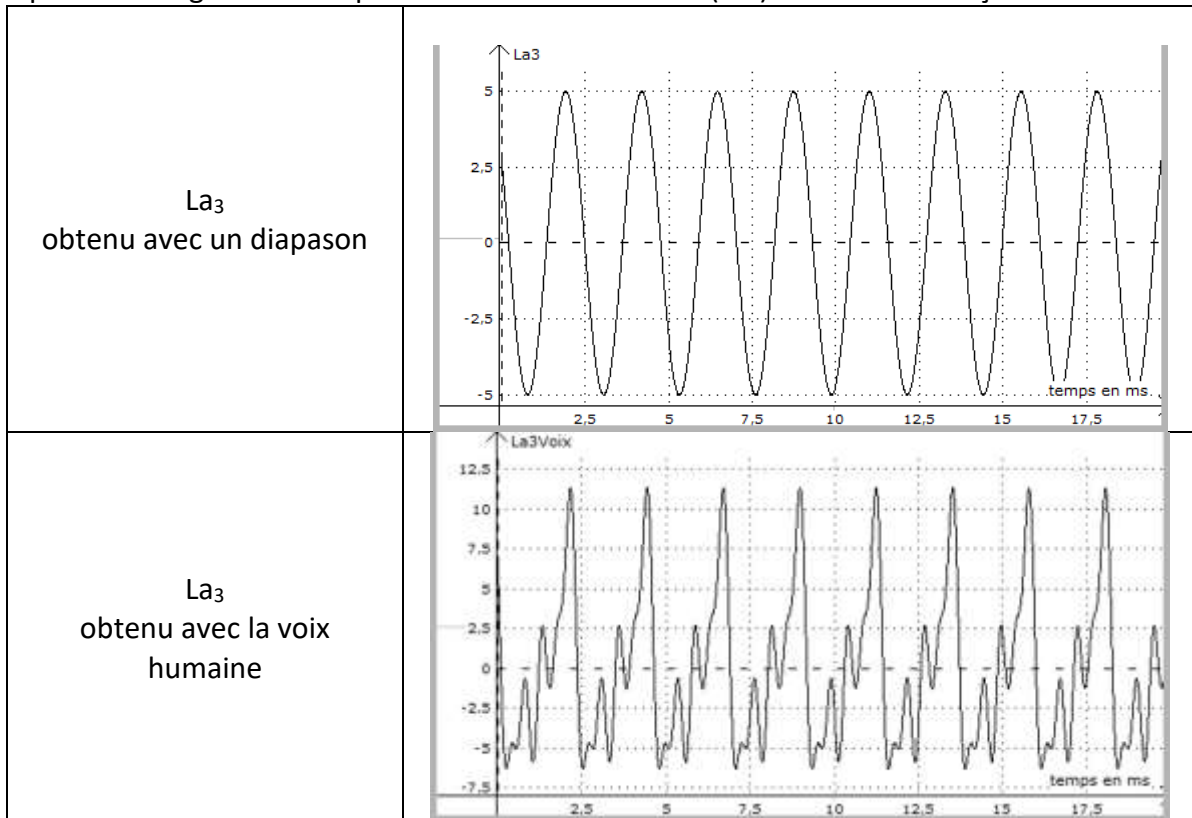


# Les sons musicaux – Analyse spectrale

## I. Timbre d'un son :

- Le timbre d'un son est la sensation auditive qui permet de différencier les sons de même hauteur produits par différents instruments, différentes voix ou différentes voyelles chantées.
- Comparons les signaux correspondant à une même note ( $La_3$ ) obtenus de 2 façons différentes



- Conclusion :

Les deux sont on la même période ( $T = 2,28 \text{ ms}$ ) ce qui correspond à la même fréquence  $F = \frac{1}{0,00228} = 439 \text{ Hz}$ . Comme ils ont la **même fréquence**, ils correspondent à une **note de même hauteur** : c'est le cas puisqu'il s'agit dans les deux cas du  $La_3$ .

Les deux sons ont des formes différentes. Ceci explique la **différence de « timbre »**, c'est-à-dire la différence de sensation sonore à l'écoute du son.

- Un son pur est le son produit par un diapason ; la forme du signal sonore est **sinusoïdale**
- Si la forme du signal sonore est périodique mais non sinusoïdale, on dit que le son est **complexe**.

## II. Analyse spectrale d'un son

- **Un son complexe périodique, de fréquence  $f$  peut être décomposé en une somme de sons purs sinusoïdaux appelés harmoniques**
- Les fréquences des harmoniques respectent la relation :  $f_n = nf$   
où  $n$  est un nombre entier correspondant au numéro de l'harmonique  
 $f$  est la fréquence du son

Ainsi :

$f_1 = f$  correspond à la fréquence de l'harmonique n°1 (aussi appelée « fondamentale »)

$f_2 = 2f$  correspond à la fréquence de l'harmonique n°2

$f_3 = 3f$  correspond à la fréquence de l'harmonique n°3

.....

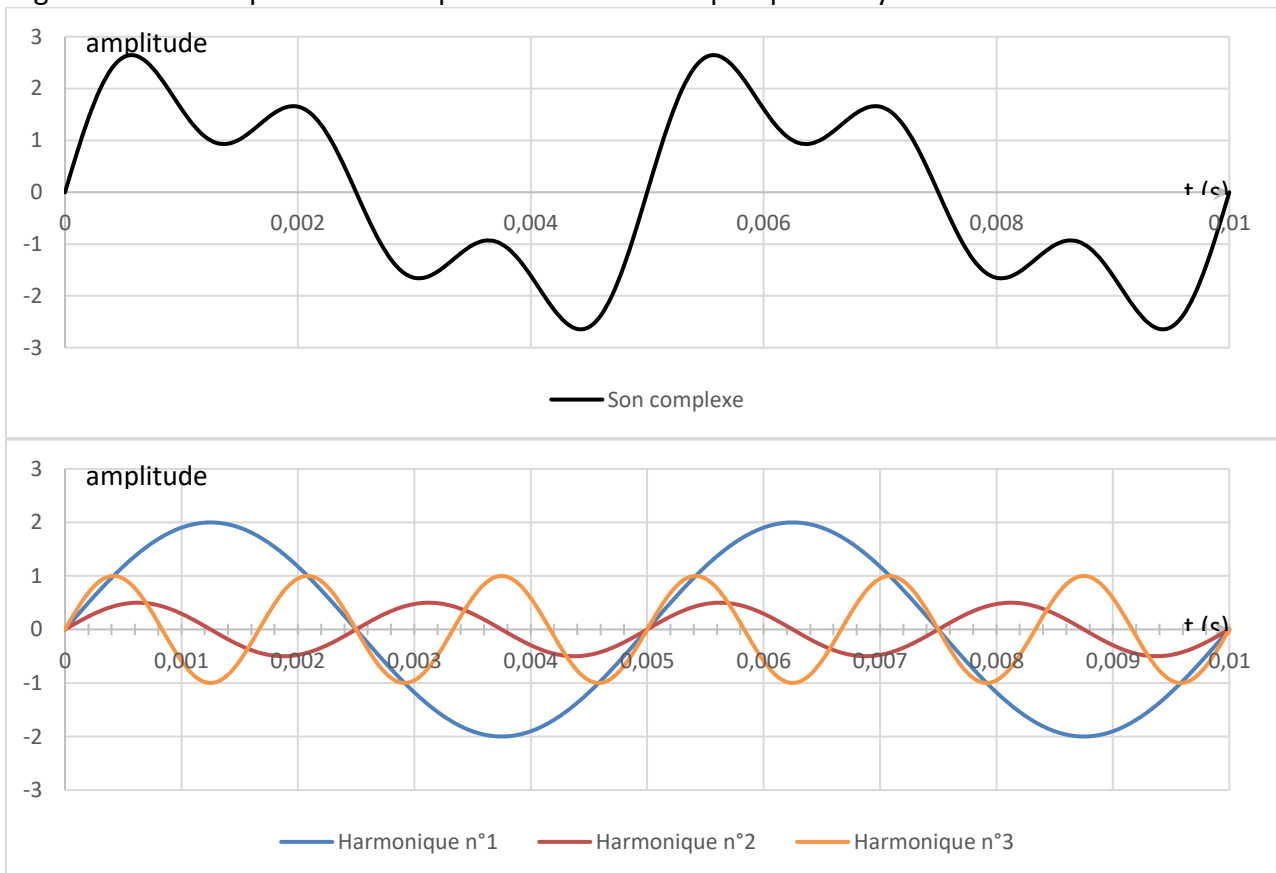
Remarque :

- La fréquence du son complexe est la même que celle de l'harmonique fondamentale
- Les harmoniques ont des fréquences qui sont des multiples de la fréquence fondamentale

<https://meettechniek.info/additional/additive-synthesis.html>

- Le spectre du son est la représentation graphique de l'amplitude de chaque harmonique :  
Il est obtenu en faisant une analyse spectrale du son complexe (obtenu par analyse de Fourier du son complexe, avec un logiciel)

- Signal sonore complexe + décomposition en harmoniques par analyse de Fourier :

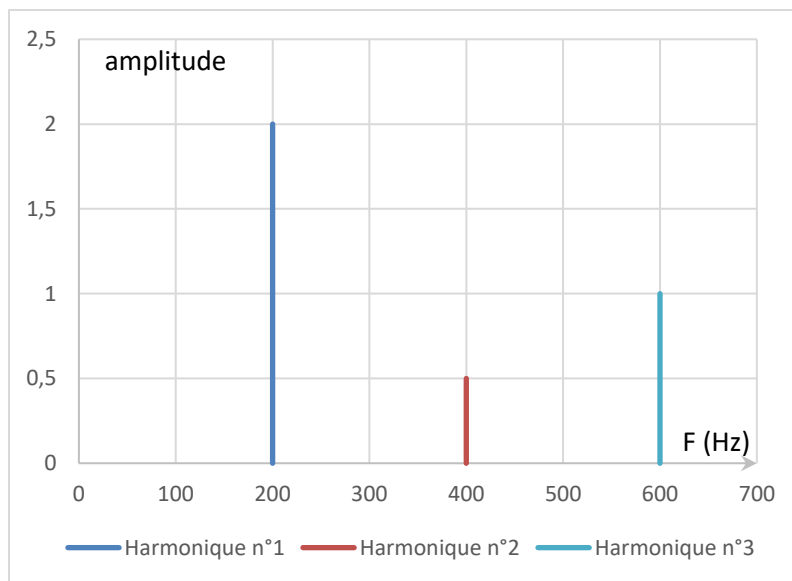


Remarque : à chaque instant :

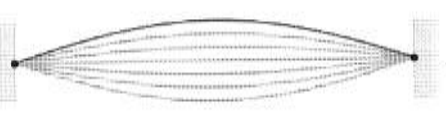
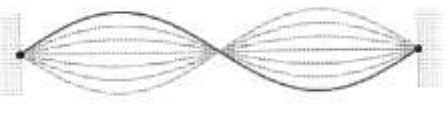
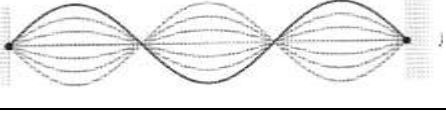
- amplitude du complexe = amplitude harmonique 1 + amplitude harmonique 2 + amplitude harmonique 3

A partir des graphes, on peut déterminer les fréquences et les amplitudes maximales de chaque signal :

- La période du son complexe est  $T = 0,005 \text{ s}$  ; sa fréquence est donc  $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0,005} = 200 \text{ Hz}$
  - La période de l'harmonique n°1 est  $T_1 = 0,005 \text{ s}$  ; sa fréquence est  $f_1 = \frac{1}{T_1} = 200 \text{ Hz} = f$   
Son amplitude est de 2
  - La période de l'harmonique n°2 est  $T_2 = 0,0025 \text{ s}$  ; sa fréquence est  $f_2 = \frac{1}{T_2} = 400 \text{ Hz} = 2f$   
Son amplitude est de 0,5.
  - La période de l'harmonique n°3 est  $T_3 = 0,00167 \text{ s}$  ; sa fréquence est  $f_3 = \frac{1}{T_3} = 600 \text{ Hz} = 3f$
- Spectre du signal : c'est le graphe qui représente de façon simplifiée les harmoniques présentes dans le son complexe. Chaque harmonique est représentée par un bâton :
- la fréquence de l'harmonique correspond à l'abscisse du bâton représentant l'harmonique
  - l'amplitude de l'harmonique correspond à la longueur du bâton



- Origine du timbre :  
Lorsqu'on pince, frotte ou frappe une corde d'un instrument, celle-ci se met à vibrer selon différents modes simultanés. Chacun des modes génère une vibration sinusoïdale de la corde correspondant à une harmonique :

Mode de vibration de la corde	Vibration sinusoïdale correspondante
	Harmonique n°1 de fréquence $f$
	Harmonique n°2 de fréquence $2f$
	Harmonique n°3 de fréquence $3f$

Les vibrations de la corde font vibrer l'air. Les vibrations de l'air sont plus ou moins amplifiées par la caisse de résonance de l'instrument. L'amplification dépend de la forme, des matériaux, de la taille... de la caisse de résonance.

Ces vibrations de l'air plus ou moins amplifiées correspondent aux harmoniques du son complexe généré.

### III. Application : analyse spectrale avec le logiciel audacity

- Téléchargement du logiciel Audacity : <http://pontonniers-physique.fr/20201ereEnsSci/audacity-win-2.4.2.exe>
- Utilisation simplifiée du logiciel Audacity (<https://www.youtube.com/watch?v=rGpjK210-TE>)

2. Cliquer ici pour arrêter l'enregistrement

1. Cliquer ici pour débuter l'enregistrement

1. Cliquer – glisser pour sélectionner une partie de l'enregistrement

2. Cliquer sur la loupe (+) pour zoomer sur la sélection

Les durées de début et fin de sélection sont affichées au bas de la fenêtre :

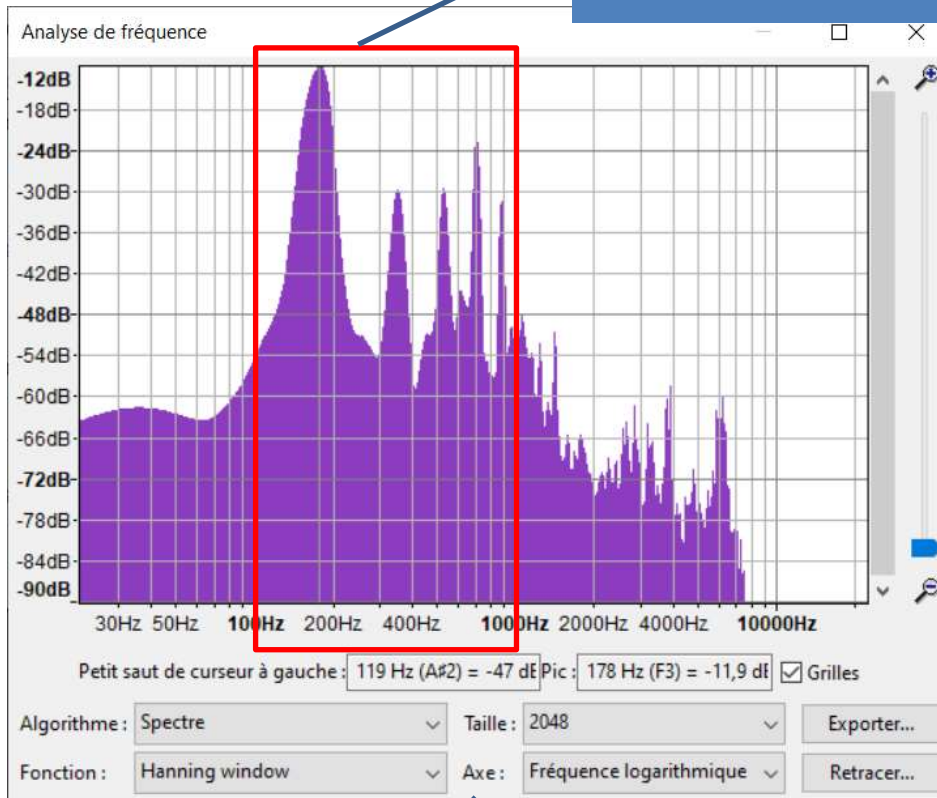
Début et fin de la sélection  
00 h 00 m 02.682 s | 00 h 00 m 02.891 s

Detailed description: This block contains two screenshots of the Audacity software interface. The top screenshot shows the transport and toolbars with blue callout boxes. One box points to the red record button with the text '1. Cliquer ici pour débuter l'enregistrement'. Another box points to the square stop button with the text '2. Cliquer ici pour arrêter l'enregistrement'. The bottom screenshot shows the audio waveform with a selection box. A blue callout box points to the selection with the text '1. Cliquer – glisser pour sélectionner une partie de l'enregistrement'. Another callout box points to the zoom-in magnifying glass icon with the text '2. Cliquer sur la loupe (+) pour zoomer sur la sélection'. Below the waveform, a blue bar contains the text 'Les durées de début et fin de sélection sont affichées au bas de la fenêtre :'. Below this bar is a screenshot of the 'Début et fin de la sélection' window showing the time range '00 h 00 m 02.682 s' to '00 h 00 m 02.891 s'.

Pour réaliser une analyse spectrale, sélectionner environ 0,5s puis Analyse / Tracer le spectre

Detailed description: This block shows a screenshot of the Audacity interface with the 'Analyse' menu open. The menu item 'Tracer le spectre...' is highlighted in blue. The background shows the audio waveform with a selection box. The menu options include: 'Ajouter / supprimer des greffons...', 'Contraste...', 'Tracer le spectre...', 'Marquer la saturation...', 'Trouveur de pulsation...', 'Trouveur de silence...', and 'Trouveur de son...'.

Pics de fréquence « musicalement »  
exploitable



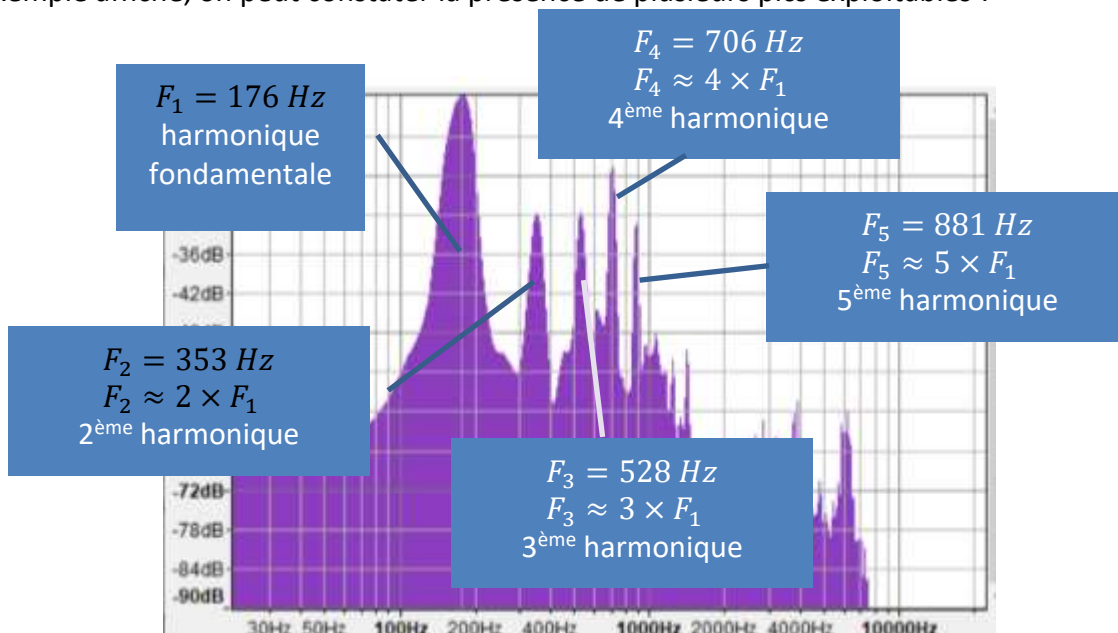
Options conseillées :

- Hanning window
- Taille (définit le nombre de pics) : < 2048 conseillé
- Axe logarithmique plutôt que linéaire

Pour connaître la fréquence associée à un pic :

- placer le curseur au sommet du pic
- la valeur « Pic » indique précisément la fréquence du sommet le plus proche

Dans l'exemple affiché, on peut constater la présence de plusieurs pics exploitables :



## Principe de l'échantillonnage de son :

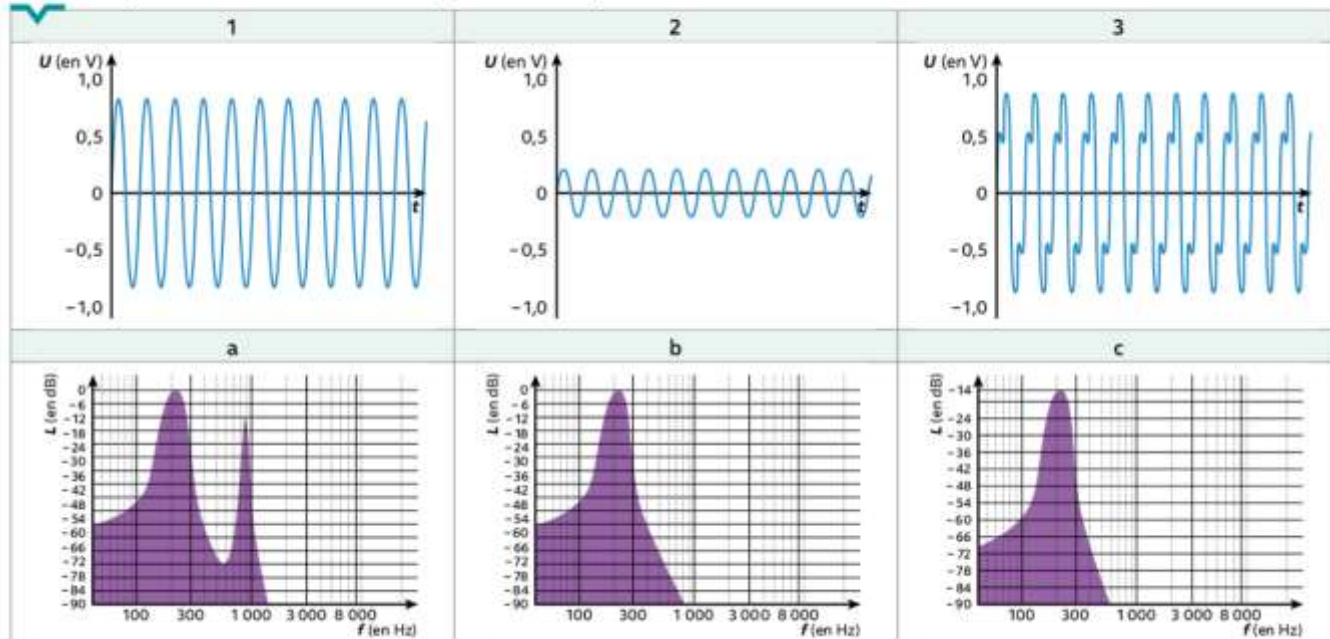
- Enregistrer un son (voix, une note chantée)
- Procéder à l'analyse spectrale avec Audacity selon le protocole spectrale donné ci-dessus
- Dans un fichier Excel, relever les fréquences des premières harmoniques (10 au maximum, entre 100Hz et 1000 Hz) ainsi que leur amplitude (en carreaux)
- Vérifier que les fréquences relevées sont bien des multiples de la fréquence fondamentale
- Recalculer les amplitudes de chaque fréquence par proportionnalité en attribuant la valeur 1 à l'harmonique la plus grande
- En utilisant le synthétiseur en ligne (voir lien ci-dessous), recréer le son  
<https://meettechnik.info/additional/additive-synthesis.html>

## IV. Exercices :

● Trois sons différents ont été enregistrés et analysés avec le logiciel Audacity.

▶ Associer chaque enregistrement à son spectre. Justifier les réponses.

### doc. Analyse de trois sons avec le logiciel Audacity



## 7 Technologies vocales

**OBJECTIFS** Exploiter des documents - Rédiger une argumentation scientifique.

● Les smartphones, les ordinateurs, les plateformes téléphoniques mais aussi la plupart des entreprises utilisent de plus en plus les technologies vocales, comme la reconnaissance vocale ou la reconnaissance automatique du locuteur.

▶ À l'aide des documents ci-dessous et en utilisant des connaissances, rédiger un paragraphe expliquant le fonctionnement des technologies vocales ainsi que les enjeux cruciaux liés à ces technologies pour les entreprises.

### a. Les technologies vocales dans les entreprises

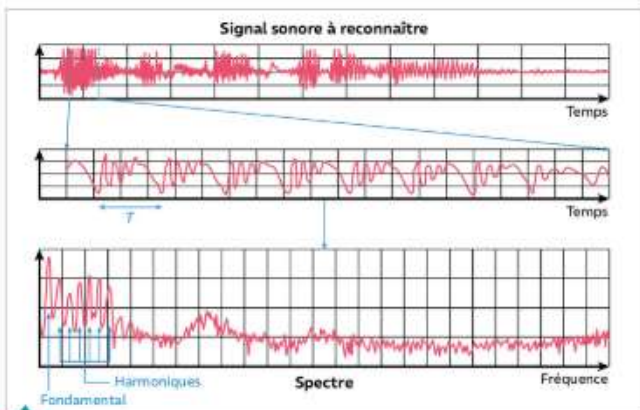
[Lire l'article en ligne](#)

85 % des entreprises veulent utiliser les technologies vocales pour communiquer avec leurs clients. Cela marque l'avènement de « l'économie conversationnelle », c'est-à-dire un écosystème où la voix devient la principale interface pour les clients. Cependant, bien que les chefs d'entreprise estiment que la technologie vocale stimulera les ventes, ils sont aussi très inquiets (80 %) à propos de la capacité des entreprises à conserver en sécurité les données acquises grâce à la technologie vocale. Vijay Balasubramanian, cofondateur de Pindrop, spécialisé dans la sécurité et l'authentification vocale, explique en effet : « L'économie conversationnelle au sens large, incluant la sécurité et l'identité des personnes, devient un enjeu central à mesure que son utilisation augmente. Si les entreprises ont l'intention d'utiliser la technologie vocale pour la majorité des interactions avec leurs clients dans un avenir proche, elles doivent également s'assurer que cette méthode d'interaction est aussi sûre que n'importe quelle autre. Actuellement, les contrôles biométriques peuvent être facilement trompés par une voix synthétisée, tandis que les numéros de téléphone qui seront utilisés pour intercepter les assistants virtuels peuvent être usurpés. Au fur et à mesure que l'utilisation des assistants à commande vocale augmente, des attaques suivront. Il apparaît ainsi crucial de lever les craintes des consommateurs relatives aux questions de sécurisation des données afin de donner un véritable essor à ces technologies ».

D'après relationsclientmag.fr.



b. Les technologies vocales dans notre quotidien



c. Principe de fonctionnement des technologies vocales



d. Assistant vocal