) Electrical wire
- 7) Electrodes array
- 8) Auditory nerve



Reception of the Radio Signal:

Decoding the signal + error control

Backward Telemetry:

Verification of the status and functioning of the internal unit

Nerve Stimulation:

Sending decoded electrical stimulations through the electrode array

TECHNICAL DESCRIPTION /SPECIFICATIONS

Electrode Array:

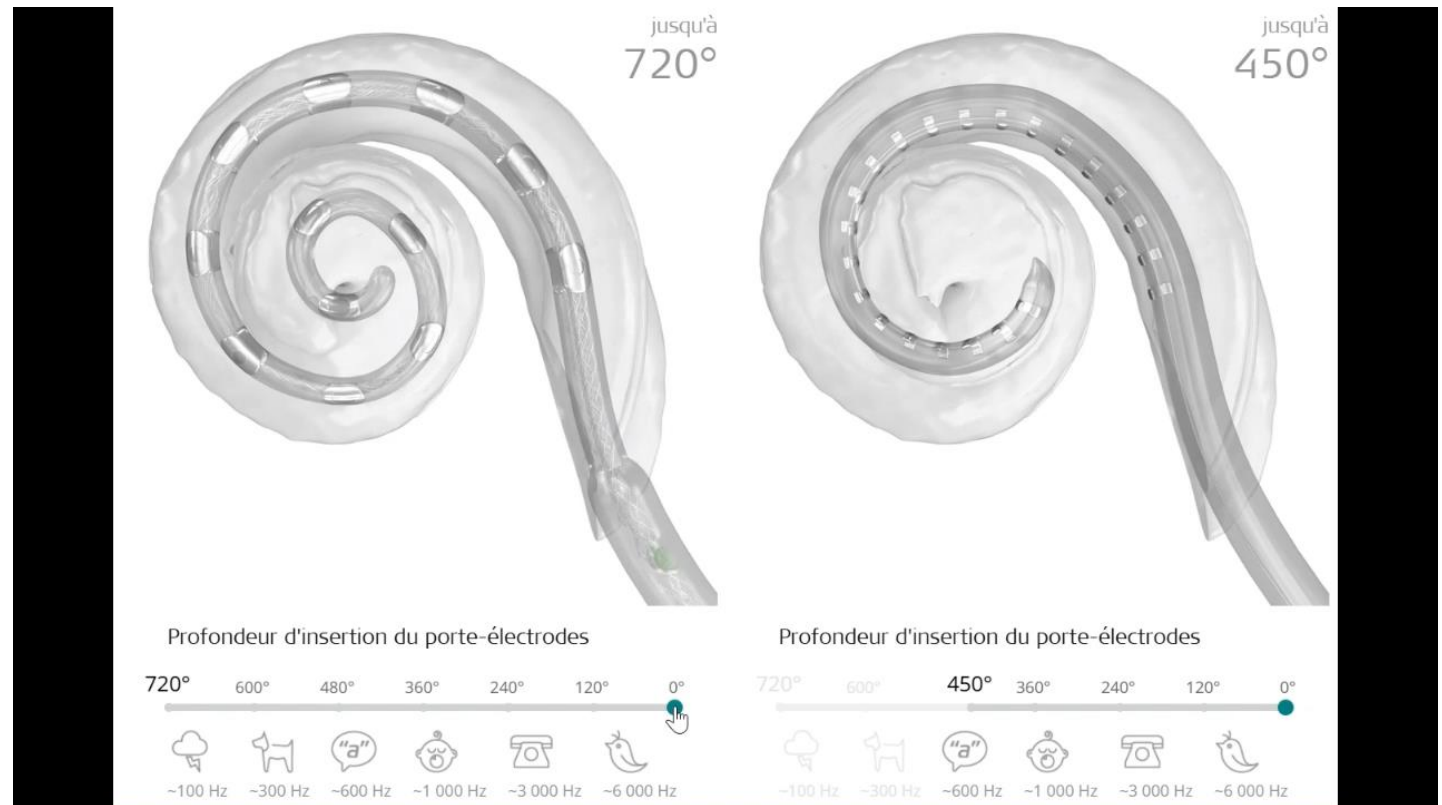
The direct interface between the electrical output and the auditory neural tissue.

The area to be stimulated depends on the frequency of the sound.

Different lengths:

- 450°
- 720°

Made from biocompatible materials.



TECHNICAL DESCRIPTION /SPECIFICATIONS

Specifications:

Frequency Range: 70–8500 Hz

Lifetime:

Internal part: Lifetime

External part: 5-7 years

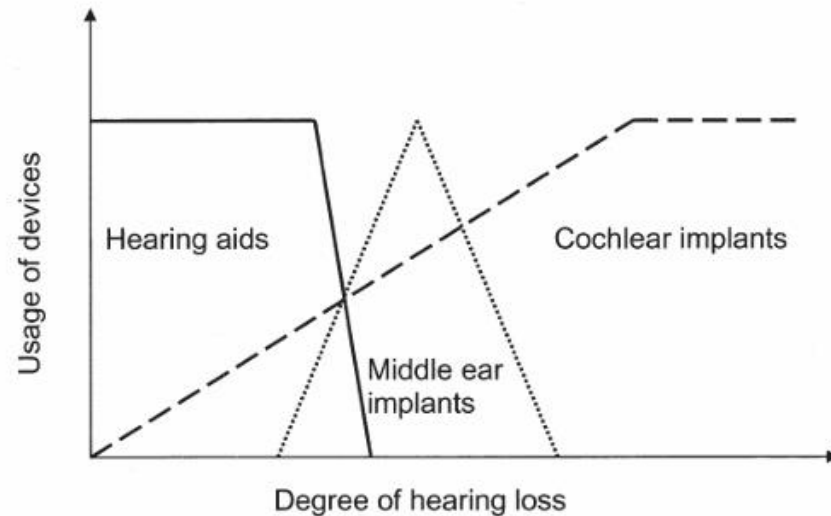
Battery: Disposable batteries (60 hours) or rechargeable battery (19 to 40 hours)

Connection: Can be controlled via a computer, remote control, or mobile phone

Water Resistance: Waterproof pouches for the implant

MEDICAL SIGNIFICANCE/CLINICAL APPLICATION

Who can have cochlear implant?



What is the procedure to obtain a cochlear implant?

1. Evaluation

2. Implantation

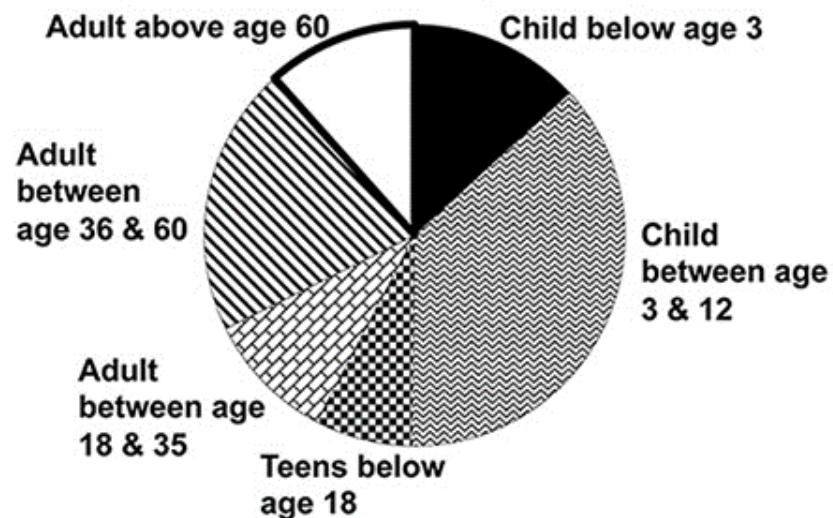
3. Activation

4. Rehabilitation

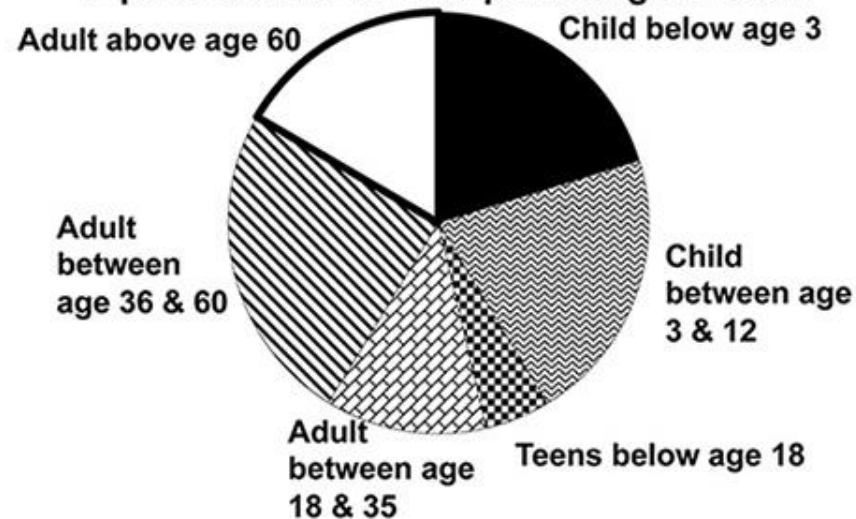
MEDICAL SIGNIFICANCE/CLINICAL APPLICATION

Who has a cochlear implant in Switzerland?

A) Age distribution of patients (n = 690) implanted 1996–2003 as percentage of total.



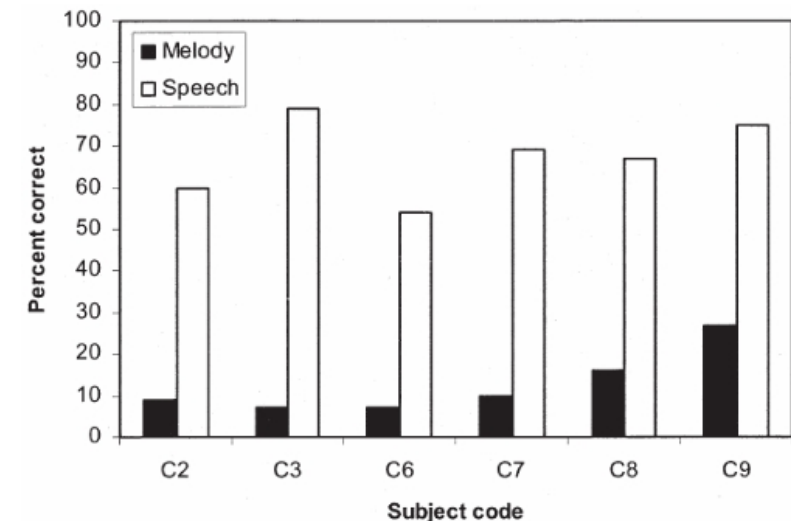
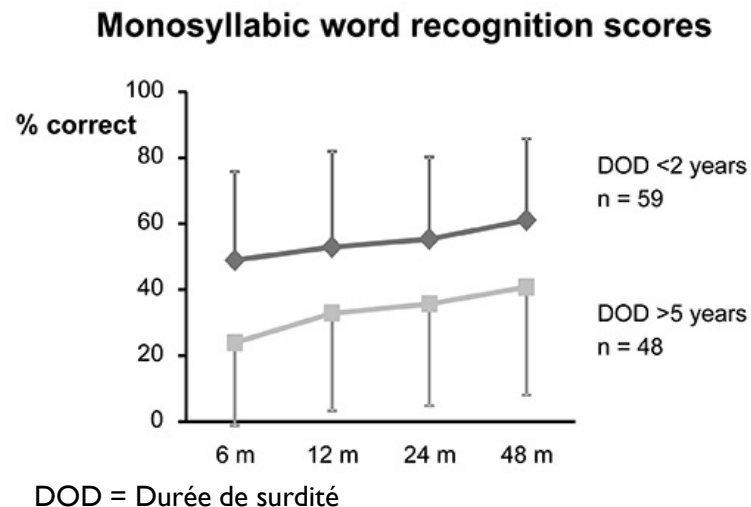
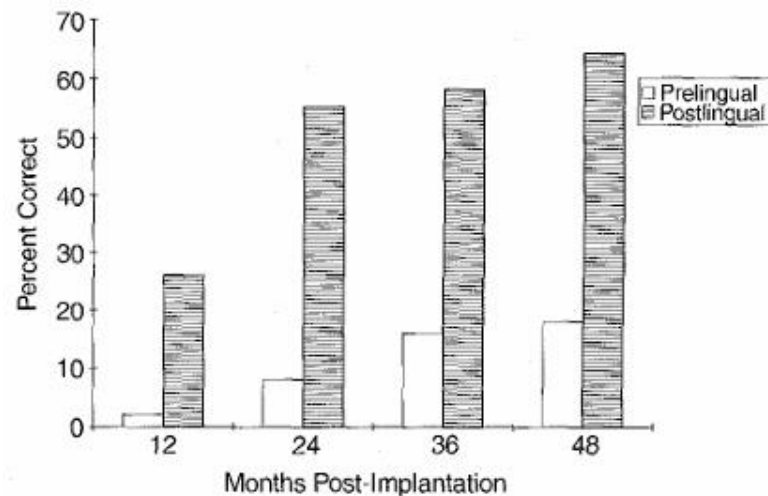
B) Age distribution of patients (n = 1,378) implanted 2004–2012 as percentage of total.



For children, the sooner the intervention, the better. (Before 2 years old)

MEDICAL SIGNIFICANCE/CLINICAL APPLICATION

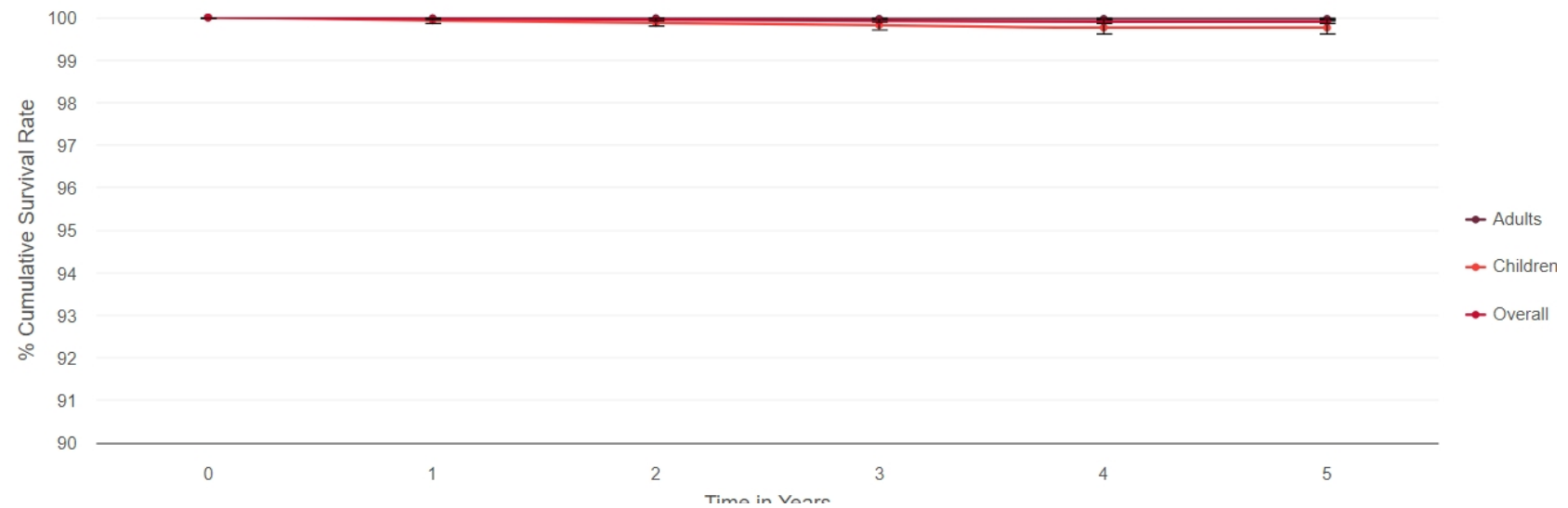
Does it work?



Difficulties in recognizing speech in noisy environments and locating sounds.

MEDICAL SIGNIFICANCE/CLINICAL APPLICATION

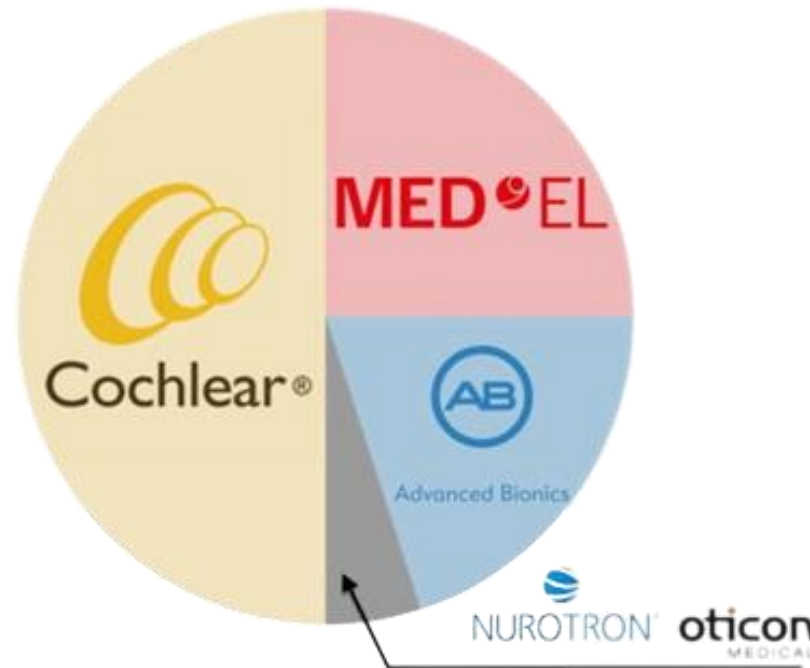
Is it reliable?



FINANCIAL OVERVIEW

Cost of a cochlear implant : 20'000-30'000 € or 30'000-50'000 \$

The One-Millionth Cochlear Implant



Cochlear® In 2024: 1.3 billion dollars just from cochlear implant sales (a 14% increase compared to 2023).

FUTURE PERSPECTIVES

Fully implantable cochlear implants

Encoding of fine structures

Bilateral implants

CONCLUSION

- Cochlear implants are effective for sensorineural hearing loss.
- They consist of two parts: an external component that captures, processes, and transmits sound to an internal component that converts the sound into electrical signals sent to the auditory nerve.
- The characteristics of the implant can be customized based on individual needs (type of electrode, battery lifespan, design, etc.).
- The surgical procedure carries minimal risks, although rehabilitation sessions are necessary for optimal hearing.
- The cochlear implant market is already well-established and continues to grow.
- There are still many opportunities for improvements in future cochlear implants.

**THANK YOU FOR YOUR
ATTENTION**

Questions?

Slide 4 : Cochlear Implant

- **Definition:** Medical electronic device to restore hearing.
 - **Target :** People with severe to profound sensorineural hearing loss.
 - **Difference from hearing aids (which amplify sounds) :** The implant bypasses the damaged parts of the inner ear and directly stimulates the auditory nerve.
-

Slide 5 : How Hearing Works

- **Outer Ear :** Captures and directs sound toward the eardrum (pinna and ear canal).
 - **Middle Ear :** Converts sound waves into mechanical vibrations via the eardrum and transmits them to the inner ear through the ossicles (malleus, incus, stapes).
 - **Inner Ear :** Converts vibrations into nerve signals via the cochlea and stimulates the auditory nerve.
 - **Objective :** Detailed explanation of the inner ear to follow.
-

Slide 6 : Cochlea Details: Spiral Fluid-Filled Structure

- **Structure :** 3 canals (scalas): scala tympani, scala media, scala vestibuli.
 - **Reissner's Membrane :** Separates scala vestibuli from scala media; plays a role in fluid management but not in sound conduction because it is too thin.
 - **Sound Conduction :** Vibrations enter via the oval window, fluids move through the canals and cause the round window to bulge, which leads to the vibration of the basilar membrane near the base of the cochlea, which then propagates.
 - **Basilar Membrane :** Separates scala media from scala tympani, vibrates to create a fluid wave that travels through the cochlea. Contains basilar fibers that vibrate.
-

Slide 7 : Vibrations and Frequencies in the Cochlea

- **Basilar Fibers:** Shorter and stiffer at the base vibrate better at high frequencies -> high-frequency resonance near the base; longer and more flexible at the apex, vibrate better at low frequencies -> low-frequency resonance near the apex.
- **Wave Propagation :** Short distances for high frequencies, long distances for low frequencies. The lower the frequency, the longer the distance it travels in the cochlea, and energy dissipates during resonance.

- **Importance** : Enables frequency discrimination.
-

Slide 8 : The Organ of Corti : Auditory Receptor Organ, Generates Nerve Impulses in Response to Vibration

- **Location** : On the basilar membrane of the cochlea.
 - **Hair Cells**:
 - **Inner (3500)**: Detect sounds, 90-95% of cochlear nerve fibers.
 - **Outer (12,000)**: Rigidity modulated by the nervous system to adjust the sensitivity of inner cells. (Tuning)
 - **Detection Mechanism**: Cilia attached to the reticular lamina, a rigid structure; vibration of the basilar fibers causes movement of the reticular lamina, leading to shear movement of the cilia: depolarizing the hair cell in one direction, hyperpolarizing it in the other. This stimulates the auditory nerve fibers associated with the hair cells, which head toward the spiral ganglion of Corti, which transmits auditory information to the auditory nerve.
-

Slide 9 : Types of Hearing Loss

- **Sensorineural** : Damage to the hair cells of the cochlea or the auditory nerve (genetic, head trauma, loud noise, aging).
 - **Conductive** : Inability to transmit sound to the inner ear (damage or blockage in the middle/outer ear).
 - **Mixed** : Combination of sensorineural and conductive loss.
 - **Cochlear Implant** : For severe or total sensorineural hearing loss, if the auditory nerve is functional. It doesn't replace the cochlea but bypasses non-functional hair cells via electrical stimulation.
-

Slide 10 : Components of the Cochlear Implant

- **External Part** :
 - Microphones to capture surrounding sound.
 - Hearing processor to process the sound.
 - Antenna to transmit the signal to the internal implant.

- **Internal Part :**

- Receiver/stimulator under the skin.
- Electrode array inserted into the cochlea.

- **Diagram:** The two elements are held in place by a magnet. Shows the typical architecture of a modern cochlear implant, including the functional blocks and their roles.

- **Operation:** The sound is captured, converted into a digital signal, then into an RF signal sent to the antenna. The electrode stimulates the auditory nerve, transmitting information to the brain.

Slide 11 : Sound Processing and Transmission

- **Microphone :** Captures the surrounding sound.

- **Hearing Processor :**

- Filtering and processing of sounds through multiple band-pass filters, then extracting the temporal envelope (slow variation of speech signal amplitude over time) for each band. (Different methods: CIS, n-m, SPEAK) (semi-wave rectification or full-wave rectification, followed by low-pass filtering).
- Logarithmic compression to adjust sound amplitudes to the electrical dynamic range of the implant.
- Coding of spectral and temporal structures for the internal implant.

- **Data Transmission :** Via radio frequency

- Wireless connection via a transcutaneous radio link (magnetic induction coils). Information sent : pulse amplitude and stimulation mode. Output is a binary digital stream.
- Reliable transmission using frame-based coding to send stimulation parameters.

- **Power Transmission :** Always via radio frequency

- Internal part is non-rechargeable, so the system optimizes energy transmission efficiency.
 - Transmission coils are designed to maximize energy efficiency while adhering to aesthetic constraints. (Coil size for induction) (Efficiency of 40% power transmission, though this data is old—perhaps higher today.)
-

Slide 12 : ASIC Chip and Telemetry

- **ASIC Chip** : Central component : integrated circuit that ensures safe and reliable electrical stimulation.
 - **Front Path** : Signal decoder that retrieves digital information from the radio signal, error checking, sends stimulation parameters to the current source (Amplitude + current location).
 - **Current Source** : Digital-to-analog converter (DAC) and current mirrors to generate the stimulation current and send it to the electrode array at the right time and place based on the decoded information received.
 - **Back Telemetry** : Sends information to the external unit, allowing monitoring of the internal unit's status (regulated voltage, electrode impedance, communication status, neuronal responses, etc.).
 - Measures and monitors critical functions to ensure the internal circuit works correctly and executes commands from the external unit.
 - **Low-power Design** : Extends battery life.
-

Slide 13 : Electrode Array

- **Electrode Array**: Interface between the implant's electrical output and the auditory nerve.
 - **Sound Frequency Stimulation** : The electrodes transmit current to replace the signals from the hair cells.
 - **Stimulation Zone** : Each sound frequency must be stimulated at the appropriate location in the cochlea.
 - **Design Objectives** :
 - Electrode carrier length to cover the entire cochlea (720°) and stimulate the maximum frequency range. Shorter electrodes (450°) for individuals with some remaining low-frequency hearing but severe high-frequency loss, using both acoustic and electrical stimulation; mechanical noise is more pronounced. Challenge of implanting the electrode array without damaging still-functional parts of the cochlea.
 - Biocompatible materials (medical silicone, polyurethane, titanium) to minimize the risk of rejection or irritation. Reduction of cochlear damage, wear resistance, and adaptability in the complex environment of the cochlea.

Slide 14 : Technical Specifications

- **Frequency Range** : Ranges from 70 Hz to 8500 Hz (up to 11,500 Hz depending on the model).
 - **Lifespan** :
 - **Internal Part** : Theoretically lifetime, unless failure occurs.
 - **External Part** : Requires updates or replacement every 5 to 7 years depending on technological advances or the processor's condition.
 - **Battery** :
 - Zinc batteries : 60 hours of autonomy.
 - Rechargeable batteries : autonomy of 19 to 40 hours, depending on the model.
 - **Parameter Control** : Can be connected to a computer, remote control, or mobile app to customize sound processing and implant settings.
 - **Waterproofing** : Option to protect the external processor underwater with waterproof pouches.
-

Slide 15 : Cochlear Implantation Process

1. **Evaluation** :
 - **Indication** : For profound or severe sensorineural hearing loss, no primary treatment, only useful prosthetics.
 - **Candidates** : People who cannot benefit from conventional hearing aids that amplify sound.
 - Audiological assessment, imaging exams, and evaluation of other medical conditions.
2. **Implantation** :
 - Simple surgical procedure (1-2 hours) under general or local anesthesia.
 - Implantation under the skin behind the ear and insertion of the electrode array into the cochlea.
 - Rapid recovery, generally a one-day hospitalization.
3. **Activation** :

- After 4 weeks: Activation of the processor for the first time by an audiologist (ENT specialist).
- Adjustment of parameters to match individual hearing preferences.

4. **Rehabilitation :**

- Essential for adapting to the sound perceived by the implant.
- Sessions with speech therapists and home exercises.

Slide 16 : Age Distribution and Implantation Outcomes

• **Statistics (Switzerland):** Shows the trend in age distribution for people with an implant.

- Increasing cochlear implants among children under 3 years old.

• **Impact of Early Implantation in Prelingual Deaf Children:**

- Better results if implanted before 2 years (linguistic skills close to those of hearing children).
- Less favorable results if implanted after 7 years (difficulty reaching similar linguistic skills).

Slide 17 : Impact of Age of Hearing Loss on Cochlear Implant Outcomes

• **Prelingual vs. Postlingual :** Adults and children with postlingual hearing loss (developed after language acquisition) have better outcomes than those with prelingual or congenital hearing loss. (The auditory part of the brain doesn't develop the same way.)

• **Factors Affecting Outcomes :** Age of onset of hearing loss, delay between hearing loss and implantation, duration of implant use, type of sound signal.

• **Impact of Delay :** The longer the delay between the onset of hearing loss and implantation, the poorer the implant's performance. Example from a study in Bern: better results for those with hearing loss <2 years compared to >5 years. Long periods of deafness lead to morphological changes in the brain's auditory areas.

• **Limitations of the Implant :** Primarily designed for speech, with little or no attention to other environmental sounds, including music → poor quality of music perception. Few problems for tasks related to tempo/rhythm, but the implant doesn't work as well for tasks related to sound pitch.

- Difficulty recognizing speech in noisy environments.

- Problems with sound localization.
-

Slide 18 : Cochlear Implant Reliability Standards and Safety

- **ISO 5841-2:2014 Standard** : Reliability requirements for cochlear implants.
 - **360-Degree Reliability Approach (MED-EL)**: Five critical areas of safety and reliability.
 - **Implant Reliability** : Includes data from manufacturers and clinics.
 - **Safe Stimulation** : Excludes harmful currents.
 - **Electrode Safety** : No damage to cochlear structures.
 - **MRI Safety** : Allows MRI exams without the need for surgery and without discomfort.
 - **Audio Processor Reliability**: Includes repair rates and processor stability.
 - **Example** : MED-EL's Synchrony 2 implant survival rate, overall reliability of 99.9% over 5 years.
-

Slide 19 : Cost of Cochlear Implants and Market Share

- **Total Cost** : Between \$30,000 and \$50,000 (20,000–30,000 euros), including the device, surgery, and rehabilitation. Coverage by insurance (depending on the country).
 - **Market Share of Manufacturers** :
 - **Cochlear Limited** : 50% market share.
 - **MED-EL** : 25%.
 - **Advanced Bionics** : 20%.
 - **Other Manufacturers (5% market share)** : Nurotron, Oticon, etc.
 - **2024 Numbers** : Cochlear Limited reached \$1.3 billion in cochlear implant sales, a 14% increase compared to 2023. Growth has been ongoing since 2020.
-

Slide 20 : Innovations and Challenges of Cochlear Implants

- **Fully Implantable Cochlear Implants** : No external part.
 - **Advantage** : Better comfort and aesthetics, no visible external elements.
 - **Major Challenge** : Development of a functional subcutaneous microphone without interference from the body's internal noise.

- No fully internal implant is currently approved, but prototypes are being tested.

- **Encoding Fine Structures :**

- Decomposing the temporal signal at a specific position on the basilar membrane into two pieces of information : temporal envelope (ENV) and fine temporal structure (SF).
- **ENV** : Characterized by the slow variation of speech signal amplitude over time.
SF : Refers to rapid oscillations with a frequency close to the central frequency of the band.
- Current cochlear implants use low-pass filtering. Signals are filtered, and their envelopes are detected, which results in the loss of fine structure.
- **ENV** is useful for speech intelligibility in silence (easily degraded by noise), while **SF** is important for perception in noise and pitch.
- With **SF**, better speech perception in noisy environments and improved perception of sound pitch and melody.
- Tests are already being conducted using Hilbert transform during filtering to decompose the sound while maintaining both ENV and SF.

- **Bilateral Implants (Two Implants) :**

- **Binaural Hearing** : Improved sound localization and perception in noisy environments (head shadow effect).
- Psychophysical benefits measured in studies.
- High cost (two implants, two surgeries) : Question of whether the benefits justify the costs of two implants.

Slide 21 : General Conclusion on Cochlear Implants

- **Effectiveness** : Works well for sensorineural hearing loss.
- **Components:**
 - **External Part** (captures, processes, and transmits sound).
 - **Internal Part** (converts data into electrical signals for the auditory nerve).
- **Customization** : Adjustable parameters (electrode length, auditory processor settings, design).

- **Surgery** : Low-risk procedure, with necessary rehabilitation for good results. Patients are generally satisfied.
- **Market** : The cochlear implant market is already established and profitable, continuing to grow.
- **Future Improvements** : Many possibilities for innovation in the field of cochlear implants.

IMPLANT COCHLÉAIRE



SOURCES

- MED-EL, <https://www.medel.com/>
- Cochlear®, <https://www.cochlear.com/>
- Guyton, A.C. and Hall, J.E. (2006). Chapter 52 : The sense of Hearing. In *Guyton & Hall Physiology Review* (pp. 651–662). Textbook of Medical Physiology. 11th Edition, Elsevier Saunders
- Brand, Y., Senn, P., Dillier, N., Kompis, M., & Allum, J. (n.d.). *Cochlear implantation in children and adults in Switzerland*. Swiss Medical Weekly. <https://smw.ch/index.php/smw/article/view/1817>
- FG, Z. (n.d.). *Celebrating the one millionth cochlear implant*. JASA express letters. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36154048/>
- Spelman, F.A. (2006). Cochlear prostheses. In J. G. Webster (Ed.), *Encyclopedia of Medical Devices and Instrumentation* (2nd ed., pp. [133-141]). John Wiley & Sons.
- F.-G. Zeng, S. Rebscher, W. Harrison, X. Sun and H. Feng, "Cochlear Implants: System Design, Integration, and Evaluation," in *IEEE Reviews in Biomedical Engineering*, vol. 1, pp. 115-142, 2008, doi: 10.1109/RBME.2008.2008250.
- P. C. Loizou, "Introduction to cochlear implants," in *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine*, vol. 18, no. 1, pp. 32-42, Jan.-Feb. 1999, doi: 10.1109/51.740962
- Zeng F-G. Trends in Cochlear Implants. *Trends in Amplification*. 2004;8(1):1-34. doi: [10.1177/108471380400800102](https://doi.org/10.1177/108471380400800102)
- Wilson, B. S., & Dorman, M. F. (2008). Cochlear implants: current designs and future possibilities. *J Rehabil Res Dev*, 45(5), 695-730.
- Moon, I. J., & Hong, S. H. (2014). What is temporal fine structure and why is it important?. *Korean journal of audiology*, 18(1), 1–7. <https://doi.org/10.7874/kja.2014.18.1.1>



PROGRAMME

- Introduction
- Aspect physiologique : l'audition
- Description technique/spécifications
- Pertinence médicale/application clinique
- Aspect financier
- Perspectives futures
- Conclusion

INTRODUCTION

Qu'est ce qu'un implant cochléaire?



ASPECT PHYSIOLOGIQUE : L'AUDITION

Oreille externe

Collecte les ondes sonores et les dirige vers le tympan

Oreille moyenne

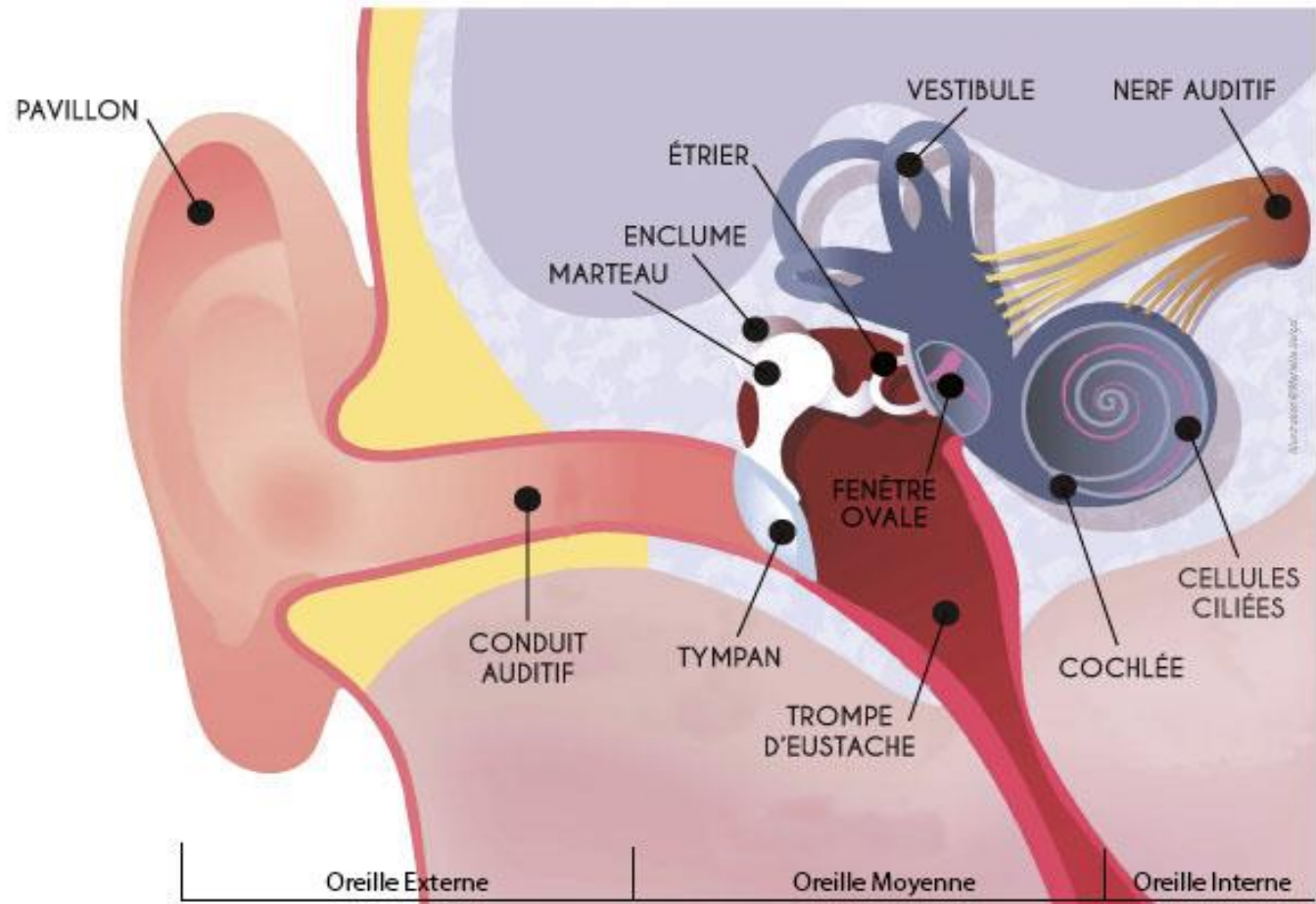
Convertit les ondes sonores en vibrations mécaniques

Oreille interne

Convertit les vibrations mécaniques en signaux électriques

Nerf auditif

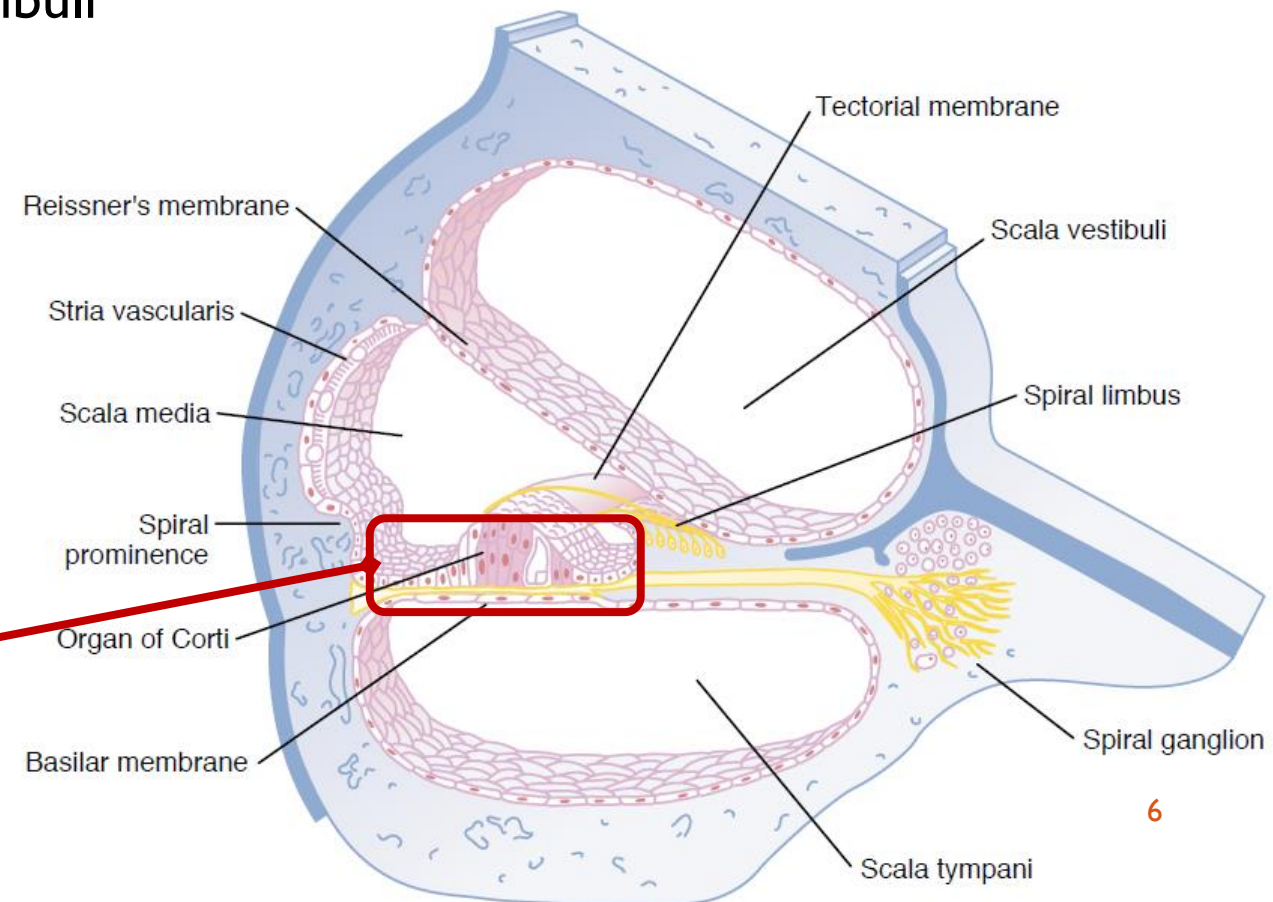
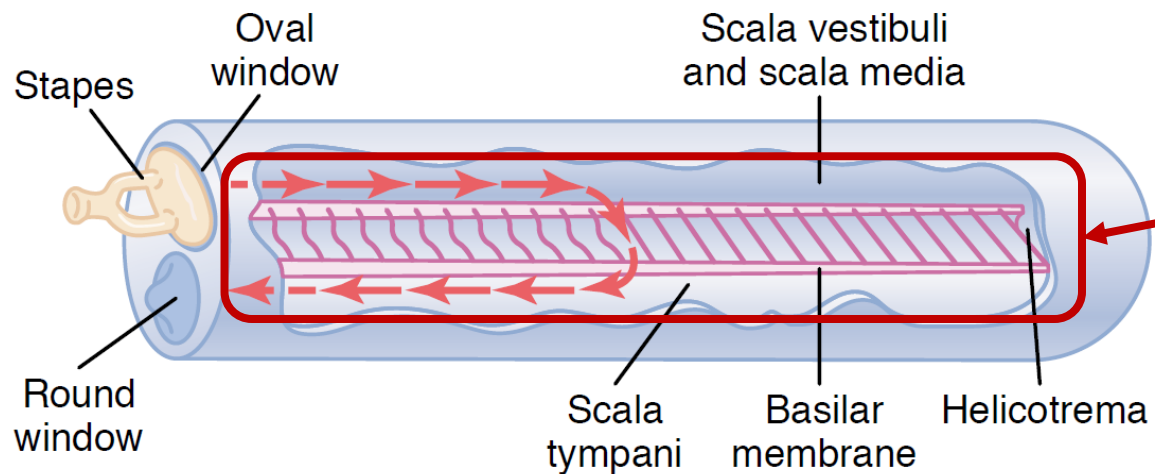
Transmet les signaux auditifs de l'oreille interne au cerveau



ASPECT PHYSIOLOGIQUE : L'AUDITION

3 scala: Scala tympani, Scala media and Scala vestibuli

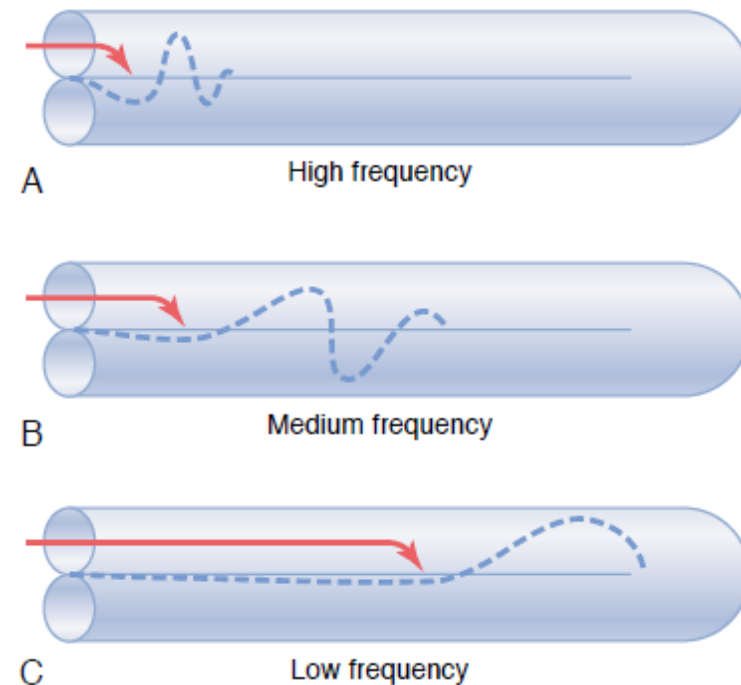
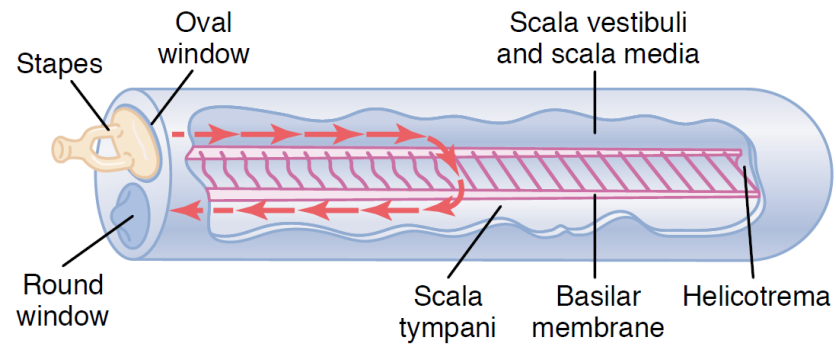
La membrane de Reissner est très fine, donc elle n'a pas d'influence sur la vibration sonore. En ce qui concerne la conduction du son dans les fluides, la scala vestibuli et la scala media sont considérées comme une chambre continue.



ASPECT PHYSIOLOGIQUE : L'AUDITION

Fibres basiliaires : courtes et rigide à la base, longues et flexible au sommet de la cochlée

Résonnance des hautes fréquences près de la base et des basses fréquences au sommet de la cochlée



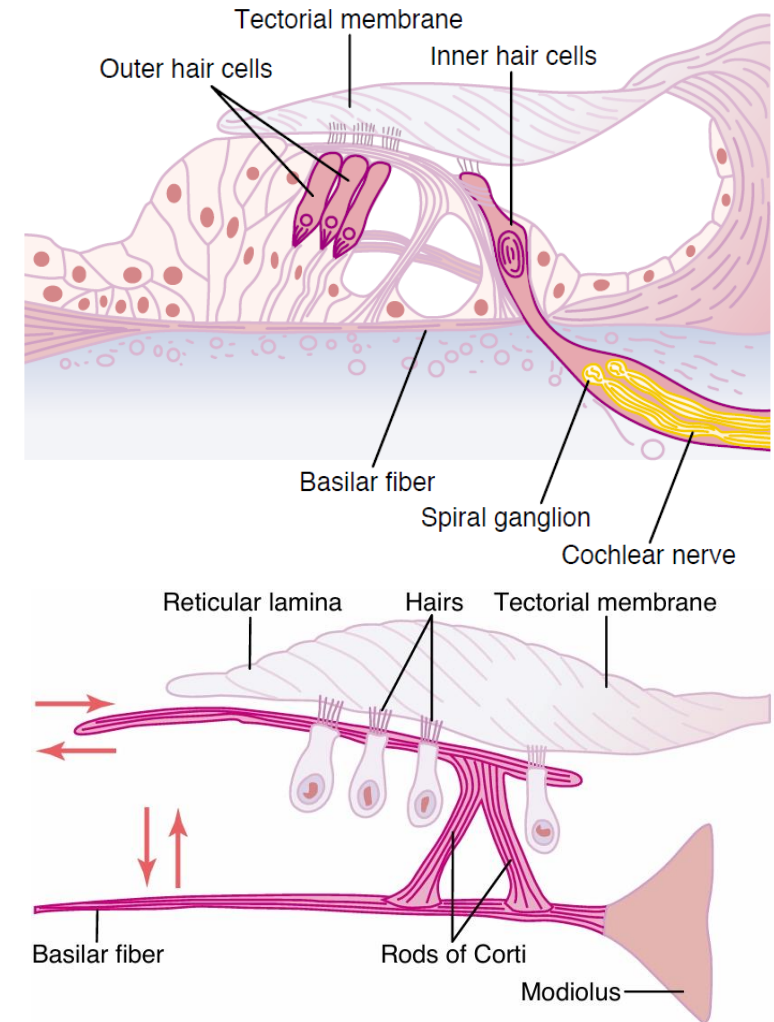
ASPECT PHYSIOLOGIQUE : L'AUDITION

Organe de Corti : organe récepteur qui génère des impulsions nerveuses en réponse à la vibration de la membrane basilaire.

Récepteurs sensoriels dans l'organe de Corti : *cellules ciliées*.

Deux types : cellules ciliées internes et cellules ciliées externes.

La flexion des cils dans une direction dépolarise les cellules ciliées, tandis que la flexion dans la direction opposée les hyperpolarise. Cela excite à son tour le nerf auditif.



ASPECT PHYSIOLOGIQUE : L'AUDITION

Il existe différents types de perte auditive :

Neurosensorielle : Les cellules ciliées dans la cochlée ou le nerf auditif sont absents ou endommagés. Cela peut résulter de facteurs génétiques, de traumatismes crâniens, d'exposition à des bruits forts ou d'influences environnementales. La perte auditive sensorielle est souvent une partie naturelle du vieillissement.

Transmission: Les ondes sonores ne peuvent pas atteindre l'oreille interne. Cela peut résulter de dommages à l'oreille moyenne ou d'obstructions dans l'oreille externe ou moyenne.

Mixte : La perte auditive mixte implique à la fois une perte auditive sensorielle et de transmission, résultant de problèmes dans l'oreille interne ainsi que dans l'oreille externe ou moyenne.



DESCRIPTION TECHNIQUE/SPÉCIFICATIONS

Les microphones, le processeur auditif
et l'antenne

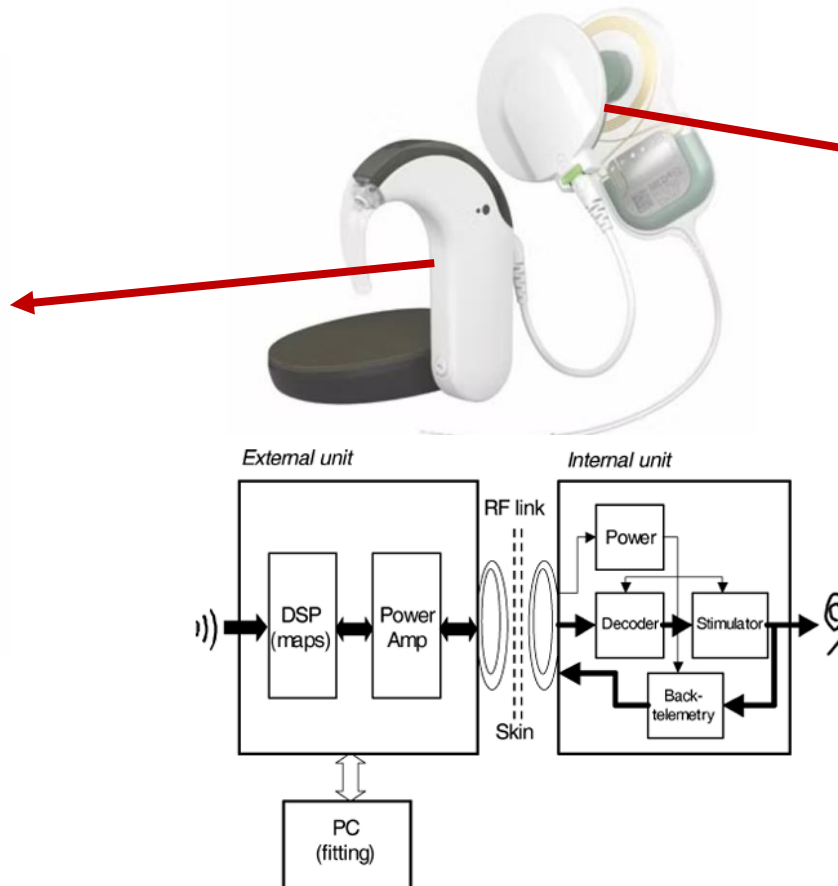


Hors du corps

Le récepteur/stimulateur
électrique et le réseau
d'électrodes



Dans le corps



DESCRIPTION TECHNIQUE/SPÉCIFICATIONS

Partie externe :

Acquisition du son : Via 2 microphones

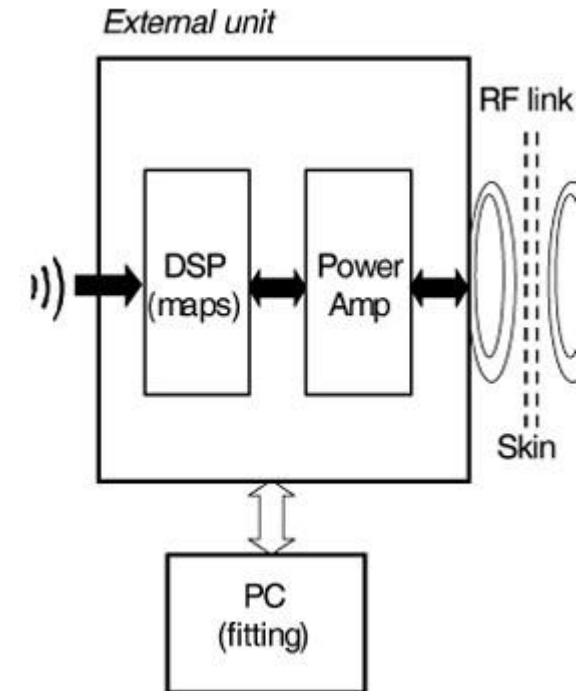
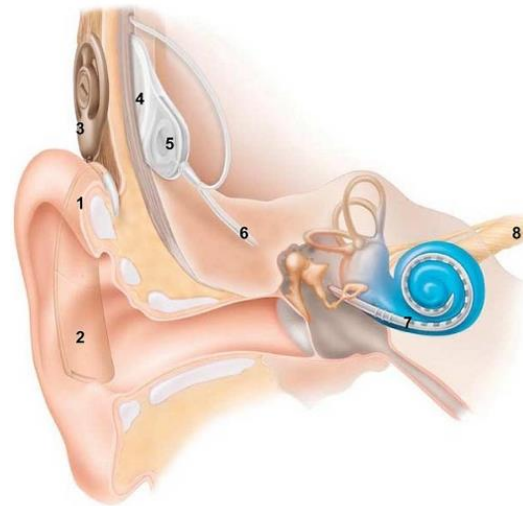
Traitement du son :

- Filtrage
- Extraction et compression des enveloppes temporelles
- Encodage

Transmission du son / d'énergie :

Via fréquence radio

- 1) Microphone
- 2) Processeur auditif
- 3) Antenne

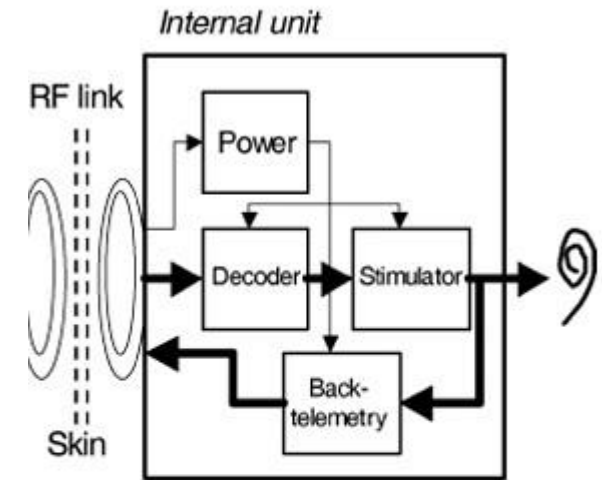
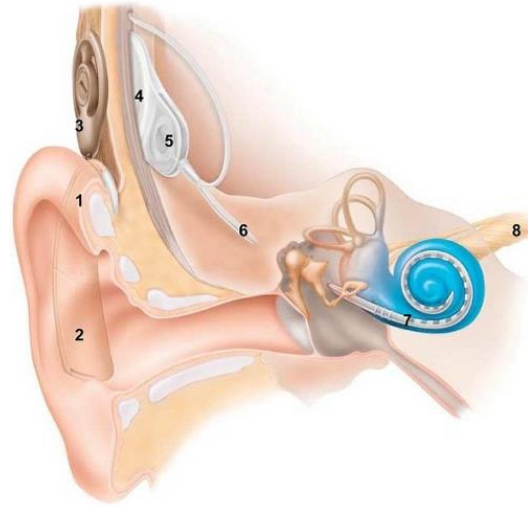


DESCRIPTION TECHNIQUE/SPÉCIFICATIONS

Partie interne :



- 4) Récepteur
- 5) Stimulateur
- 6) Fil électrique
- 7) Électrodes
- 8) Nerf auditif



Réception du signal radio :

Décodage du signal + contrôle d'erreur

Télémétrie arrière :

Vérification de l'état et du fonctionnement de l'unité interne

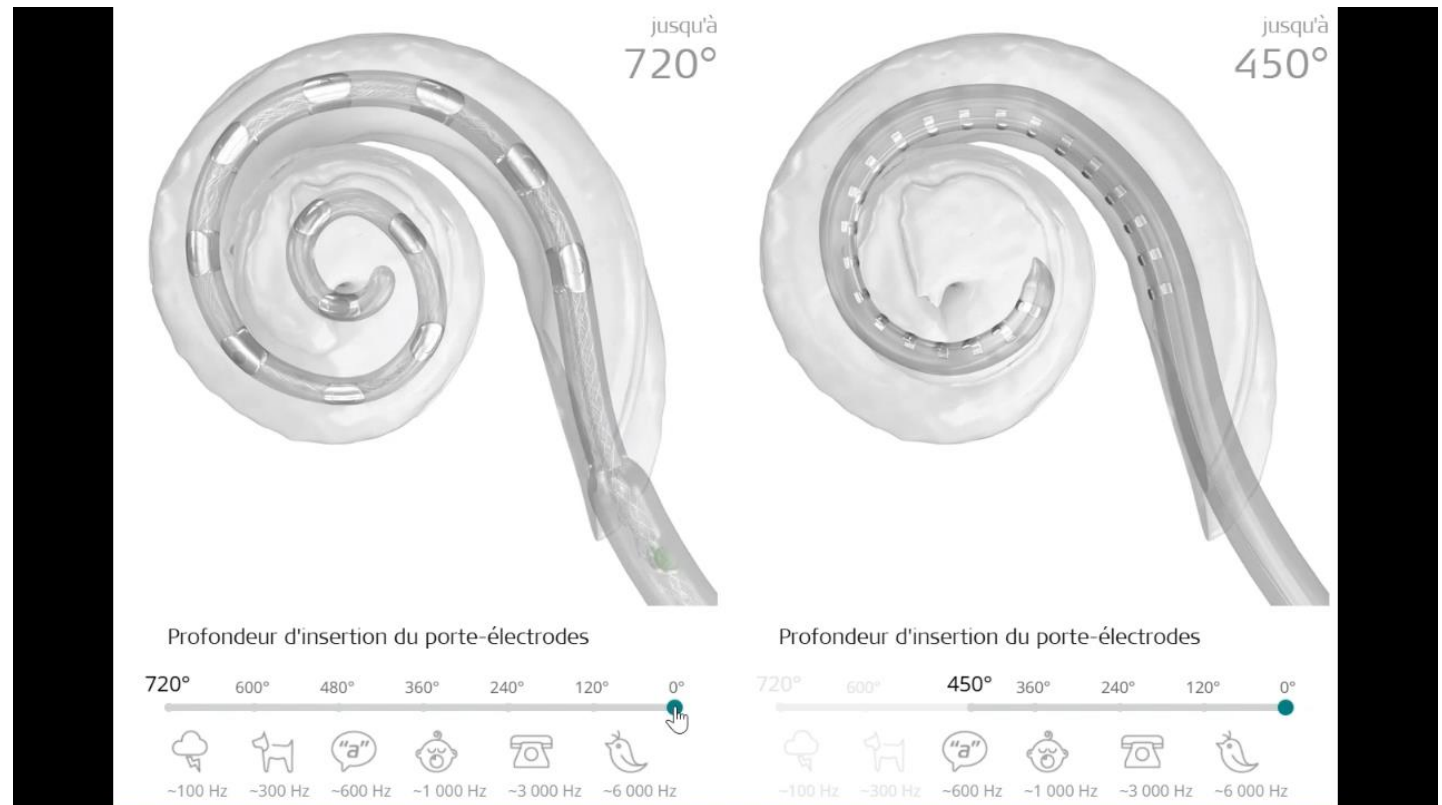
Stimulation du nerf :

Envoi des stimulation électriques décodée via le réseau d'électrode

DESCRIPTION TECHNIQUE/SPÉCIFICATIONS

Réseau d'électrodes :

- L'interface directe entre la sortie électrique et le tissu neural auditif
- La zone à exciter dépend de la fréquence du son
- Différentes longueurs :
 - 450°
 - 720°
- Fait en matériaux biocompatibles



DESCRIPTION TECHNIQUE/SPÉCIFICATIONS

Spécifications :

Gamme de fréquence : 70–8500 Hz

Durée de vie :

Partie interne : toute une vie

Partie externe : 5-7ans

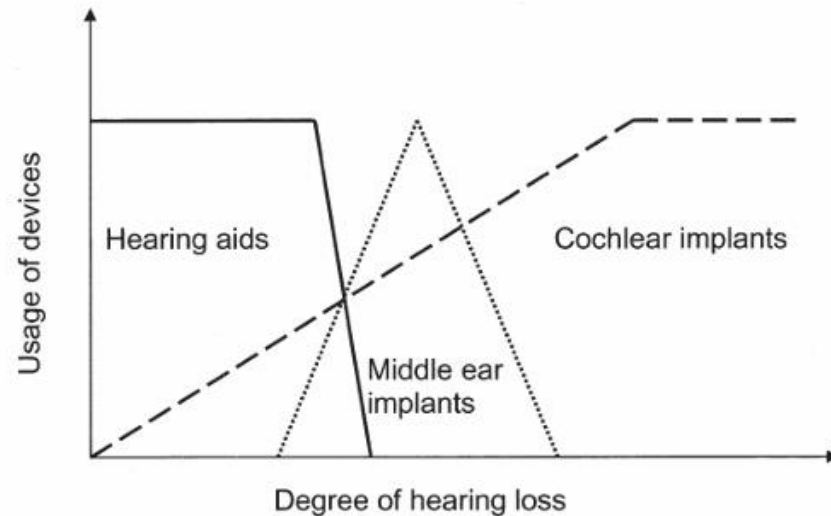
Batterie : Piles jetables (60 heures) ou batterie rechargeable (de 19 à 40h)

Connexion : Peut être contrôlée depuis un ordinateur, une télécommande ou un téléphone

Résistance à l'eau : Pochettes étanches pour implant

PERTINENCE MÉDICALE/APPLICATION CLINIQUE

Pour qui sont les implants cochléaire?



Quelle est la procédure pour obtenir un implant cochléaire?

1. Évaluation

2. Implantation

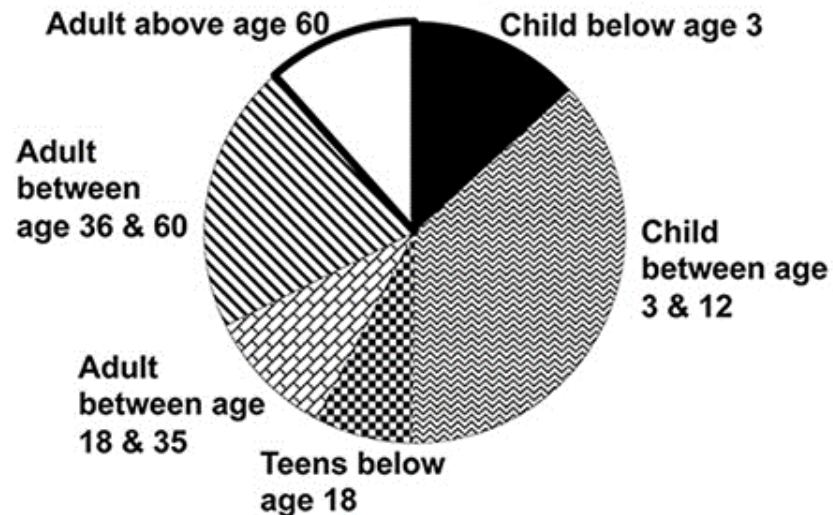
3. Activation

4. Rééducation

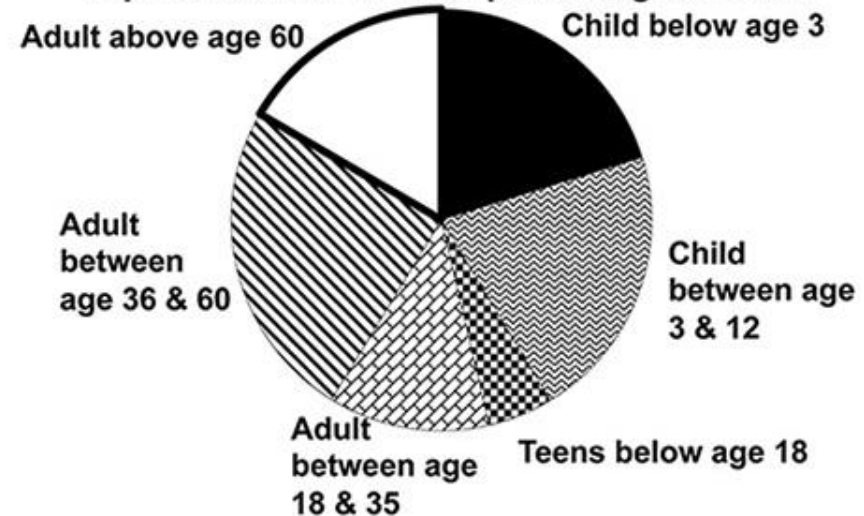
PERTINENCE MÉDICALE/APPLICATION CLINIQUE

Qui a un implant cochléaire en Suisse?

A) Age distribution of patients (n = 690)
implanted 1996–2003 as percentage of total.



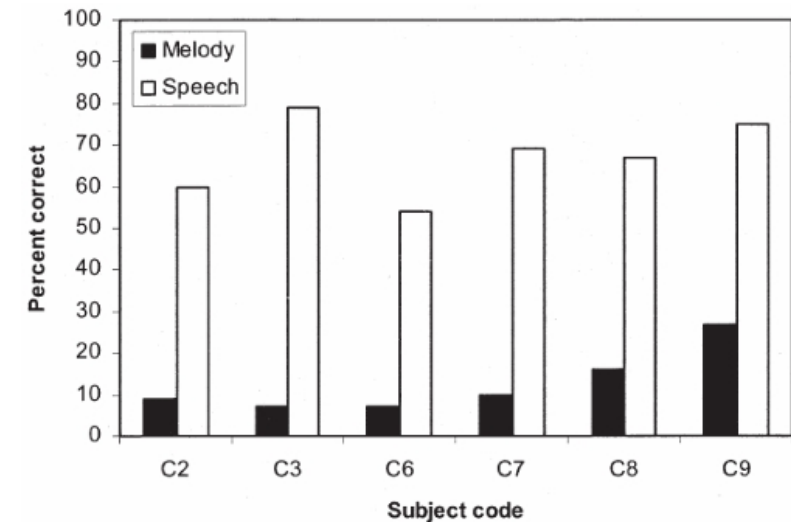
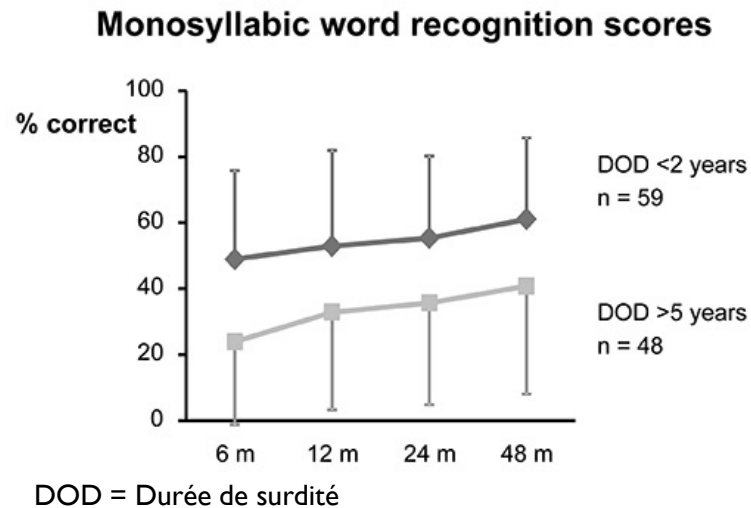
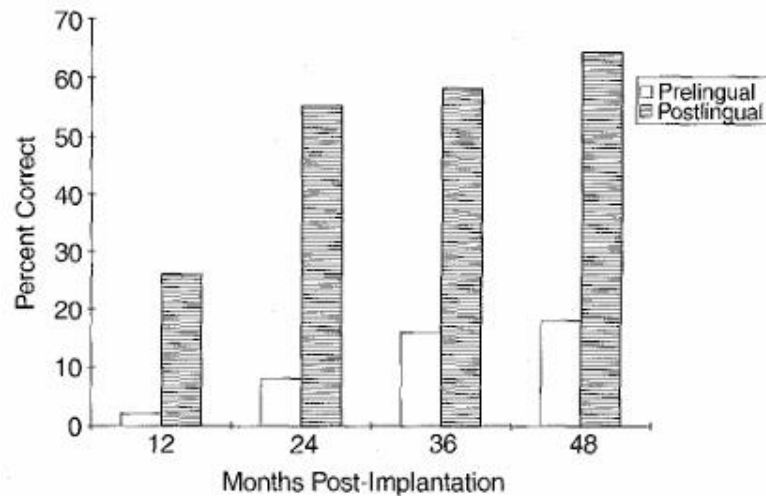
B) Age distribution of patients (n = 1,378)
implanted 2004–2012 as percentage of total.



Pour les enfants, plus la prise en charge est rapide, mieux c'est. (Avant 2ans)

PERTINENCE MÉDICALE/APPLICATION CLINIQUE

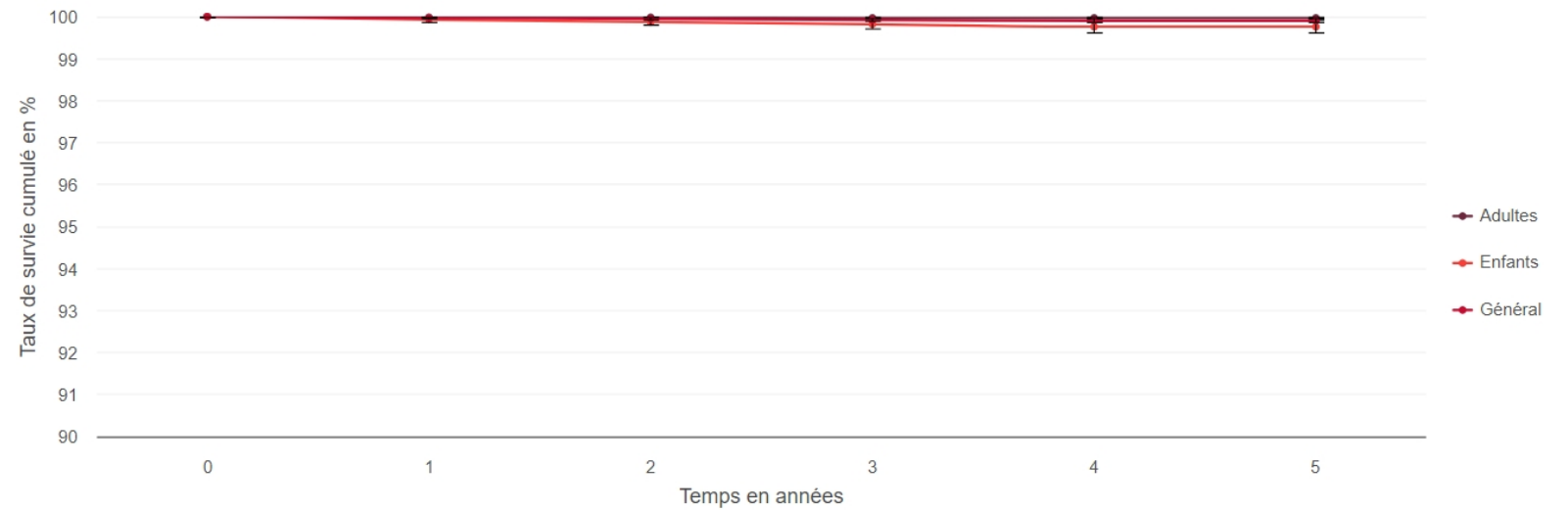
Est-ce que ça marche?



Difficultés à reconnaître la parole dans des environnements bruyants et à localiser les sons

PERTINENCE MÉDICALE/APPLICATION CLINIQUE

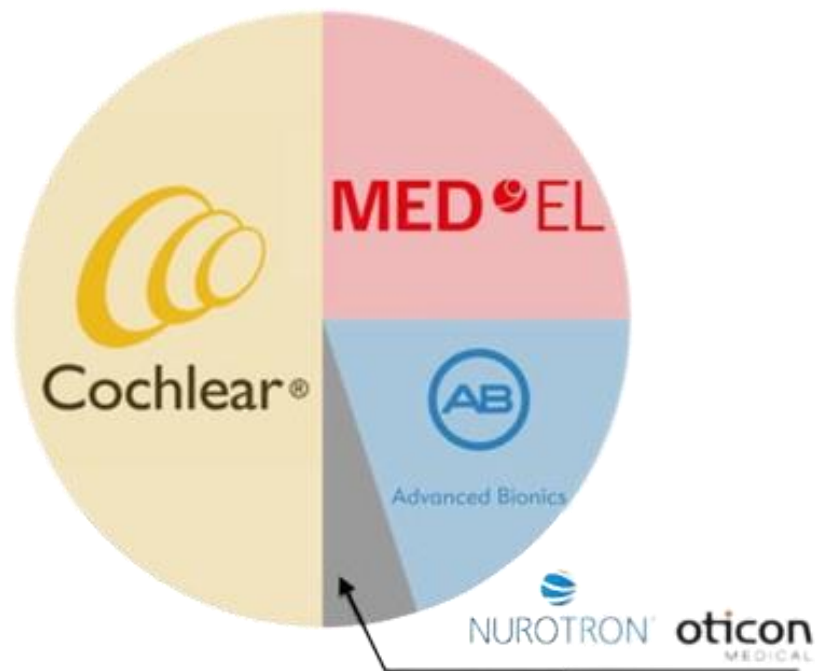
Est-ce fiable ?



ASPECT FINANCIER

Coûts d'un implant cochléaire : 20'000-30'000 € ou 30'000-50'000 \$

The One-Millionth Cochlear Implant



Cochlear® en 2024 : **1.3 milliards \$** seulement pour les ventes d'implants cochléaire
(hausse de 14% p.r. à 2023)

PERSPECTIVES FUTURES

- **Implant cochléaire entièrement implentable**
- **Encodage des structures fines**
- **Implants bilatéraux**

CONCLUSION

- Les implants cochléaires sont efficaces en cas de perte auditive neurosensorielle.
- Ils se composent de deux éléments : une partie externe qui capture, traite et transmet les sons à une partie interne qui transforme ces sons en signaux électriques transmis au nerf auditif.
- Les caractéristiques de l'implant peuvent être personnalisées en fonction des besoins individuels (type d'électrode, durée de vie de la batterie, conception, etc.).
- L'intervention chirurgicale présente peu de risques, bien que des séances de rééducation soient nécessaires pour une audition optimale.
- Le marché des implants cochléaires est déjà bien implanté et continue de se développer.
- Il existe encore de nombreuses possibilités d'améliorations pour les implants cochléaires à venir

MERCI POUR VOTRE
ATTENTION

Des
questions?

Slide 4 : Implant cochléaire

- **Définition** : Dispositif électronique médical pour restaurer l'audition.
 - **Cible** : Personnes avec perte auditive neurosensorielle sévère à profonde.
 - **Différence avec les aides auditives (amplifie les sons)** : L'implant contourne les parties endommagées de l'oreille interne et stimule directement le nerf auditif.
-

Slide 5 : Fonctionnement de l'audition

- **Oreille externe** : Capture et dirige les sons vers le tympan (pavillon et conduit auditif).
 - **Oreille moyenne** : Convertit les ondes sonores en vibrations mécaniques via le tympan et les transmet à l'oreille interne grâce aux osselets (marteau, enclume, étrier)
 - **Oreille interne** : Conversion des vibrations en signaux nerveux via la cochlée et stimule le nerf auditif.
 - **Objectif** : Explication détaillée de l'oreille interne à suivre.
-

Slide 6 : Détails de la cochlée : structure spirale remplie de fluide

- **Structure** : 3 canaux (scalas) : scala tympani, scala media, scala vestibuli.
 - **Membrane de Reissner** : Sépare scala vestibuli et scala media ; rôle dans la gestion des fluides, pas dans la conduction du son car trop fine
 - **Conduction du son** : Vibrations entrent via la fenêtre ovale, fluides se déplacent dans les canaux et font gonfler la fenêtre ronde, ce qui entraîne une vibration de la **membrane basilaire** près de la base de la cochlée, qui se propage.
 - **Membrane basilaire** : Sépare scala media et scala tympani, vibre pour générer une onde fluide qui parcourt la cochlée. Contient des fibres basilaires qui vibrent
-

Slide 7 : Vibrations et fréquences dans la cochlée

- **Fibres basilaires** : Plus courtes et rigides à la base vibrent mieux aux hautes fréquences -> résonance des hautes fréquences près de la base ; plus longues et flexibles au sommet, vibrent mieux aux basses fréquences -> résonance des basses fréquences près du sommet.

- **Propagation des ondes** : Courtes distances pour les hautes fréquences, longues distances pour les basses fréquences. Plus la fréquence est basse, plus la distance parcourue dans la cochlée est longue, énergie se dissipe lors de la résonnance.
 - **Importance** : Permet la discrimination des fréquences sonores.
-

Slide 8 : L'organe de Corti : organe récepteur de l'audition, génère les impulsions nerveuses en réponse à la vibration

- **Localisation** : Sur la membrane basilaire de la cochlée.
 - **Cellules ciliées** :
 - Internes (3500) : Détectent les sons, 90-95 % des fibres nerveuses cochléaires.
 - Externes (12 000) : rigidité modulées par le système nerveux pour ajuster la sensibilité des cellules internes. (Accordage)
 - **Mécanisme de détection** : Cils lié à la lamina réticulaire, une structure rigide, vibration des fibres basiliaires fait bouger la lamina réticulaire ce qui provoque un mouvement de cisaillement des cils : dans un sens dépolairise la cellule ciliée, l'hyperpolarise dans l'autre. Stimule les fibres nerveuses auditives associées aux cellules ciliées qui se dirigent vers le ganglion spiral de Corti, qui transmet les infos auditives au nerf auditif.
-

Slide 9 : Types de perte auditive

- **Neurosensorielle** : Dommages aux cellules ciliées de la cochlée ou au nerf auditif (génétique, traumatismes crâniens, bruit fort, vieillissement).
 - **Transmission** : Impossibilité de transmettre les sons à l'oreille interne (dommages ou obstructions dans l'oreille moyenne/externe).
 - **Mixte** : Combinaison des pertes sensorielle et de transmission.
 - **Implant cochléaire** : Pour la perte auditive neurosensorielle sévère ou totale, si le nerf auditif est fonctionnel. Il ne remplace pas la cochlée mais contourne les cellules ciliées non fonctionnelles via stimulation électrique.
-

Slide 10 : Composants de l'implant cochléaire

- **Partie externe** :

- Microphones pour capter le son environnant.
 - Processeur auditif pour traiter le son.
 - Antenne pour la transmission du signal à l'implant interne.
 - **Partie interne :**
 - Récepteur/stimulateur sous la peau.
 - Réseau d'électrodes inséré dans la cochlée.
 - **Schéma :** Les deux éléments sont tenus en place par un aimant. Présente l'architecture typique d'un implant cochléaire moderne, incluant les blocs fonctionnels et leur rôle.
 - **Fonctionnement :** Le son est capté, transformé en signal numérique, puis en signal RF envoyé à l'antenne. L'électrode stimule le nerf auditif, transmettant des informations au cerveau.
-

Slide 11 : Traitement et transmission du son

- **Microphone :** Capture du son environnant.
- **Processeur auditif :**
 - Filtrage et traitement des sons à travers plusieurs filtres passe-bande, puis on extrait l'enveloppe temporelle (variation lente de l'amplitude du signal de parole au fil du temps) de chaque bande. (Différentes méthodes : CIS, n-m, SPEAK) (rectification semi-onde ou rectification pleine onde, suivie d'un filtre passe-bas)
 - Compression logarithmique pour ajuster les amplitudes sonores à la plage dynamique électrique de l'implant.
 - Codage des structures spectrales et temporelles pour l'implant interne.
- **Transmission des données :** par fréquence radio
 - Connexion sans fil via un lien radio transcutané (bobines à induction magnétique). Infos envoyées : amplitude des impulsions et mode de stimulation. Sortie est un flux numérique binaire.
 - Transmission fiable grâce au codage par trames pour envoyer des paramètres de stimulation.
- **Transmission de puissance :** tjr par fréquence radio

- Partie interne non rechargeable, donc le système optimise l'efficacité de transmission de l'énergie.
 - Les bobines de transmission sont conçues pour maximiser l'efficacité énergétique tout en respectant des contraintes esthétiques. (Taille de la bobine à induction) (Efficacité de 40% de la transmission de puissance, mais vieux papier, aujourd'hui peut-être plus.)
-

Slide 12 : Puce ASIC et télémetrie

- **Puce ASIC** : Composant central : circuit intégré qui garantit une stimulation électrique sûre et fiable.
 - **Chemin avant** : Décodeur des signaux qui récupère les informations numériques du signal radio, contrôle d'erreur, envoi des paramètres de stimulation élec à la source de courant (Amplitude + localisation du courant)
 - **Source de courant** : Convertisseur numérique-analogique (DAC) et miroirs de courant pour générer le courant de stimulation et l'envoyer au réseau d'électrode au bon endroit au bon moment en fct des infos décodées reçues.
- **Télémetrie arrière** : Envoie des infos à l'unité externe, permet de vérifier l'état de l'unité interne (tension régulée/de conformité, impédance des électrodes, état des communications, les réponses neuronales etc.).
 - Mesure et surveillance des fonction critique pour s'assurer que le circuit interne fonctionne correctement et exécute les commandes de l'unité externe.

Conception à faible consommation d'énergie : Prolonge la durée de vie de la batterie.

Slide 13 : Réseau d'électrodes

- **Réseau d'électrodes** : Interface entre la sortie élec de l'implant et le nerf auditif.
 - **Stimulation des fréquences sonores** : Les électrodes transmettent un courant pour remplacer les signaux des cellules ciliées.
 - **Zone de stimulation** : Chaque fréquence sonore doit être stimulée à la zone appropriée de la cochlée.
 - **Objectifs de conception** :

- Longueur des porte-électrodes pour couvrir toute la cochlée (720°) et stimuler le max de gamme de fréquences. Électrodes plus courtes (450°) pour les gens avec encore une audition pour basse fréquences mais une perte sévère des hautes, stimulation acoustique et électrique, bruit plus mécanique. Défi d'implanter le réseau d'électrode sans endommager les parties tjr fonctionnelles de la cochlée.
- Matériaux biocompatibles (silicone médicale, polyuréthane, titane) pour minimiser les risques de rejet ou irritation. Réduction des dommages à la cochlée, résistance à l'usure et adaptabilité dans l'environnement complexe de la cochlée.

Slide 14 : Spécifications techniques

- **Plage de fréquence** : Varie de 70 Hz à 8500 Hz (peut atteindre jusqu'à 11500 Hz selon les modèles).
- **Durée de vie** :
 - Partie interne : théoriquement à vie, sauf en cas de défaillance.
 - Partie externe : nécessite des mises à jour ou remplacement tous les 5 à 7 ans en fct des avancées technologique ou de l'état du processeur.
- **Batterie** :
 - Piles à zinc : 60 heures d'autonomie.
 - Batteries rechargeables : autonomie de 19 à 40 heures, selon le modèle.
- **Contrôle des paramètres** : Peut être connecté à un ordinateur, une télécommande ou une application mobile pour personnaliser le traitement du son, les paramètres de l'implant.
- **Étanchéité** : Possibilité de protéger le processeur externe sous l'eau avec des pochettes étanches.

Slide 15 : Processus d'implantation cochléaire

1. **Évaluation** :
 - Indication : Pour les pertes auditives profondes ou sévères neurosensorielle, aucun traitement primaire, que des prothèses utiles

- Candidats : Les personnes ne pouvant pas bénéficier des aides auditives conventionnelles qui amplifie les sons.
- Bilan audiolgique, examens d'imagerie et évaluation des autres conditions médicales.

2. Implantation :

- Procédure chirurgicale simple (1-2 heures) sous anesthésie générale ou locale.
- Implantation sous la peau derrière l'oreille et insertion de l'électrode dans la cochlée.
- Récupération rapide, hospitalisation généralement d'un jour.

3. Activation :

- Après 4 semaines : activation du processeur pour la première fois par un spécialiste de l'audition (ORL).
- Ajustement des paramètres pour nos préférences auditives.

4. Rééducation :

- Essentielle pour s'adapter au son perçu par l'implant.
- Séances avec orthophonistes et exercices à domicile.

Slide 16 : Répartition par âge et résultats de l'implantation

- **Statistiques (Suisse) :** Montre l'évolution de la distribution de l'âge des gens avec un implant
 - Augmentation des implants cochléaires chez les moins de 3 ans.
- **Impact de l'implantation précoce chez les enfants** sourd prélingual :
 - Meilleurs résultats si implantation avant 2 ans (compétences linguistiques proches de celles des enfants entendants).
 - Moins bons résultats si implantation après 7 ans (difficulté à atteindre des compétences linguistiques similaires).

Slide 17 : Impact de l'âge d'apparition de la surdité sur les résultats de l'implantation cochléaire

- **Prélinguale vs. Postlinguale** : Les adultes et enfants ayant une surdité postlinguale (survenue après l'apprentissage du langage) ont de meilleurs résultats que ceux avec une surdité prélinguale ou congénitale. (Partie auditive du cerveau ne se développe pas pareil)
- **Facteurs influençant les résultats** : Âge d'apparition de la surdité, délai entre la surdité et l'implantation, durée d'utilisation de l'implant, type de signal sonore.
- **Impact du délai** : Plus le délai entre l'apparition de la surdité et l'implantation est long, moins les performances de l'implant sont bonnes. Exemple d'étude à Berne : meilleurs résultats pour ceux avec une surdité <2 ans par rapport à >5 ans. Longues périodes de surdité entraînent des changements morphologiques dans les zones auditives du cerveau.
- **Limites de l'implant** : Conçu principalement pour la parole, avec peu ou pas d'attention accordée aux autres sons environnementaux, y compris la musique -> mauvaise qualité de la perception musicale. Peu de problèmes pour les tâches liées au tempo/rythme mais l'implant ne fonctionne pas aussi bien pour les tâches liées aux indices de hauteur (pitch) du son.
 - Difficulté à reconnaître la parole dans des environnements bruyants.
 - Problèmes pour localiser les sons.

Slide 18 : Normes de fiabilité des implants cochléaires et sécurité

- **Norme ISO 5841-2:2014** : Obligations de fiabilité pour les implants cochléaires.
- **Approche à 360 degrés de fiabilité (MED-EL)** : Cinq domaines critiques de sécurité et fiabilité.
 - **Fiabilité de l'implant** : Inclut les données du fabricant et des cliniques.
 - **Stimulation sûre** : Exclut les courants nuisibles.
 - **Sécurité des électrodes** : Pas de dommages aux structures de la cochlée.
 - **Sécurité en IRM** : Permet des examens IRM sans besoin de chirurgie et sans gêne.
 - **Fiabilité du processeur audio** : Inclut les taux de réparation et stabilité du processeur.
- **Exemple** : Taux de survie de l'implant Synchrony 2 de MED-EL, fiabilité globale de 99,9% sur 5 ans.

Slide 19 : Coût des implants cochléaires et part de marché

- **Coût total** : Entre 30 000 et 50 000 \$ (20 000-30 000 euros), incluant le dispositif, la chirurgie et la rééducation. Prise en charge par l'assurance (selon le pays).
 - **Part de marché des fabricants** :
 - **Cochlear Limited** : 50% de part de marché.
 - **MED-EL** : 25%.
 - **Advanced Bionics** : 20%.
 - Autres fabricants (5% de part de marché) : Nurotron, Oticon, etc.
 - **Chiffres 2024** : Cochlear Limited a atteint 1.3 milliard de \$ en ventes d'implants cochléaires, augmentation de 14% par rapport à 2023. En hausse depuis 2020.
-

Slide 20 : Innovations et défis des implants cochléaires

- **Implants cochléaires entièrement implantables** : sans partie externe
 - Avantage : Meilleur confort et esthétique, pas d'éléments externes visibles.
 - Défi majeur : Développement d'un microphone sous-cutané fonctionnel sans interférence du bruit interne du corps
 - Aucun implant totalement interne n'est actuellement approuvé, mais des prototypes sont testés.
- **Encodage des structures fines** :
 - Décomposition du signal temporel à une position spécifique sur la membrane basilaire en deux informations : **enveloppe temporelle (ENV)** et **structure fine temporelle (SF)**.
 - L'ENV est caractérisée par la variation lente de l'amplitude du signal de parole au fil du temps, tandis que la SF correspond aux oscillations rapides ayant une fréquence proche de la fréquence centrale de la bande.
 - Avec les méthodes de traitements d'aujourd'hui, les implants cochléaires actuels imposent des fonctions de filtre passe-bas. Les signaux sont filtrés et leurs enveloppes détectées, ce qui entraîne une perte de la structure fine.

- ENV utile pour l'intelligibilité de la parole en silence (facilement dégradé avec du bruit), SF pour la perception dans le bruit, de la hauteur des sons.
 - Avec SF, meilleure perception de la parole en présence de bruit de fond ainsi que pour la perception de la hauteur des sons et de la mélodie.
 - Des tests sont déjà menés en utilisant la transformée de Hilbert durant le filtrage pour décomposer le son en gardant ENV et SF.
 - **Implants bilatéraux (deux implants) :**
 - Audition binaurale : amélioration de la localisation des sons et de la perception dans les environnements bruyants. (Effet ombre de tête)
 - Bénéfices psychophysiques mesurés dans les études.
 - Coût élevé (deux implants, deux chirurgies) : question de savoir si les bénéfices justifient les coûts.
-

Slide 21 : Conclusion générale sur les implants cochléaires

- **Efficacité** : Fonctionnent bien pour la perte auditive neurosensorielle.
- **Composants** :
 - Partie externe (capture, traitement et transmission du son).
 - Partie interne (conversion des données en signaux électriques pour le nerf auditif).
- **Personnalisation** : Paramètres ajustables (longueur d'électrode, réglages du processeur auditif, conception).
- **Chirurgie** : Intervention peu risquée, avec une rééducation nécessaire pour de bons résultats. Patients généralement satisfaits.
- **Marché** : Le marché des implants cochléaires est déjà établi et fructueux et continue de croître.
- **Améliorations futures** : De nombreuses possibilités d'innovations dans le domaine des implants cochléaires.