

# FREQUENCY COMPOSITION™ : UNE NOUVELLE APPROCHE DE L'ABAISSEMENT FRÉQUENTIEL

MARTIN KURIGER,  
INGÉNIEUR DSP

CHRISTOPHE LESIMPLE,  
AUDIOLOGISTE CLINIQUE

L'abaissement fréquentiel est connu depuis longtemps. Avec le temps, cette technique a toutefois évolué d'une approche controversée vers une approche de mieux en mieux acceptée. L'évolution de l'abaissement fréquentiel est l'un des sujets de cet article. Les autres sujets concernent son applicabilité dans le cas de zones mortes cochléaires et son potentiel pour une utilisation plus large. Cet article s'intéresse non seulement aux aspects techniques, mais aussi aux avantages audiolologiques. Par ailleurs, il décrit également de manière détaillée le nouveau système d'abaissement fréquentiel de Bernafon et son efficacité, telle qu'elle a été mise en évidence dans le cadre de tests internes.

Actuellement, la plage d'application de l'abaissement fréquentiel semble adaptée pour une population "avec des pertes auditives moins importantes."

## Nouveau potentiel

Les progrès techniques ont réactualisé le concept ancien d'" abaissement fréquentiel ". Ces dernières années, le nombre d'aides auditives avec abaissement fréquentiel a nettement augmenté. Cette tendance reflète un changement dans la perception de ses avantages.

Par le passé, les techniques d'abaissement fréquentiel étaient considérées comme adéquates principalement pour les surdités sévères à profondes. Actuellement, la plage d'application de l'abaissement fréquentiel semble adaptée pour une population " avec des pertes auditives moins importantes " (McDermott, 2010, para. 1). La raison à cela est que l'abaissement fréquentiel augmente la bande passante perçue par le patient.

Les systèmes d'abaissement fréquentiel sont anciens, comme le confirme Bentler (2010) : " Le concept n'est pas nouveau – mais le potentiel l'est " (para. 1). Elle base ses espoirs sur de nouvelles possibilités de traitement numérique du signal. Compte tenu de leur disponibilité, les systèmes d'abaissement fréquentiel offrent un nouveau potentiel pour compenser des pertes auditives dans les hautes fréquences.

## Une alternative pour les cas de zones mortes cochléaires

Bentler (2010) relève également que " les sons dans les hautes fréquences, qui contiennent une grande partie des informations pour la discrimination et la clarté de la parole, sont souvent les moins audibles pour les personnes présentant une perte auditive " (para. 2). Normalement, il est possible de restaurer l'audibilité au moyen d'aides auditives. Dans certains cas, toutefois, l'amplification dans les hautes fréquences n'apporte que des avantages limités. Ce phénomène a été l'objet d'une étude, sur la base de laquelle Vickers, Moore et Baer (2001) concluent : " Le facteur clé est la présence ou l'absence de zones mortes dans les hautes fréquences " (p. 1172).

Le terme de " zone morte " date d'une publication de Moore, Glasberg et Vickers (1996). Il désigne une zone de la membrane basilaire dans laquelle les cellules ciliées et/ou neurones ne fonctionnent plus. Concernant les zones mortes, Vickers et al. (2001) détaillent leurs observations comme suit : " Les patients sans zone morte dans les hautes fréquences vont généralement profiter d'une amplification des hautes fréquences, alors que les patients avec une zone morte ne vont généralement pas en profiter " (p. 1172).

Les zones mortes ont par conséquent un impact important. Non seulement elles entraînent la perte d'informations essentielles et rendent plus difficile la compréhension de la parole et la perception de certains sons de l'environnement, mais elles limitent également les bénéfices d'une amplification par les aides auditives. Dans un tel cas, l'espoir réside dans une approche alternative : l'abaissement fréquentiel.

Il s'agit de prendre les sons dans les hautes fréquences qu'un patient ne peut pas entendre et de les reproduire à une fréquence plus basse, que le patient est toujours en mesure d'entendre.

## L'évolution de l'abaissement fréquentiel

Les chercheurs ont rapidement réalisé que l'abaissement fréquentiel permettrait de résoudre le problème des zones mortes. Cette approche est logique. Il s'agit de prendre les sons dans les hautes fréquences qu'un patient ne peut pas entendre et de les reproduire à une fréquence plus basse, que le patient est toujours en mesure d'entendre. De cette manière, ces sons deviennent à nouveau audibles.

Les premières tentatives pour développer un système utilisable datent des années 1960. A ce moment, toutefois, la technologie n'était pas suffisamment avancée. Braida et al. (1979) avaient conclu : " A quelques rares exceptions près, les résultats des recherches antérieures sur l'abaissement fréquentiel ont été négatifs " (p. 108).

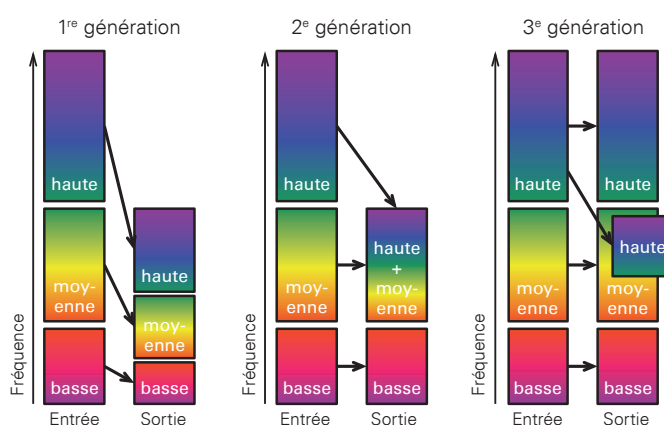


Figure 1 : Différents systèmes d'abaissement fréquentiel – un exemple par génération

Quelques décennies plus tard, l'avènement des aides auditives numériques a suscité une nouvelle vague d'intérêt. Pour la première fois, il devenait possible d'offrir sur le marché un abaissement fréquentiel dans un contour d'oreille. Cela a conduit à une multiplication des efforts des chercheurs, qui ont développé de nombreux systèmes d'abaissement fréquentiel.

Comme le montre schématiquement la figure 1, on constate trois étapes dans l'évolution de ces systèmes :

1. Les systèmes de la première génération (années 1990) comprennent tous les éléments du signal sur toutes les fréquences : basses, moyennes et hautes.  
Désignation type : compression fréquentielle linéaire.
2. Les systèmes de la deuxième génération (années 2000) sont caractérisés par deux propriétés :
  - I. Ils comprennent les éléments du signal seulement dans les fréquences moyennes et hautes.
  - II. Ils laissent un vide dans les hautes fréquences.
Désignation type : compression fréquentielle non-linéaire.

Les systèmes de la troisième génération conservent les éléments du signal dans les hautes fréquences à l'emplacement d'origine.

3. Les systèmes de la troisième génération (années 2010) présentent trois propriétés :

- I. Ils abaissent les éléments du signal seulement dans les hautes fréquences.
- II. Ils conservent les éléments du signal dans les hautes fréquences à l'emplacement d'origine.
- III. Ils superposent les éléments abaissés du signal à ceux à l'emplacement cible.

Désignation type : fonction d'identification spectrale.

L'expérience acquise avec les systèmes d'abaissement fréquentiel a amélioré la compréhension de ses subtilités. Par exemple, autrefois, l'accent a été mis sur l'efficacité, alors que le maintien de la qualité sonore a gagné en importance, au fil des ans. En fait, les systèmes de première génération n'ont pas répondu aux attentes parce qu'ils intervenaient sur les basses fréquences et dégradaient ainsi la qualité sonore générale.

Un autre aspect est constitué par le traitement des hautes fréquences. Vickers et al. (2001), par exemple, ont écrit : " Pour un patient avec une zone morte dans les hautes fréquences, la réduction de l'amplification dans les hautes fréquences est susceptible d'apporter plusieurs avantages " (p. 1174). A l'inverse, Cox, Johnson et Alexander (2012) " recommandent de ne pas limiter l'amplification des hautes fréquences uniquement parce qu'un patient a des zones mortes cochléaires sur une ou deux hautes fréquences " (p. 14).

Ce débat reflète l'existence de deux risques opposés : d'un côté, des effets indésirables dans le cas de zones mortes, de l'autre, la perte d'éléments du signal dans le cas d'une audition résiduelle. Ce débat explique également le passage des systèmes de la deuxième à la troisième génération, autrement dit de la suppression à la conservation du signal dans les hautes fréquences. Actuellement, l'idéal semble être de proposer une solution flexible dans le logiciel d'adaptation. Une telle option vous permet, en tant qu'audioprothésiste, d'adapter le système en fonction des besoins du patient.

### Effet technique et avantages audiolologiques

L'effet technique de l'abaissement fréquentiel est facile à vérifier. En revanche, il n'est pas aisé de vérifier les avantages audiolologiques. Les équipements de mesure actuels, p.ex. Audioscan Verifit, vous permettent, certes, de mesurer l'amélioration de l'audibilité des sons dans les hautes fréquences de manière objective dans l'oreille du patient. Toutefois, une meilleure audibilité n'implique pas nécessairement une meilleure compréhension de la parole. Le patient peut trouver le signal acoustique " bizarre " en raison du déplacement de certains éléments du signal. Ces éléments du signal peuvent également distordre ou masquer des éléments de la parole dans des fréquences moins élevées. Au lieu d'apporter les avantages espérés, l'abaissement fréquentiel peut, ainsi, s'avérer défavorable.

De nombreuses études ont confirmé le potentiel de ces techniques pour améliorer la compréhension de la parole.

Les avantages audiologiques des techniques d'abaissement fréquentiel ont fait l'objet de nombreuses études. Dans une certaine mesure, ces études ont produit des résultats inégaux. Globalement, toutefois, elles ont confirmé le potentiel de ces techniques pour améliorer la compréhension de la parole dans des environnements calmes. Cette amélioration est due principalement à une meilleure reconnaissance des consonnes fricatives et affriquées (Simpson, Hersbach et McDermott, 2005 ; Robinson, Baer et Moore, 2007 ; Glista et al., 2009). Dans une étude ultérieure, Bohnert, Nyffeler et Keilmann (2010) ont constaté des avantages de l'abaissement fréquentiel même pour la compréhension de la parole dans des environnements sonores bruyants.

Ces études soulèvent quelques aspects récurrents :

- Les avantages de l'abaissement fréquentiel sont variables : certains patients en profitent beaucoup, d'autres pas du tout.
- L'abaissement fréquentiel implique la recherche d'un compromis entre amélioration de la compréhension de la parole et une dégradation acceptable de la qualité sonore.
- En ce qui concerne la compréhension de la parole, l'abaissement fréquentiel présente des propriétés contrastées : utile pour les sons non voisés, mais potentiellement défavorable pour les sons voisés.
- Le son modifié d'un signal abaissé fréquemment demande une certaine acclimatation.

Ces deux derniers aspects sont liés au mode de fonctionnement du système : fixe ou adaptatif. L'objectif du mode adaptatif est de s'appliquer uniquement aux sons non voisés, sans toucher aux sons voisés. De cette manière, le mode adaptatif cherche à éviter une dégradation du son. Toutefois, en raison des changements permanents, l'acclimatation au mode adaptatif peut s'avérer plus difficile qu'au mode fixe.

Pour résumer, si vous recherchez un système d'abaissement fréquentiel, il faut considérer les points suivants :

- Pour conserver la qualité sonore, les éléments du signal d'une fréquence inférieure à 1,5 kHz doivent être maintenus inchangés.
- L'amplification dans les hautes fréquences doit être maintenue constante – à moins que le patient tire avantage d'une atténuation.
- L'acclimatation est plus aisée dans le mode fixe que dans le mode adaptatif.
- Les tests de compréhension de la parole montrent dans quelle mesure un patient profite de l'abaissement fréquentiel et s'y accommode.

### **La Frequency Composition™ – une approche de troisième génération**

La Frequency Composition™ est l'approche de Bernafon en matière d'abaissement fréquentiel. En tant qu'approche de troisième génération, la Frequency Composition™ conserve les éléments du signal dans les hautes fréquences à leur emplacement d'origine et superpose les

La Frequency Composition™ permet à une partie importante de l'énergie des fricatives d'apparaître à l'emplacement cible, tout en réduisant au minimum les effets défavorables sur les voyelles.

éléments déplacés du signal sur ceux de l'emplacement cible. En conservant les hautes fréquences, la Frequency Composition™ conserve aussi la bande passante de 10 kHz des aides auditives, ce qui contribue à maintenir la qualité sonore.

La Frequency Composition™ est gérée par le logiciel d'adaptation Oasis. Oasis offre une grande souplesse dans la configuration de la Frequency Composition™. En complément au réglage par défaut, Oasis vous permet de réduire l'amplification des hautes fréquences, si nécessaire. Oasis vous permet également de réduire l'intensité des éléments de signal déplacés, et par conséquent de réduire ou d'augmenter graduellement l'effet sur l'abaissement fréquentiel.

Dans une première étape, Oasis analyse l'audiogramme du patient et détermine les candidats pour la Frequency Composition™. Ensuite, il détermine les choix individuels concernant les gammes de fréquence source et cible. La procédure de sélection des candidats est basée sur des principes bien établis (Baer, Moore et Kluk, 2002 ; Vinay et Moore, 2007 ; Salorio-Corbetto, Baer et Moore, 2012). Pour les patients non sélectionnés, Oasis vous permet malgré tout d'activer la Frequency Composition™ manuellement.

La sélection de la gamme de fréquence source tient également compte des propriétés du signal. La Frequency Composition™ exploite notamment les différences spectrales des consonnes fricatives (spectre montant) par rapport aux voyelles (spectre descendant). La Frequency Composition™ permet ainsi à une partie importante de l'énergie des fricatives d'apparaître à l'emplacement cible, tout en réduisant au minimum les effets défavorables sur les voyelles. De cette manière, la Frequency Composition™ conserve la qualité sonore, tout en favorisant l'acclimatation par son mode fixe.

Ce qui est important, en fin de compte, c'est la manière dont ces propriétés sont traduites en bénéfices. De ce point de vue, l'abaissement fréquentiel soulève trois questions :

1. Le système améliore-t-il la discrimination des phonèmes avec des composantes dans les hautes fréquences ?
2. Conserve-t-il la qualité sonore ?
3. La sélection des candidats fonctionne-t-elle de manière fiable ?

Pour la Frequency Composition™, la réponse aux trois questions est oui. Les résultats de tests internes sont illustrés en figure 2.

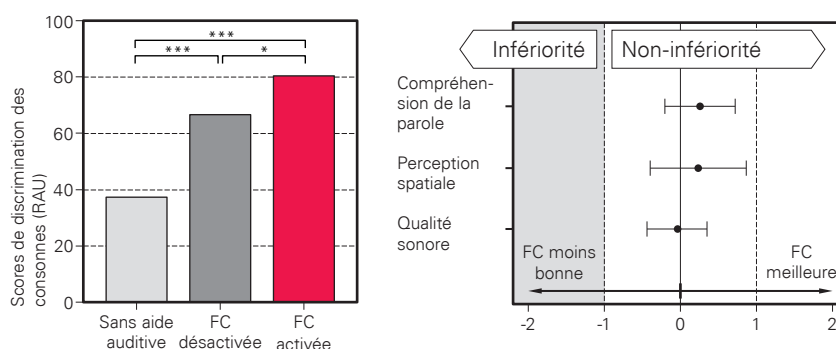


Figure 2 : Résultats du test sur la Frequency Composition™ (FC) ; a) test de discrimination des consonnes, b) évaluations SSQ

La Frequency  
Composition™  
améliore la  
discrimination des  
phonèmes avec des  
composantes dans les  
hautes fréquences.

### Amélioration de la discrimination des phonèmes de haute fréquence

La figure 2a montre les résultats d'un test de discrimination de consonnes basé sur des logatomes. Les logatomes ont une structure voyelle-consonne-voyelle (VCV). Les consonnes utilisées dans ce test sont les fricatives non voisées /s/, /f/ et /ʃ/ ainsi que l'affriquée /ts/. La combinaison des quatre consonnes avec les trois voyelles /a/, /u/ et /i/ produit douze logatomes différents. Ceux-ci génèrent, à leur tour, une liste de 24 unités de test lorsqu'ils sont prononcés par un homme et une femme.

Les scores de reconnaissance de la figure 2a ont été recueillis chez 13 sujets présentant une surdité neurosensorielle. Leur perte auditive moyenne dans les hautes fréquences était de  $81,1 \pm 9,1$  dB HL. Avec ce degré de surdité, tous les sujets étaient candidats à l'abaissement fréquentiel, selon le logiciel d'adaptation Oasis.

Ce test a été conduit dans trois conditions : sans aide auditive, avec aide auditive sans Frequency Composition™ et avec aide auditive et Frequency Composition™ activée. L'objectif de ce test était d'obtenir des scores de discrimination bruts en pourcentage. Ces scores ont ensuite été adaptés par une transformée trigonométrique (Rationalized Arcsine Unit RAU), une méthode permettant d'utiliser les statistiques inférentielles avec des pourcentages (Studebaker, 1985).

Comme le montre la figure 2a, les scores de discrimination augmentent entre les conditions sans aide auditive et aide auditive avec Frequency Composition™ désactivée, puis entre les conditions appareillé sans Frequency Composition™ et appareillé avec Frequency Composition™ activée. De plus, l'analyse statistique montre que les différences entre les conditions appareillé et non appareillé ainsi que les différences entre appareillé avec et sans Frequency Composition™ sont statistiquement significatives. Sur la base de ces résultats, on peut conclure que la Frequency Composition™ améliore la discrimination des phonèmes avec des composantes dans les hautes fréquences.

### Conservation de la qualité sonore

La figure 2b montre le résultat d'une étude utilisant le questionnaire "Speech, Spatial and Qualities of Hearing" (SSQ) (compréhension de la parole, perception spatiale et qualité sonore) (Gatehouse et Noble, 2004). Cette étude a porté sur 14 participants, dont la moitié ont également participé au test de discrimination. Ces participants étaient donc candidats pour la Frequency Composition™, selon le logiciel Oasis. À l'inverse, les autres participants à cette étude n'étaient pas candidats en raison de pertes auditives moins importantes dans les hautes fréquences.

Cette étude a été réalisée avec un plan d'étude croisé en simple aveugle. Répartis aléatoirement en deux groupes, la moitié des participants à l'étude ont d'abord utilisé une aide auditive RITE avec Frequency Composition™ désactivée, l'autre moitié avec Frequency Composition™ activée. Après trois semaines, ils ont complété un questionnaire SSQ. Les deux

La Frequency  
Composition™  
conserve la qualité  
sonore.

groupes ont alors reçu des traitements inversés durant trois semaines supplémentaires. Après cette deuxième période d'essai, les participants ont à nouveau complété un questionnaire SSQ. Les différences entre les deux évaluations sont illustrées pour chaque catégorie en figure 2b.

La figure 2b montre les différences moyennes pour les critères compréhension de la parole, perception spatiale et qualité sonore. Les différences sont à chaque fois proches de zéro et l'intervalle de confiance de 95 % est compris dans une marge de  $\pm 1$  unité. Si l'on compare ces différences sur l'échelle de dix unités utilisée par le test SSQ, on obtient avec une analyse de non-infériorité un résultat significatif qui nous permet d'affirmer: la Frequency Composition™ conserve la qualité sonore.

#### **Fiabilité de la sélection des candidats**

A ce stade, ce qu'il reste à établir est la fiabilité de la sélection des candidats. Pour qu'une procédure de sélection soit fiable, elle doit faire la distinction entre les patients qui sont davantage susceptibles de tirer profit et ceux qui le sont moins, autrement dit, entre les candidats et les non-candidats. Comme nous l'avons vu précédemment, les candidats ont bénéficié d'une amélioration significative dans le test de discrimination des phonèmes avec des composantes dans les hautes fréquences. Les non-candidats ayant effectué le même test ont également obtenu des résultats élevés, mais avec une amélioration moins importante. Ce résultat supporte la conclusion suivante : la sélection des candidats fonctionne de manière fiable.

#### **Frequency Composition™ – une technologie mûre, à votre disposition**

Le temps et la technologie ont fait de l'abaissement fréquentiel un système efficace pour traiter les déficiences auditives sévères à profondes dans les hautes fréquences. Le système de Frequency Composition™, en particulier, a montré sa capacité à sélectionner les patients adéquats et à leur apporter des avantages significatifs. Parallèlement, on a également pu montrer que la Frequency Composition™ conserve la qualité sonore. Par conséquent, à chaque fois que vous avez affaire à des candidats potentiels, prenez en compte la possibilité d'utiliser la Frequency Composition™, disponible dans les aides auditives Bernafon Acuva 9 | 7.



## Bibliographie

- Baer, T., Moore, B. C. J., & Kluk, K. (2002). Effects of lowpass filtering on the intelligibility of speech in noise for people with and without dead regions at high frequencies. *Journal of the Acoustical Society of America*, 112, 1133–1144.
- Bentler, R. (2010). Frequency-lowering hearing aids: verification tools and research needs. *The ASHA Leader*. Retrieved December 18, 2012, from <http://www.asha.org/Publications/leader/2010/100406/Frequency-Lowering-Hearing-Aids.htm>
- Bohnert, A., Nyffeler, M., & Keilmann, A. (2010). Advantages of a non-linear frequency compression algorithm in noise. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology*, 267(7), 1045–1053.
- Braida, L. D., Durlach, N. L., Lippmann, R. P., Hicks, B. L., Rabinowitz, W. M., & Reed, C. M. (1979). Hearing aids—a review of past research on linear amplification, amplitude compression, and frequency lowering. *ASHA Monographs*, 19 (Chapter IV, 87–113).
- Cox, R. M., Johnson, J. A., & Alexander, G. C. (2012). Implications of high-frequency cochlear dead regions for fitting hearing aids to adults with mild to moderately severe hearing loss. *Ear and Hearing*, 33(5), 573–587.
- Gatehouse, S., & Noble, W. (2004). The speech, spatial and qualities of hearing scale (SSQ). *International Journal of Audiology*, 43(2), 85–99.
- Glista, D., Scollie, S., Bagatto, M., Seewald, R., Parsa, V., & Johnson, A. (2009). Evaluation of nonlinear frequency compression: clinical outcomes. *International Journal of Audiology*, 48(9), 632–644.
- McDermott, H. (2010). The benefits of nonlinear frequency compression for a wide range of hearing losses. *Audiology Online*. Retrieved December 18, 2012, from <http://www.audiologyonline.com/articles/benefits-nonlinearfrequency-compression-for-867>
- Moore, B. C. J., Glasberg, B. R., & Vickers, D. A. (1996). Factors influencing loudness perception in people with cochlear hearing loss. In B. Kollmeier (Ed.), *Psychoacoustics, speech and hearing aids*. Singapore: World Scientific.
- Robinson, J. D., Baer T., & Moore, B. C. J. (2007). Using transposition to improve consonant discrimination and detection for listeners with severe high-frequency hearing loss. *International Journal of Audiology*, 46(6), 293–308.
- Salorio-Corbetto, M., Baer, T., & Moore, B. C. J. (2012). *Aiding consonant identification with frequency-compression hearing aids for listeners with high-frequency cochlear dead regions*. Poster presented at the International Hearing Aid Research Conference, Lake Tahoe.
- Simpson, A., Hersbach, A. A., & McDermott, H. (2005). Improvements in speech perception with an experimental nonlinear frequency compression hearing device. *International Journal of Audiology*, 44(5), 281–292.
- Studebaker, G. A. (1985). A 'rationalized' arcsine transform. *Journal of Speech and Hearing Research*, 28, 455–462.
- Vickers, D. A., Moore, B. C. J., & Baer, T. (2001). Effects of lowpass filtering on the intelligibility of speech in quiet for people with and without dead regions at high frequencies. *Journal of the Acoustical Society of America*, 110, 1164–1175.
- Vinay, S. N., & Moore, B. C. J. (2007). Prevalence of dead regions in subjects with sensorineural hearing loss. *Ear and Hearing*, 28(2), 231–241.

### Siège principal

#### Suisse

Bernafon AG  
Morgenstrasse 131  
3018 Berne  
Téléphone +41 31 998 15 15  
Fax +41 31 998 15 90

**bernafon**   
Your hearing • Our passion