

CHAPITRE 2. INFLUENCE DU MILIEU NATUREL

2.1. Introduction

Les populations ayant développé des systèmes linguistiques ayant une forme sifflée vivent presque tous dans des zones montagneuses et des forêts denses. Pour les très rares peuples vivant dans des plaines non boisées et qui ont tout de même une adaptation sifflée de leur langue, cette dernière est peu pratiquée pour la conversation quotidienne²⁰.

Dans les forêts, l'isolement en termes de contact visuel doit être vaincu pour permettre à des groupes de se déplacer sans se perdre. Dans ce cadre le cri aigu pourrait très bien faire l'affaire et il est parfois pratiqué comme nous avons pu l'observer chez les femmes Boras d'Amazonie. Mais il est mal adapté pour des chasseurs de gibier ou pour des pêcheurs, car il ne permet pas de se fondre dans les bruits de la faune locale. Le sifflement passe plus inaperçu en raison de la grande diversité des chants sifflés d'oiseaux de ces milieux naturels dont certains sont très proches du sifflement humain. D'autre part, comme nous le verrons ici, le sifflement est bien adapté à la propagation dans les forêts. L'effort des individus est donc optimisé face à la haute probabilité du signal de se réfléchir à la rencontre des obstacles physiques et donc de subir une déperdition d'énergie sonore (voir Figure 2) et un phénomène de réverbération²¹.

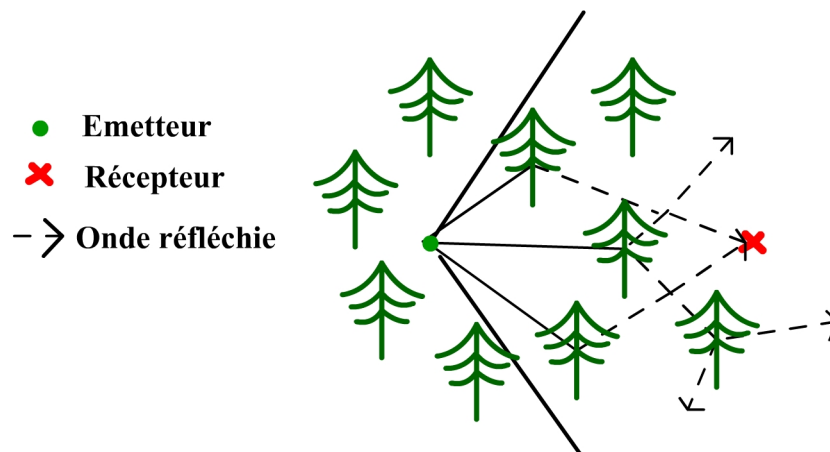


Figure 2 : Propagation du signal dans les forêts

Dans les montagnes, c'est le temps de trajet entre deux points qui est fortement contraignant. Pourtant, la portée du contact visuel est bien améliorée par rapport aux plaines et donc les occasions de communiquer à distance sont rendues plus fréquentes. Le sifflement est alors une solution adéquate permettant de réduire l'effort à fournir pour entrer en contact avec un autre individu que l'on aperçoit ou que l'on situe approximativement.

²⁰ Elle est généralement réservée au domaine du discours rituel.

²¹ La réverbération est connue comme l'ensemble des réflexions des ondes acoustiques d'un son sur les objets du milieu qui l'entoure. La conséquence directe pour un auditeur est de recevoir, non seulement une onde directe mais un ensemble d'ondes réfléchies qui participent à la perception du signal, parfois en la dégradant, et parfois en l'améliorant..

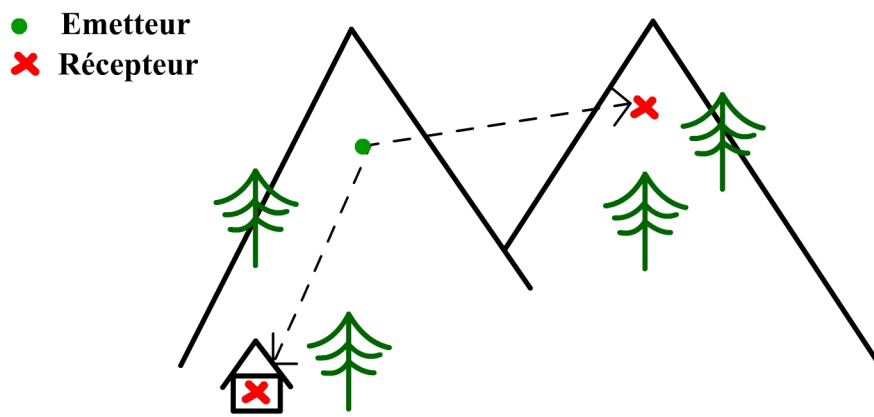


Figure 3 : Configurations types de communications sifflées dans les montagnes

2.2. Description des environnements naturels

Donc, la caractéristique commune principale des nombreuses populations ayant adopté les langues sifflées est de vivre dans des zones où la topographie est accidentée et/ou la végétation est dense. Dans certaines, une seule de ces caractéristiques prédomine : par exemple aux îles Canaries, dans les Pyrénées ou dans l'Est de la Turquie, ce sont les vallées encaissées des montagnes qui expliquent l'usage du sifflement. Par contre, en Amazonie ou dans certaines zones de la Papouasie Nouvelle Guinée, c'est la densité et l'omniprésence de la forêt qui le rend utile. Dans d'autres régions tropicales et équatoriales où les langues sifflées sont encore aujourd'hui répandues, ces deux facteurs écologiques se combinent suivant les altitudes (sommet de l'île de la Gomera aux Canaries, montagnes de la zone du Triangle d'Or en Asie du Sud-Est, Sierra Mazatèque au Mexique, montagnes en Papouasie Nouvelle Guinée et Irian Jaya). Dans les paragraphes suivant nous décrirons les comportements humains en lien avec quelques milieux que nous avons visités.

2.2.1. Milieux écologiques et usages

2.2.1.1. L'Amazonie, forêt dense

La forêt amazonienne est indiscutablement un des écosystèmes les plus denses de la planète, tant en terme de biodiversité que pour la répartition de la végétation. Différentes populations y vivent encore relativement isolées malgré la pression exercée par tous types de trafics conduisant à une déforestation dramatique et à des déplacements de villages. L'Amazonie a la particularité d'être un bassin ayant un dénivelé très lent. Les fleuves qui y coulent sont donc très sinueux ce qui multiplie les occasions lors desquelles les individus sont séparés par un bras d'eau. Sur des territoires proches et non balisés, plusieurs populations parlant des langues différentes se côtoient. Il est donc important de pouvoir identifier les siens rapidement et à distance. D'autre part, dans ce cadre, la chasse et la pêche font partie des sources principales d'approvisionnement en nourriture. Ce sont donc des activités quotidiennes de toutes les populations. Dans ces conditions, le langage sifflé a de nombreuses raisons de se développer. Par exemple il est utile lors des communications d'un côté à l'autre d'un cours d'eau (Photo 1). La communication sur un cours d'eau est bien plus efficace que dans la forêt car le miroir de l'eau favorise la bonne propagation du son. La distance usuelle du sifflement en Amazonie est donc variable en fonction du lieu d'usage et de l'activité pratiquée, mais elle n'est pas aussi considérable que dans les montagnes.



Photo 1 : Rio Ampiyacu, Amazonie péruvienne

2.2.1.2. Sierra Mazatèque : la forêt dans les montagnes

La langue mazatèque n'a pas de mot distinct pour « montagne » et « forêt ». Une phrase de notre corpus : « *Certains vivent dans les montagnes, d'autres dans les forêts* », nous a permis de nous en rendre compte rapidement. Le mot mazatèque qui synthétise ces deux concepts se traduit en espagnol par « *naturaleza* » et témoigne de l'influence de l'écologie d'un lieu sur la langue. En raison de sa latitude, cette chaîne de montagnes située dans le Nord de l'état d'Oaxaca au Mexique est couverte de forêt parfois jusqu'à ses sommets (Photo 2). Ni l'état, ni la population n'ont exercé une déforestation à outrance dans cette zone, contrairement à ce qui s'est passé dans les plus basses terres et a entraîné un changement de mode de vie et, très souvent, une forte migration vers la capitale ou vers les Etats-Unis (en particulier pour la population Mixtèque qui était répartie traditionnellement dans les basses terres (voir carte Figure 4)). La langue mazatèque est parlée dans une vaste région où certains villages sont encore très isolés, sans route pour y accéder. Cette situation explique le fait que plus de 14 variantes de la langue se soient développées. Le centre principal de la sierra Mazatèque est la ville de Huautla de Jimenez. Celle-ci est sur un flanc de montagne et ses habitants parviennent toujours à communiquer en sifflements entre les maisons, par quartiers (Photo 3). La portée usuelle du sifflement dépasse rarement 700 mètres. Il est plus courant d'utiliser la langue sifflée à courte et moyenne distance. Dans certaines vallées du district d'Eloxochitlan pourtant, nous avons rencontré des siffleurs utilisant couramment leurs doigts pour atteindre de plus grandes distances en sifflant (Photo 16). Nous avons observé que les femmes ne sifflent pas aussi volontiers que les hommes mais beaucoup d'entre elles maîtrisent la technique. Il semble également que dans la société Mazatèque, le sifflement soit peu pratiqué par les individus les plus âgés. Ces derniers expliquent qu'à leur âge on ne siffle plus. Pourtant nous avons souvent constaté qu'ils en maîtrisaient toujours la technique.

Une exclusivité de cette région est l'usage courant de la version sifflée en ville sur le marché (Photo 4), à la gare routière ou juste après la tombée de la nuit. C'est le seul cas de langue sifflée citadine que nous avons rencontré. Cela est dû à notre avis au fait que la ville de Huautla de Jimenez est en grande majorité Mazatèque et n'a pas perdu cette identité forte.

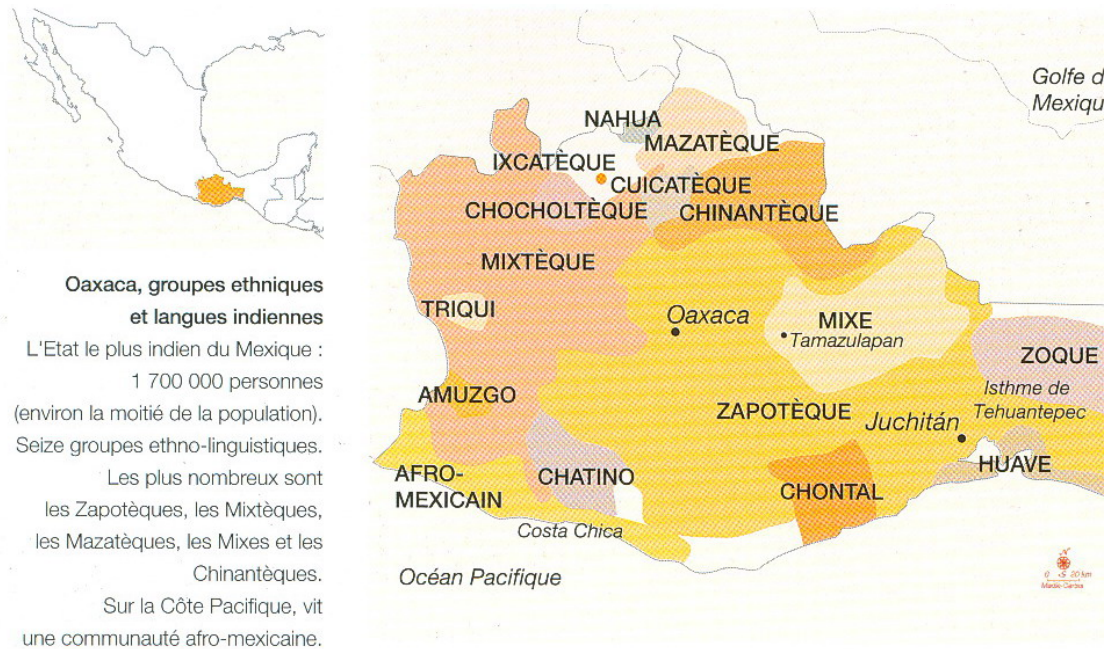


Figure 4 : Carte des groupes culturels de la région d'Oaxaca. (source : exposition Paris la Villette 2002 *Indiens Chiapas=>Mexico=>Californie*)



Photo 2 : Vue générale de la sierra Mazatèque d'un sommet.



Photo 3 : Un quartier de la ville de Huautla de Jimenez



Photo 4 : Marché de la ville de Huautla de Jimenez : lieu de communication sifflée dans le bruit

2.2.1.3. Les contreforts de l'Himalaya : du Yunnan au Nord de la Thaïlande.

Plusieurs dizaines de minorités différentes ayant chacune une langue propre vivent dans les régions montagneuses du Yunnan Chinois, du nord de la Thaïlande, du Laos, du Vietnam et de la Birmanie. D'après les informations que nous avons pu réunir au Laos, en Thaïlande et au Yunnan en 2004, plusieurs d'entre elles utilisent les langues sifflées. Certaines de manière extensive et d'autres de manière limitée. Cette vaste région est considérée comme un des berceaux de nombreuses populations asiatiques qui ont ensuite émigré vers le sud (comme les Thaïs par exemple). Dans les plus basses terres, les villages sont au milieu des forêts de montagne.

Nous avons visité plusieurs de ces communautés linguistiques et avons pu initier et réaliser un travail avec trois d'entre elles. Parmi celles ci, deux ont une langue sifflée utilisant la feuille d'un arbre: les Akhas (Photo 21) et les Hmongs. Dans cette zone la version avec la feuille est particulièrement prisée pour la séduction (échanges amoureux) car elle est réputée comme plus mélodique. Les sons passent facilement à travers les murs des maisons locales (Photo 6), il est possible de venir courtiser discrètement la nuit sans être repéré par les parents de la jeune fille ou alors d'exercer sa poésie lors d'une déclaration amicale alors que l'on passe près de chez quelqu'un (com. pers. Jupoh 2004). Autour des villages où nous avons séjourné, la montagne est presque toujours couverte de forêt. Le sifflement avec feuille qui porte aisément jusqu'à 500m est donc largement suffisant.

Aujourd'hui

● : zones de villages Akhas



Photo 5 : Répartition actuelle de la population Akha et photo d'une femme Akha sifflant avec une feuille



Photo 6 : Maisons traditionnelles, sur le flanc d'une montagne couverte de forêt

En montant vers l'Himalaya, la végétation est plus rare et les montagnes deviennent plus escarpées. Les formes sifflées y sont donc utilisées à plus grande distance. Par exemple, dans un village au Laos, à la frontière chinoise, nous avons rencontré un siffleur utilisant ses doigts pour produire un sifflement plus puissant. En général les communications sifflées se font lors des travaux aux champs (riz, canne à sucre), pour la chasse ou dans les villages.

2.2.1.4. Turquie : les vallées descendant des hauts plateaux vers la Mer Noire

La langue sifflée turque continue d'être pratiquée dans la région de la petite ville de Görele, non loin de la ville de Trabzon à 35 km à l'intérieur des terres par rapport à la Mer Noire. Les vallées qui descendent des hauts plateaux abritent de nombreuses habitations encore isolées. En 2003, les accès aux villages où nous avons rencontré quelques siffleurs n'étaient pas encore goudronnés, mais des travaux étaient en cours, témoins des changements progressifs dans la région. Les habitations sont réparties sur les flancs des montagnes et sont relativement éloignées les unes des autres. Les vallées sont étroites et un torrent coule au fond de chacune faisant un bruit de fond non négligeable pour les habitations environnantes (voir expérience du § 2.3.5.2.1). Les habitants utilisent donc le turc sifflé à la fois pour se parler entre les maisons (Photo 7), dans les champs et dans les alpages où les bergers montent à partir de juin. La distance de communication est comprise entre 100 et 2000 m en dehors du village. Mais il peut atteindre parfois des distances bien plus grandes. Cependant, ces occasions se présentent surtout sur les hauts plateaux quand le paysage des vallées encaissées se dégage (Photo 8). Toutes les techniques connues sont employées en Turquie.



Photo 7 : Village de Kusköy vu du fond de la vallée, au-dessus du torrent. Le relief est très accidenté

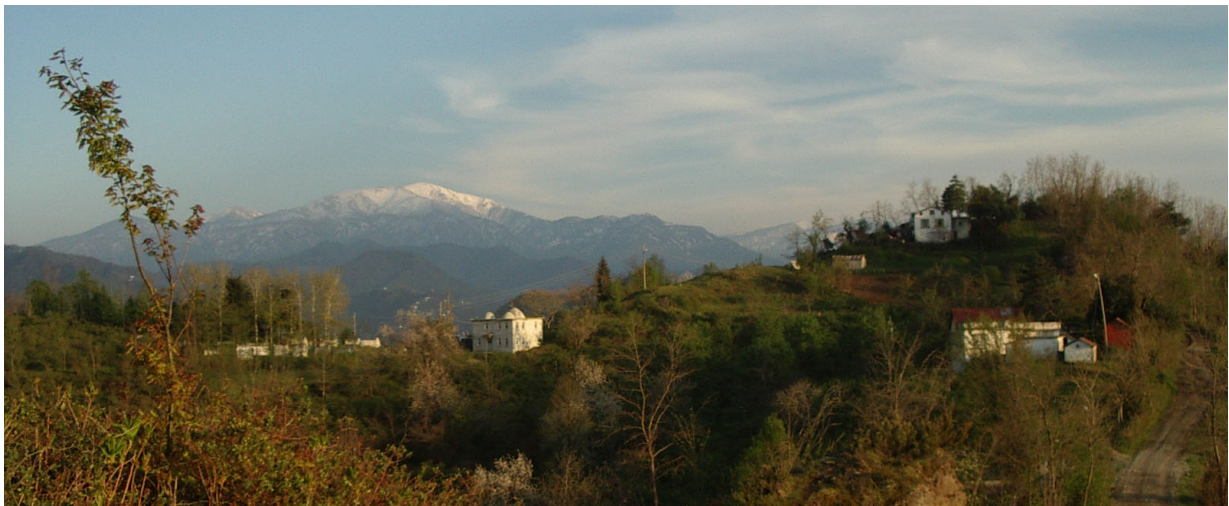


Photo 8 : Vue sur les hauts plateaux depuis les montagnes en bordure de la mer Noire

2.2.1.5. Le village béarnais d'Aas dans la vallée d'Ossau : la biodiversité maintenue

Le village d'Aas a longtemps maintenu le sifflement béarnais qui a aujourd'hui disparu. La topographie et l'isolement des vallées d'Ossau et d'Aspe en sont les raisons principales. Dans ce contexte, les vallées font office de guide d'ondes pour le signal sifflé (Photo 9). Les bergers montaient l'été dans les alpages et restaient en contact entre eux grâce au *sifflet*. Ils pouvaient également ainsi garder des nouvelles du village. Il est intéressant de remarquer que, conformément aux observations de Busnel (comm pers 2005) et de Arripe aucun autre village de la région n'utilisait le sifflement. Il semble que de nombreux habitants des villages voisins en ignoraient l'existence dans les années 60.



Photo 9 : Vue des alpages au dessus des vallées d'Aspe et d'Ossau

2.2.1.6. Les îles montagneuses: une isolation salvatrice

2.2.1.6.1. La Gomera : de multiples contextes

L'île de la Gomera est la deuxième île la plus petite des Canaries. On dit que l'intérieur des terres n'a jamais vraiment été conquis par les Espagnols. Elle est également restée isolée du tourisme de masse jusqu'à aujourd'hui. C'est une île qui a une topographie extrêmement accidentée jusqu'à son sommet où l'une des deux seules forêts de l'ère tertiaire de la planète subsiste encore grâce à un microclimat de brumes accrochées fréquemment par les pourtours montagneux. Contrairement à ce qui s'est passé dans les autres îles, le sifflement n'a pas disparu de la Gomera, principalement à cause des services qu'il a toujours rendu aux habitants. Suivant les régions de l'île, des « *dialectes sifflés* » se sont même développés. Il s'agit d'un phénomène unique que nous pensons dû en partie aux différences de topographie, de végétation et de climat. Ainsi, dans la région du village de Chipude, situé en altitude, le climat est souvent brumeux et les reliefs sont moins accentués que dans les régions des villages d'Agulo où de Vallehermoso. Il se trouve qu'à Chipude la pratique du sifflement est traditionnellement plus grave que dans les deux autres régions. Dans le monde entier, c'est à la Gomera que les plus grandes portées de discussions sifflées ont été observées. Il est fréquent de dépasser un kilomètre et il arrive de parler à plus de 8 km, quand le climat et la vallée sont favorables.



Photo 10 : Région de Chipude

Zone de pâturages pour les moutons à proximité de la forêt du Tertiaire, maintenue au sommet de l'île par un microclimat de brumes passagères



Photo 11 : Région de Vallehermoso les zones de récolte sont réparties sur les flancs les moins abrupts des vallées encaissées

2.2.1.6.2. Le village d'Antia sur l'île grecque d'Eubée : une petite vallée fertile dans un environnement sec

Le village d'Antia, dans le sud de l'île d'Eubée est encore très isolé. Il est le seul dans la région à posséder une langue sifflée. Il est situé dans une combe en pente douce où coule une rivière permettant à la végétation de se développer alors que les alentours sont arides. Il est dominé par le sommet de l'île. La langue sifflée

grecque est à la fois pratiquée dans le village et dans les environs où les bergers se déplacent souvent à pied ou à dos de mule. La portée peut atteindre 2 km. Certains habitants pratiquent la langue sifflée avec les doigts mais cette technique puissante est plus rare que la technique labiodentale qui suffit pour atteindre les alentours du village et pour communiquer entre les maisons.



Photo 12 : vue générale de la vallée et du village d'Antia sur le flanc gauche



Photo 13 : Les maisons du village permettent une communication à moyenne distance avec la technique labiodentale

2.2.1.6.3. St Lawrence : une population Yupik isolée entre deux continents

Nous ne sommes pas encore allés sur l'île St Lawrence dans le détroit de Béring, mais sa situation symbolique et extrêmement isolée permet de comprendre pourquoi elle a permis à ses habitants de conserver leur usage de la langue sifflée et d'être depuis juin 2005 la seule langue sifflée en Amérique du Nord et en Sibérie connue du public scientifique.



Photo 14 : Image satellite de l'île St Lawrence dans le détroit de Béring

L'Alaska est à droite(Est) et la Sibérie est à gauche (Ouest). Cette île, de la taille de la Sardaigne possède plusieurs massifs montagneux (Source : GoogleEarth)

2.2.2. Conclusion

L'étirement spatial des besoins de communication donne un rôle important au milieu acoustique qui sert de canal de transmission. Le sifflement est clairement justifié, car, pour se parler dans de tels milieux les interlocuteurs ont besoin de signaux clairs, portant loin et qui ne soient pas perturbés par le bruit ambiant de la nature. Il y a un lien direct entre l'écologie du lieu, sa topographie et la distance habituelle de pratique qui influence en partie la bande de fréquence du signal sifflé utilisé. Mais la variété des usages, malgré les similarités de milieux montre aussi l'influence de la culture locale qui réserve un rôle au sifflement qu'elle détermine en partie. Dès lors, les pratiques linguistiques sifflées sont spécifiées par une histoire de *couplage* entre la nature et une société locale. C'est un équilibre qui bien souvent se brise quand le monde rural qui l'a fait naître disparaît, soit à cause du départ des populations soit à cause du changement de culture, soit à cause de la destruction du milieu.

2.3. Etude bioacoustique

2.3.1. Problématique

Les différents milieux écologiques que nous avons décrits exercent un filtre naturel sur le signal acoustique, auquel s'ajoute le bruit de fond ambiant. Dans ces conditions, les formes sifflées des langues sont très efficaces pour étendre la portée de la parole locale. Cet aspect est un de leurs principaux intérêts scientifiques²². Il convient donc d'en analyser les caractéristiques bioacoustique afin de comprendre ce qui les rend particulièrement adaptées à des usages préfigurant les télécommunications modernes²³.

2.3.2. Production du sifflement

2.3.2.1. Techniques de production

Les techniques de sifflement varient en fonction de la distance de communication et des usages locaux: un ou plusieurs doigts dans la bouche (longues distances: de 500 m à plusieurs kilomètres²⁴), rétroflexion de la langue (moyenne distance : de 200 à 500m) ou sifflement bilabiale (courtes distances jusqu'à 200 m).

2.3.2.1.1. Techniques de longue distance

Tout un ensemble de techniques est employé pour siffler à une grande distance. Le choix de l'une ou l'autre dépend des pratiques courantes locales, du goût et des capacités de chacun.

Techniques avec un doigt

Le doigt vient se poser sur la langue ou sous la langue, au choix. N'importe quel doigt peut être utilisé et il peut être droit ou courbé (Photo 15). La technique du doigt courbé est la technique la plus répandue sur l'île de la Gomera.

²² Deux autres aspects fondamentaux qui apparaîtront lors de l'analyse bioacoustique concernent la capacité des humains à encoder plusieurs types de structure de langues ainsi qu'à détecter et décoder le message. Chacun de ces aspects fait l'objet d'une analyse détaillée dans les parties suivantes de cette thèse.

²³ Cet aspect a des conséquences importantes sur l'organisation de la vie en société, à échelle locale pour les villages utilisant les langues sifflées ou les langages tambourinés. Nous fournissons en Annexe B.2.1.6 une analyse des liens historiques et physiques de ces systèmes avec les télécommunications modernes.

²⁴ Valeurs de distances valables pour des milieux avec un bruit ambiant de 40 dB.



**Photo 15 : Siffleur Gomero utilisant la technique la plus commune de l'île
Le doigt courbé et la main en porte-voix**

Techniques avec deux doigts

Toutes les combinaisons de doigts sont possibles. Les plus fréquemment utilisées sont les techniques utilisant le pouce et l'index d'une même main ou celle utilisant les deux petits doigts (auriculaires). A chaque fois, les deux doigts forment un V appuyant sur la langue. Le sifflement produit est très puissant. Cette technique est utilisée par certains siffleurs Grecs, Gomers, les Turcs et Mazatèques (Photo 16), quand ils sont isolés.



Photo 16 : Technique de sifflement Mazatèque avec deux doigts se rejoignant en un V

Lèvre intérieure tirée

Cette technique qui consiste à siffler en tirant sur la lèvre inférieure et en aspirant simultanément (Photo 17) n'avait jamais été observée auparavant. Elle est en usage dans toute l'Amérique latine chez les plus jeunes générations et pour tous types de sifflements, linguistiques ou non.



Photo 17 : Technique de sifflement par pression sur la lèvre inférieure tirée
L'air est inspiré alors que toutes les autres techniques utilisent l'expiration de l'air

Sifflement par vibration de la membrane entre le majeur et l'index.

Nous ne l'avons jamais observée personnellement mais elle serait utilisée encore actuellement chez les Ari en Ethiopie (com. pers. Fournel 2004) ou chez les Gaviaõ en Amazonie (com. pers. Moore 2003). Elle a également été décrite chez les Banen du Cameroun par Dugast (1976) (Figure 5).

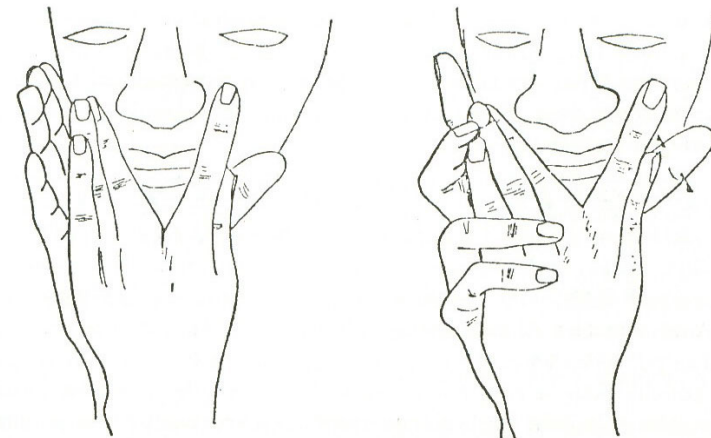


Figure 5 : Position des doigts pour le sifflement chez les Banens (ou Ndiki) du Cameroun par Dugast (1976, p713)
Dans cette population, la cavité créée entre les deux mains permet en partie de régler la fréquence du sifflement

Variantes

De nombreuses autres méthodes ont été observées dans le passé, la plupart sont des variantes de celles que nous avons observées. Nous en citerons trois en exemple :

Bout de la langue retourné contre les dents (rétroflexée) et un doigt posé sur la langue

C'est une combinaison avec une technique de moyenne distance qui produit un sifflement très puissant car il combine l'effet d'accentuation de la vibration créé par la cavité entre la langue et les dents de la mâchoire inférieure et par le doigt. Nous ne l'avons observé qu'en Turquie (en 2004) où le sifflement moyen est le plus aigu de tous ceux que nous avons rencontré.

Sifflement dans le creux des mains

Le sifflement dans le creux des mains peut permettre de parler à condition de maîtriser une partie de l'articulation en changeant la taille de la cavité et de l'ouverture de l'air qui s'échappe. Il est plus couramment utilisé pour imiter certains types d'oiseaux que pour parler. Nous l'avons rencontré à un seul endroit : au Laos dans un village Akha (Photo 18), mais cette technique n'est pas très courante dans cette population. Le locuteur nous a expliqué que son père qui lui a enseigné cette technique pouvait parler plusieurs langues sifflées car il avait vécu dans plusieurs villages lorsqu'il avait quitté le Vietnam. Une technique similaire a été observée en Ethiopie chez les Benčnon (Wedekind 1981).



Photo 18 : Méthode créant une cavité en dehors de la bouche

Elle est plutôt rare à observer pour la parole sifflée car le contrôle de l'articulation demande une très grande dextérité

Sifflement dans le creux du coude

Toutes les parties du corps accessible facilement avec la bouche peuvent être mises à profit. Dugast (1955) cite l'exemple d'un locuteur Banen lui ayant montré qu'il pouvait exploiter la membrane de peau dans le creux du coude de la même manière que celle entre l'index et le majeur de la main pour produire un son plus grave.

2.3.2.1.2. Techniques de moyenne et courte distance

Bout de la langue retourné contre les dents (langue retrofléxée)

Cette technique est très répandue parmi les langues tonales comme parmi les langues non tonales. Les mains restent libres. Elle permet un sifflement très puissant. De plus la maîtrise de l'articulation est plus proche de celle utilisée pour la voix parlée (Photo 19 et Photo 20).



Photo 19 : Siffleur Grec utilisant la technique de la langue courbée

La langue formant une cavité en venant buter contre les dents e la mâchoire inférieure.



Photo 20 : Même technique que précédemment aussi appelée langue rétrofléxée

Sifflement avec feuille

La technique avec la feuille (Photo 21) permet d'obtenir un sifflement de nature différente car la vibration de cet *outil* provoque dans le signal d'un ensemble d'harmoniques fréquentielles. Nous ne l'avons rencontré que dans le cas de langues sifflées asiatiques ayant de nombreux registres de tons et des contours de tons. Le son porte moins loin que les sifflements produits avec les doigts pour parler à longue distance, mais il est suffisamment efficace pour atteindre 300 m dans une forêt et plus de 500 m dans les milieux montagneux. Nous l'avons observé pour deux langues asiatiques pour lesquelles il ne dépasse jamais une fréquence maximum légèrement inférieure à 1500 Hz.



Photo 21 : Technique de la feuille sifflée exécutée par une femme Akha

Sifflement bilabial

Répandue parmi les chasseurs communiquant à courte distance, cette technique permet de réaliser parfois des occlusions avec les lèvres. Le sifflement bilabial est très rarement utilisé dans les pays utilisant des langues non tonales, tout d'abord car il ne permet pas d'atteindre une puissance suffisante mais aussi car la bande de fréquence qu'il permet de couvrir n'est pas aussi large que dans les autres techniques. Or les sifflements des langues non tonales couvrent souvent un intervalle de fréquence plus large que ceux des langues transposant l'intonation ou les tons (voir 2.3.4).



Photo 22 : technique bien connue du sifflement bilabiale

2.3.2.2. Particularités de la source

2.3.2.2.1. Mode d'émission

Le sifflement est produit par un effet choc du souffle d'air comprimé à l'intérieur de la cavité de la bouche ou juste à sa sortie. Il ne fait pas intervenir la vibration des cordes vocales (point 3, Figure 6), le sifflement est d'ailleurs incompatible avec ce phénomène. La vibration sonore obtenue par le passage de flux d'air concentré est un signal quasi périodique de type sinusoïdal. Plus le courant d'air expulsé (ou inspiré) est rapide, plus le son obtenu est aigu et puissant. L'effort exercé par la cage thoracique n'est pas le seul élément intervenant pour augmenter la puissance du son. Le réglage de la taille des trous minimaux par lesquels l'air passe lorsqu'il est expulsé intervient également (points 1 et 2, Figure 6). Quand les mâchoires sont fixées par les lèvres serrées et éventuellement le doigt (point 1, Figure 6), le trou de la bouche est stable. La mâchoire inférieure ne fait plus qu'esquisser l'articulation des mots. Les mouvements de la langue et de la glotte sont les autres principaux éléments servant à régler le son. Dans certaines limites, cette articulation peut être comparée à celle utilisée pour la forme parlée équivalente, elle permet de faire varier le volume de la cavité de résonance et de la pression de l'air expulsé par les poumons afin de moduler la fréquence du phénomène bioacoustique obtenu. Tout un ensemble de processus physiologiques et acoustiques s'équilibre dans une cohérence informationnelle commune avec la parole classique. L'objectif avoué est d'obtenir une intelligibilité optimale de la part de l'interlocuteur.

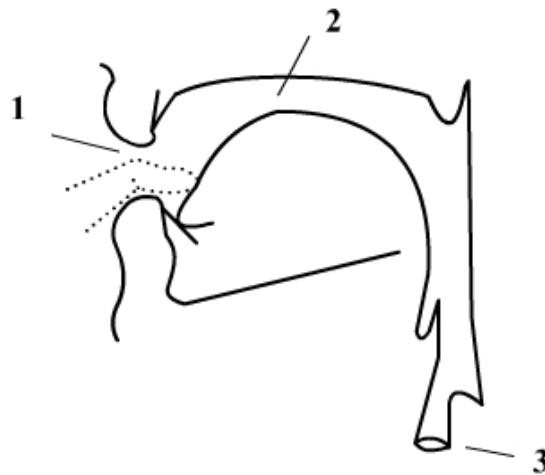


Figure 6: Articulation des sifflements

2.3.2.2.2. Effets sur les modulations du signal

Cette description nous a permis de conclure que les facteurs principaux intervenant lors de la production du sifflement ainsi que leurs effets sont les suivants:

Tableau 6 : Facteurs principaux intervenants dans la production du sifflement

Facteur de contrôle	Effet(s)
Mouvements de la mâchoire inférieure	Articulation souvent similaire à la parole, en plus limité
Rétroflexion de la langue, intromission d'un doigt	Point fixe (ou relativement fixe) pour contrôler les mouvements de la langue, augmentation de la puissance du flux d'air résonnant
Mouvement de la langue	Contrôle du flux d'air et des types de résonance suivant une logique proche de celle de la parole. Contrôle du flux d'air allant jusqu'à l'occlusion
Coups de glotte, à la manière des ventriloques	Contrôle du flux d'air: pour certaines occlusions labiales qui ne peuvent pas être réalisées en sifflement et pour contrôler la fréquence du sifflement
Puissance du souffle	Pour s'adapter à la distance de communication et rendre l'amplitude du signal plus intense

Les coups de glotte et de la langue sont utilisés de manière complémentaire par de nombreux siffleurs. Ils permettent d'obtenir des modifications similaires du signal sifflé en terme de fréquence. Il semblerait que la stratégie d'utiliser plus fréquemment la glotte soit particulièrement employée par les locuteurs ayant une dent manquante car le contrôle de la fréquence est alors plus aisé loin de cette perturbation du flux d'air. On peut comparer ces observations aux stratégies employées chez des flûtistes professionnels. La technique la plus académiquement reconnue comme correcte est celle qui consiste à moduler un souffle régulier issu des poumons avec uniquement les mouvements de la langue pour contrôler les notes. Les coups de glotte étant bannis en théorie, ils sont cependant pratiqués très régulièrement.

Cet aspect de la prononciation a été souligné par Classe (1956) et nous pouvons le confirmer par le fait que sur de nombreux enregistrements réalisés en champ proche, les coups de glotte sont présents sur le sonagramme Figure 7.

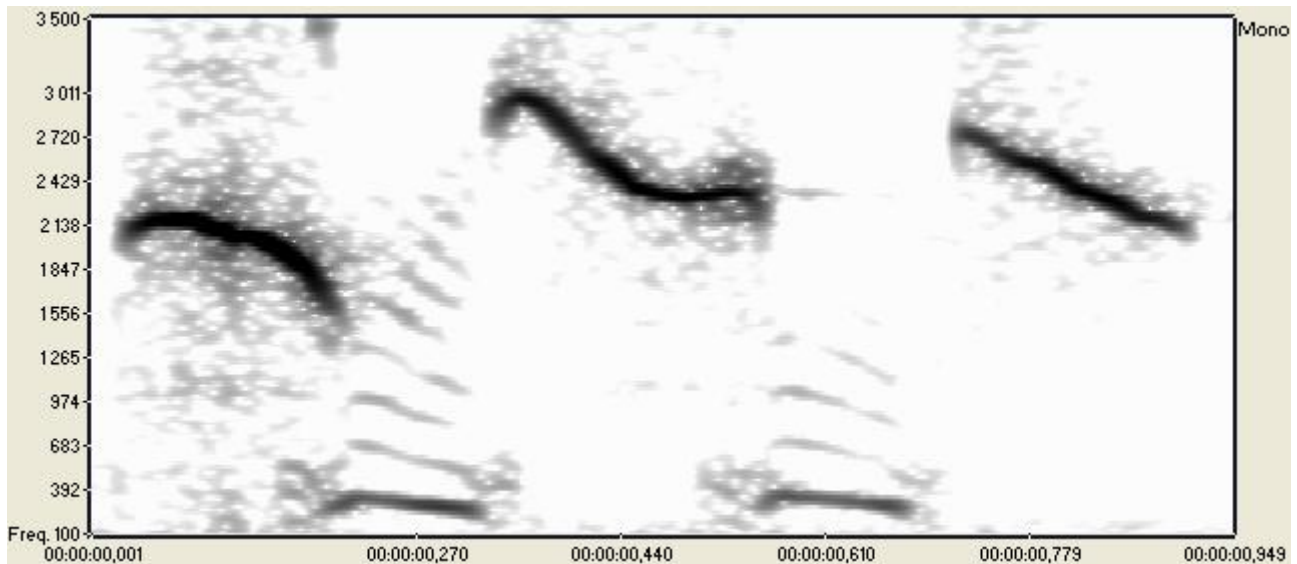


Figure 7 : Début de phrase turque : les trois syllabes « Kom -yun-köp » se succèdent
On observe que la labiale [m] comme le [k] donnent lieu à un coup de glotte visible en champ proche.

Manifestement, la glotte contrôle de la puissance du souffle en permettant de maîtriser la compression d'air et son relachement. La différence de forme acoustique entre le coup de glotte du [m] et du [k] est un bon indice permettant de l'observer. Une manière de le vérifier serait d'utiliser la méthode laryngoscopique comme dans des études sur la voix (Esling et al, 1998).

Contrôle des voyelles ou des tons

Les voyelles sont produites en reproduisant approximativement la forme de la bouche de la prononciation parlée. Le contrôle des tons est obtenu en contrôlant les zones de résonance de la bouche. Un son plus aigu est réalisé vers le devant du palais et un son plus grave plus en profondeur vers l'arrière.

2.3.3. Bandes de fréquences typiques des sifflements humains

Si l'on considère toutes les langues et toutes les méthodes de sifflements, on obtient une bande de fréquence générale de la fréquence fondamentale de sifflement allant de 800 Hz à 4000 Hz, ce qui reste étroit comparé à la bande de fréquence utilisée pour la parole (100 à 16000 Hz) où même à la bande passante du téléphone (400 à 4000Hz). Mais pour une phrase donnée couverte par la fréquence fondamentale à l'émission est environ d'une largeur de 3000 Hz dans les langues non tonales et moins de 1000 Hz avec des variations significatives suivant la structure de la langue et la technique de sifflement utilisée (labial, labiodental, avec doigt(s), avec feuille). La technique de la feuille est un peu particulière car elle produit un sifflement avec de

nombreuses harmoniques ayant une amplitude non négligeable, par conséquent elle est parfois qualifiée de voix sifflée²⁵ (comm. pers. Tran Quan Hai 2005).

2.3.3.1. Facteurs principaux de variabilité de la bande de fréquence

2.3.3.1.1. Structure de la langue

Généralités

Alors que le registre fréquentiel des valeurs extrêmes de la fréquence fondamentale des formes sifflées des langues non tonales peut s'étendre sur plus de 2 octaves (0.9 à 3.8 kHz à la Gomera en espagnol, 1.2 à 3.5 kHz à Aas en béarnais (Busnel & Classe, 1976), 1.4 à 4 kHz à Kusköy en turc, 1.2 à 3.4 kHz à Antia en grec); celui des langues à tons est plus étroit (1 à 3 kHz en langue mazatèque en tenant compte de plusieurs distances de communication (4 tons, Mexique), 1 à 2 KHz en surui (2 tons, Amazonie), 0.8 à 1.5 kHz en akha (3 niveau de tons, technique exclusivement avec une feuille), 0.9 à 1.5 kHz en hmong (8 tons, technique de la feuille exclusivement)). Dans une même phrase, la bande de fréquence dépasse rarement un octave. Nous n'avons jamais observé de dépassement de cette limite en langue sifflée tonale ou en chepang ou même en turc. C'est très rare en grec et, par contre, certains siffleurs de silbo espagnol le font couramment. Nous verrons dans la partie « Intelligibilité »(Chapitre 4) que des considérations sur la perception de la Hauteur Fondamentale (HF) permettent de donner une explication à la limite d'un octave.

Implications pour la compréhension de la transposition sifflée

Différentes parties de la voix ?

Nous avons vu dans l'Historique qu'il était reconnu que les parties les moins modulées des langues sifflées issues d'une langue sans tons transposent le timbre des voyelles en des hauteurs différentes alors que pour les langues tonales elles transposent plutôt les tons porté par les voyelles. Les observations que nous venons de faire sur la largeur de bande de fréquence corroborent cette affirmation car le spectre d'une voyelle est constitué d'harmoniques plus aiguës que la fréquence fondamentale. Etant donnée la structure de la voix humaine, les fréquences harmoniques sont en effet des multiples de la fréquence fondamentale. Lorsque cette dernière varie légèrement, plus les harmoniques sont élevées plus l'étendue de leur variation fréquentielle correspondante est grande.

Enseignement pour les langues non tonales

La grande variabilité des voyelles chez un même siffleur est expliquée par son articulation qui couvre une zone de résonance dans la bouche. Cette zone ciblée n'est pas toujours atteinte de la même manière. D'autre

²⁵ Ce type de voix sifflée est différent de celui obtenu par la technique vocale parfois appelée « sifflet laryngé » pour laquelle l'onde sonore est produite par une fermeture de la glotte imparfaite sans vibration des cordes vocales « laissant une fente étroite au travers de laquelle passe l'air en sifflant comme dans un biseau » (Zemp 1996).

part, l'ampleur différente de la variation fréquentielle entre les distinctions vocaliques et les distinctions d'intonation ou d'accent (liées au Fo comme les tons) suggère qu'il est possible, dans certaines limites de garder la répartition étagée des voyelles sifflées tout en marquant l'accentuation. Nous verrons par la suite que c'est effectivement le cas en grec, en silbo et en turc.

Enseignement pour les langues tonales

Dans beaucoup de phrases de langues tonales, l'étendue de la bande des fréquences sifflées n'excède pas 800 Hz, c'est à dire qu'elle est en dessous d'un octave et duplique la bande de fréquence des tons de la parole en l'élargissant un peu. D'autre part, celle des sifflements réalisés avec une feuille est plus stable que celle des sifflements sans outils autres que les doigts. En effet, les feuilles semi-rigides utilisées (citronnier ou café par exemple) disposent d'un mode de vibration plus fixe que le sifflement contrôlé par la bouche. Ainsi, la langue akha à trois niveaux de tons et la langue hmong à 5 niveaux de tons ont la même largeur de bande de fréquence fondamentale. Ces résultats sont des données nouvelles qui peuvent alimenter le débat sur la nature fixe ou non de l'étendue des hauteurs tonales des langues à tons. Par exemple, Pike (1948) a observé - et de nombreux auteurs ont approuvé son point de vue - que toutes les langues à tons utilisent le même intervalle de hauteurs tonales qu'elles subdivisent en autant de registres nécessaires pour leur système tonal. Maddieson (1972) avait initialement proposé une autre approche qui considérait que les tons d'une langue à trois tons se répartiraient comme les trois tons centraux d'une langue à cinq tons. Il fait ainsi de la valeur centrale de l'étendue tonale un bassin attracteur des tons extrêmes. Anderson (1978) a remarqué que les systèmes tonals asiatiques semblent peu "*marqués*" par rapport aux niveaux tonals centraux. Si l'on considère nos données concernant les deux langues asiatiques akha et hmong, les observations de Pike et Anderson sont validées. Par extension, il semble bien que les tons des langues ne soient pas espacés de la même manière pour chaque langue.

Maddieson a soulevé de nombreuses autres questions sur la répartition des tons à l'intérieur de l'intervalle qu'ils couvrent. En particulier sur les limites fréquentielles dans lesquelles chaque ton peut osciller.

Une pratique esthétique d'*ornementation* du ton en langue sifflée akha peut être intéressante de ce point de vue. Le sonagramme de la Figure 8 montre le résultat de cette technique. En prenant les mesures les plus larges possibles on observe que les modulations du ton bas ou du ton haut ont une oscillation maximum de 240Hz. L'intensité de la fréquence n'est élevée que sur un intervalle de 200 Hz. Or, dans cette phrase d'une langue à 3 niveaux de tons modulés, les tons sont justement écartés de 200Hz. Le fait que les oscillations ne dépassent pas la fréquence médiane qui sépare l'intervalle entre deux tons est un phénomène stable sur tous nos enregistrements qui a forcément une raison perceptive forte. Il faut ajouter que l'oscillation rapide autour d'une même fréquence participe sûrement à la perception privilégiée de cette fréquence.

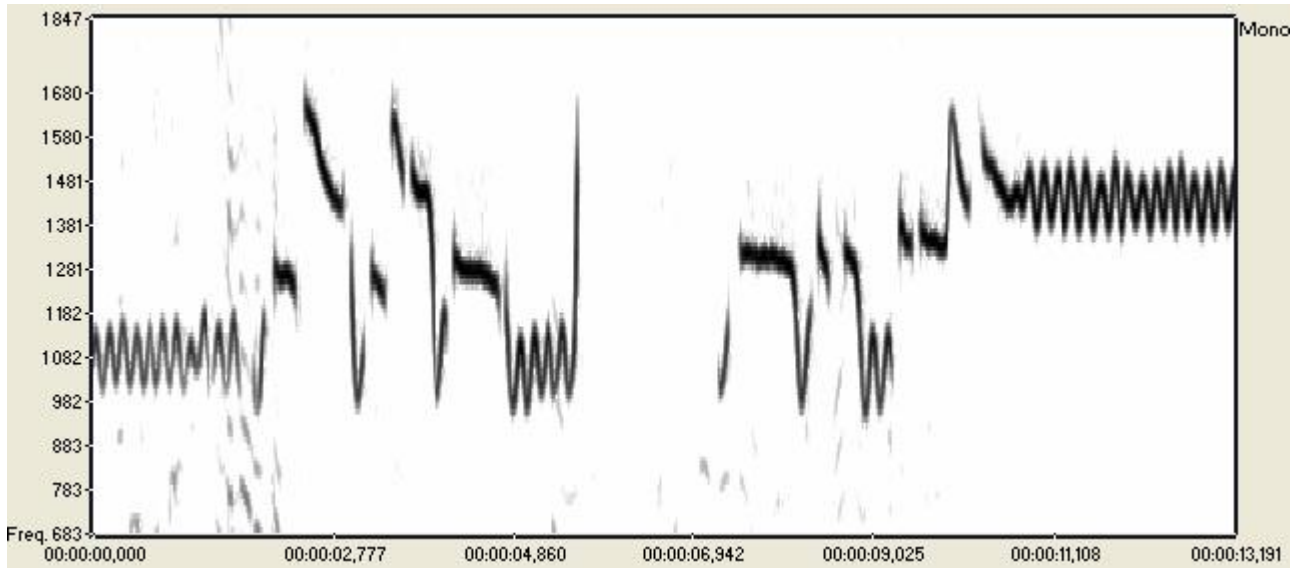


Figure 8 : Fréquence fondamentale d'une phrase akha

Elle est ornementée sur les tons bas et, en fin d'extrait, sur un ton haut (siffleuse de la Photo 21)

2.3.3.1.2. Variabilité en fonction de la technique

Influence de la technique

Le facteur le plus évident qui influence la hauteur de la fréquence fondamentale est la technique de sifflement choisie par le siffleur. Nous avons vu que ce choix est fortement corrélé avec la distance à laquelle se trouve son interlocuteur. Plus l'interlocuteur est éloigné plus le siffleur aura tendance à siffler fort pour atteindre un niveau d'amplitude qui permet aux phrases de rester clairement intelligibles. Or, par un phénomène de bioacoustique non linéaire et non négligeable, plus le souffle est fort, plus la fréquence issue de l'organe siffleur est élevée. Nous avons mesuré²⁶ une augmentation de la fréquence de 100 Hz à 250 Hz²⁷ entre un sifflement réalisé pour atteindre 100 m et un sifflement effectué pour atteindre une distance de 500 m. Pour augmenter la pression de l'air et donc la puissance du sifflement, l'effort à fournir est réduit par l'utilisation d'un doigt ou par la création d'une cavité entre la langue et les dents.

Conséquences de l'aspect relatif des hauteurs fréquentielles

L'encodage de l'information sifflée est en grande partie réalisé par des valeurs relatives. Ce phénomène souligne que de nombreux aspects sonores de la parole humaine sont en fait relatifs. Cette propriété explique la souplesse du système de communication humaine. C'est la raison principale pour laquelle il est possible de convertir la hauteur parlée en hauteur sifflée. C'est aussi en vertu de cette caractéristique que les voix des enfants, des femmes ou des hommes peuvent porter les mêmes informations tout en ayant des spectres de paroles différents (c'est un des facteurs qui pose des problèmes à la théorisation phonétique).

²⁶ Mesure réalisée sur la langue mazatèque dans un milieu montagneux peu boisé.

²⁷ Sachant qu'il y a des différences entre les phrases et les locuteurs.

Pour le mazatèque, Cowan (1948) a expliqué que les siffleurs se donnaient une clef de hauteur, l'équivalent du « la » des musiciens qui permet d'accorder les instruments avant de jouer une partition. Nous pensons que, même pour des langues tonales, cette fixation de la hauteur de communication est plutôt donnée par la distance de communication. Par contre, une fois la phrase débutée le siffleur restera dans les limites que nous avons définies ci dessus (un octave).

Dans le cas des langues non tonales, l'appellatif « aah » ou « ooh » qui précède certaines phrases de béarnais sifflé ou du « Silbo Gomero » de la région de Chipude est essentiellement réalisé pour attirer l'attention. De manière similaire à ce qui se passe en mazatèque, certains éléments de l'information acoustique contenue dans la première phrase d'un dialogue permettront à l'auditeur d'évaluer la distance de communication et donc d'adapter la puissance et la fréquence de sa réponse. Dans certains cas, les limites de 3 octaves qui sont respectées sont liées à des considérations de production (Silbo espagnol)

2.3.4. Analyse du spectre de fréquences des sifflements en milieu ambient

Le spectre de fréquences du sifflement est caractéristique d'un signal sinusoïdal presque pur. A courte distance on peut observer sur sonagramme (Figure 9) plusieurs harmoniques de la fréquence fondamentale²⁸. Dans un sifflement, la fréquence fondamentale est élevée, c'est pourquoi les harmoniques qui en sont des multiples directs sont largement plus espacées que celles de la voix parlée (Figure 9). On observe que, dans toutes les techniques sauf celle de la feuille, l'intensité présente dans les harmoniques est rapidement atténuée. Alors qu'à courte distance plusieurs harmoniques sont audibles, dès la moyenne distance (150 m) seule la fondamentale émerge du bruit de fond (Figure 10).

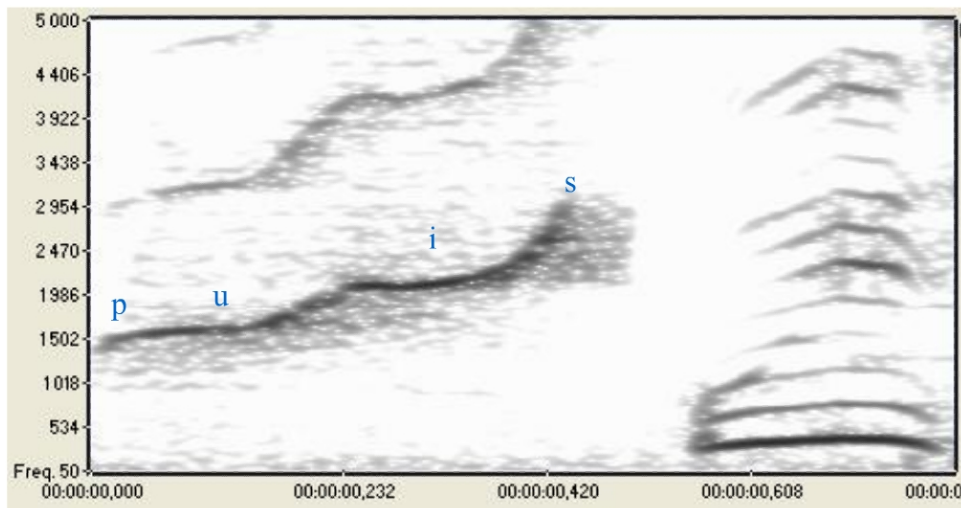


Figure 9 : Syllabe /puis/ en grec sifflé puis parlé. Les éléments de la voix qui sont transposés sont indiqués (l'explication complète est fournie au §4.3.1)

²⁸Pour un enregistrement à quelques mètres du siffleur, on observe rarement plus de 3 harmoniques clairement visibles sur spectrogramme. Seul le sifflement avec feuille fait exception.

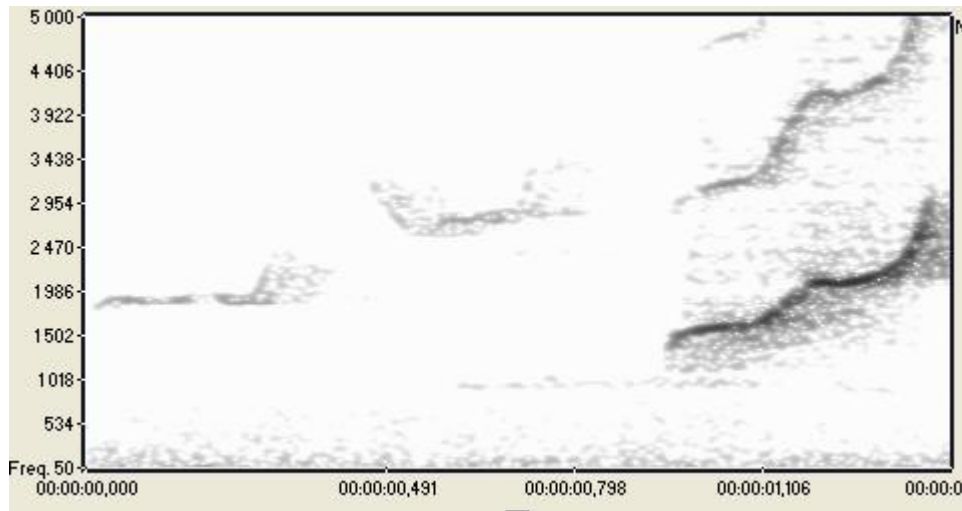


Figure 10 : Conversation grecque sifflée

Le premier interlocuteur est situé à 150 m. Le second (avec deux harmoniques pour la même syllabe /puis /) est situé à 10 m de la prise de sons

2.3.4.1.1. Particularités du timbre de la feuille sifflée

Une stratégie adaptée aux langues à contours de tons

Le spectre du sifflement obtenu avec une feuille qui vibre entre les lèvres est plus complexe que pour les autres types de sifflements. Même à distance, les harmoniques sont très peu atténuées par rapport à la fréquence fondamentale (Figure 11). Nous pensons que le choix de la feuille est bien adapté à la structure des langues tonales. En effet, dans ce type de langues, la transposition de la fréquence fondamentale ne permet pas une très grande amplitude de variation, du moins pas aussi grande que dans les langues non tonales. Le type de spectre de fréquences produit par la feuille sifflée développe une réponse judicieuse à cette situation en créant une redondance d'information à la fois en fréquence et en temps ce qui permet une plus grande acuité perceptive sur les modulations des tons et sur les intervalles de silence. Dès lors il est logique de retrouver cette technique dans les langues tonales utilisant des modulations fréquentielles distinctives à l'intérieur même d'une syllabe, typiquement des langues à *contours de tons* comme le akha ou le hmong²⁹.

²⁹ Voir chapitre 3 pour une description du système phonétique de la langue hmong et en Annexe D.7 pour une description du système phonétique de la langue akha.

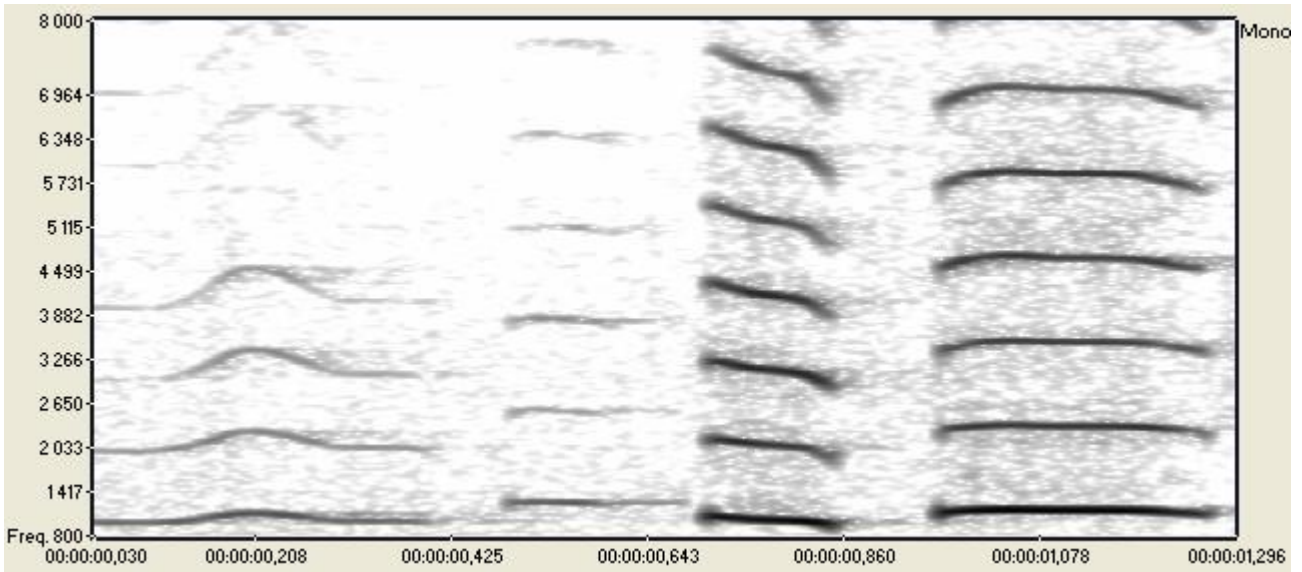


Figure 11 : Syllabes akha en feuille sifflée, enregistrées à 100 m (2 premières syllabes) et 10 m (2 suivantes)

Comparaison du spectre de la feuille sifflée et de la voix parlée

La dynamique de la fréquence fondamentale du sifflement avec feuille est une transposition de celle de la voix parlée. Les écarts entre harmoniques de la feuille sifflée recréent la dynamique complexe du signal de la voix. Ainsi, même à une distance de 300 m le sifflement avec une feuille produit une copie de la voix parlée assez saisissante, même si celle-ci n'a pas les regroupements caractéristiques des formants que l'on peut souvent observer dans la voix parlée. L'appellation *voix sifflée* est donc tout à fait adaptée au spectre de sifflement avec feuille.

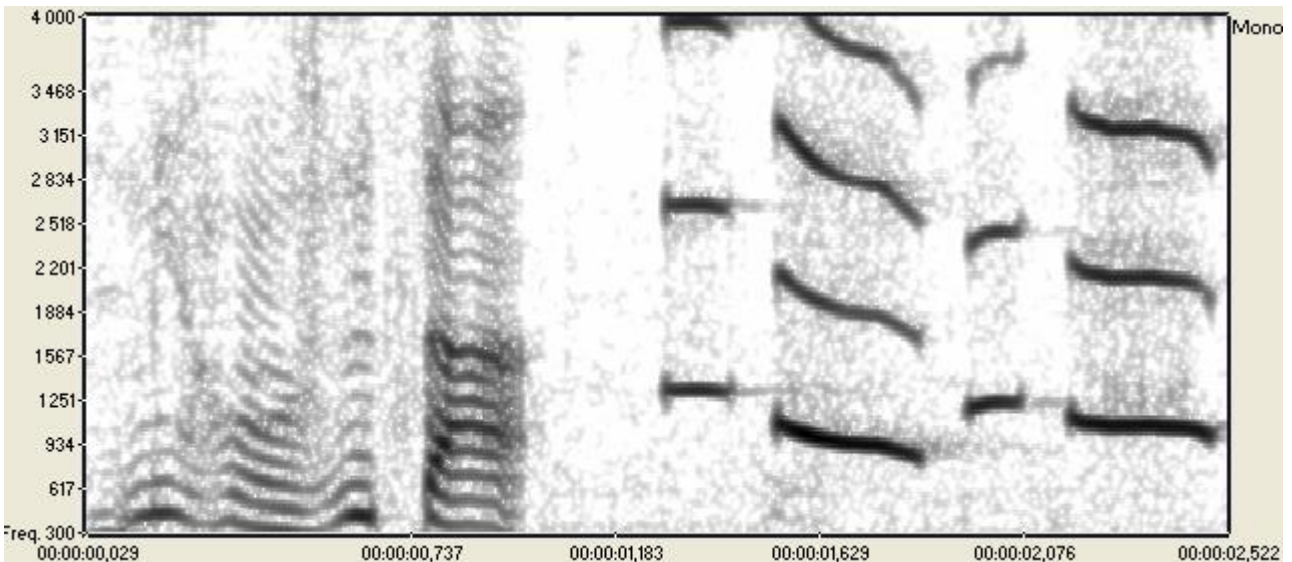


Figure 12 : Voix parlée et feuille sifflée du même mot akha.

« Mir gangq goer tar » (notation RPA voir explications dans l'annexe D.7)

2.3.5. Propagation du signal en milieu acoustique naturel et portée géographique

2.3.5.1. Atténuation en amplitude avec la distance

2.3.5.1.1. Théorie physique et réalité sifflée

Les lois physiques découvertes sur la propagation acoustique dans l'air établissent qu'en théorie une atténuation du signal en intensité de 6 dB se produit à chaque fois que la distance est doublée à partir de la source. De plus, l'absorption est proportionnelle au quart de la fréquence. Cette atténuation est aussi souvent supposée relativement indépendante de l'humidité et dépend principalement de la température qui détermine la rapidité de propagation du son dans l'air (Figure 13).

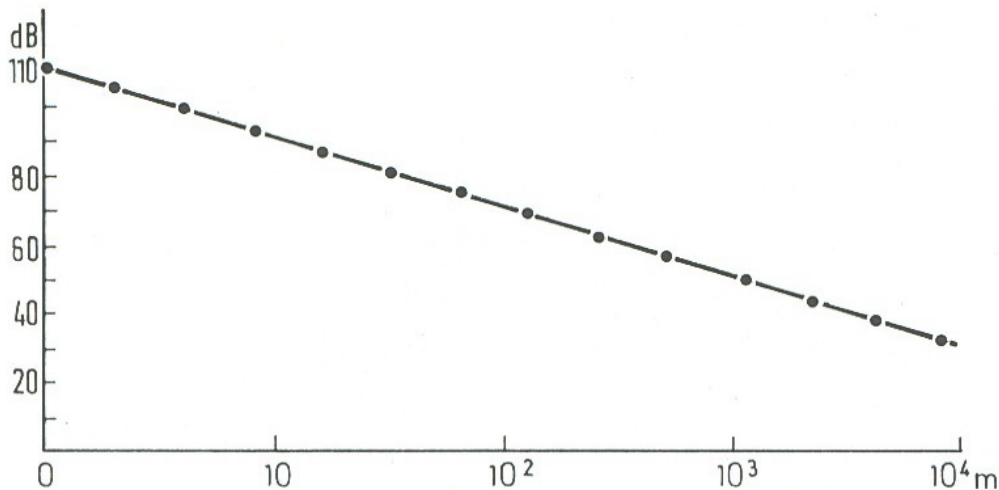


Figure 13 : Atténuation théorique d'un son de 110 dB

(amplitude moyenne d'un sifflement puissant émis pour atteindre une grande distance) en fonction de la distance de propagation (in Busnel & Classe 1976 p.39)

En réalité, tous les auteurs ayant eu affaire au phénomène de propagation ont appliqué des facteurs correctifs à la théorie. En effet, Busnel et Classe (1976) rappellent qu'en pratique, les gradients atmosphériques de températures dépendent du vent et de l'humidité à tel point que l'influence de ces facteurs est difficile à quantifier. C'est seulement dans certaines conditions que les gradients de température sont égalisés, comme la nuit ou sous la pluie. La transmission est alors optimisée puisqu'il n'existe plus de couches d'air qui réverbèrent le signal et entre lesquelles il perd une partie de son intensité.

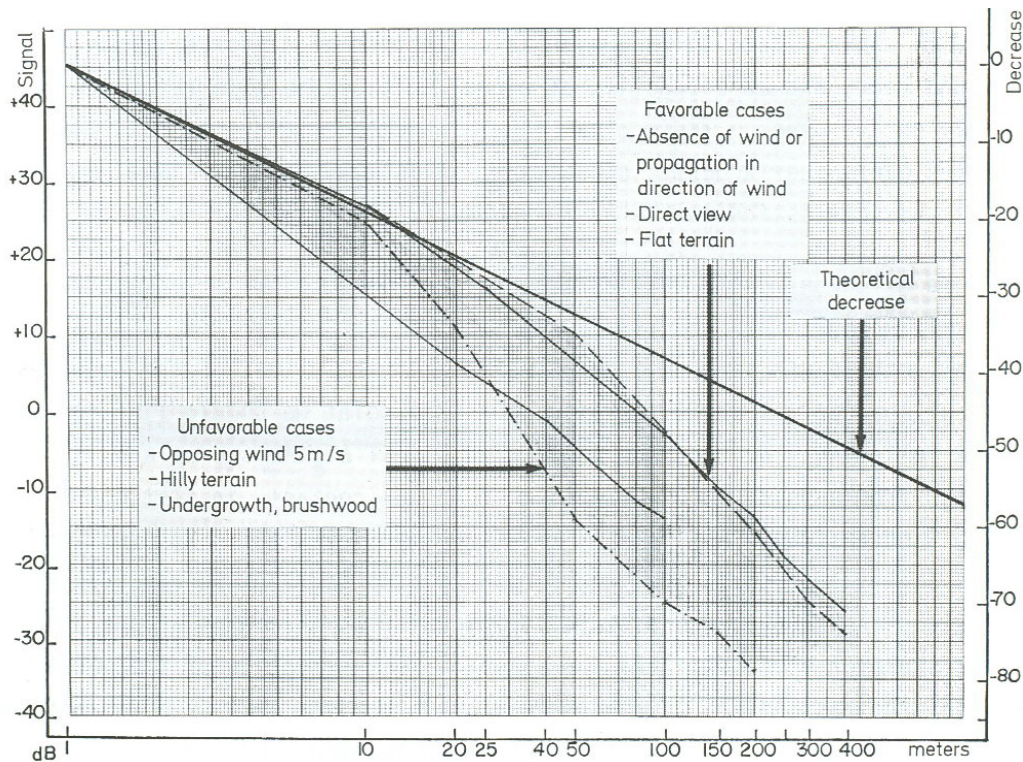


Figure 14 : Mesures expérimentales de la propagation du son dans la nature, dans différentes circonstances

Busnel a montré par une série de mesures qu'entre la droite théorique et la réalité des exemples pratiques, il y a une différence qui révèle que la valeur de -12 dB pour chaque doublement de distance par rapport à la source serait plus réaliste que celle de -6 dB (Busnel & Classe 1976). C'est pourquoi un signal sifflé à 110 dB qui devrait être en théorie de 34 dB à 10000 m l'est en fait entre 1000 et 2000 m suivant les milieux.

2.3.5.1.2. Pratique des siffleurs

Les habitants de chaque emplacement que nous avons visité ont une connaissance approfondie des conséquences des conditions météorologiques et topographiques locales. Ceci leur permet d'évaluer rapidement si les conditions de communication à distance sont optimales ou minimales et donc de choisir en conséquence la puissance avec laquelle ils doivent siffler afin de se faire comprendre.

2.3.5.2. Filtre de la Nature et bruit ambiant

Les différentes observations que nous venons de faire montrent que la réduction du spectre fréquentiel avec la distance est essentiellement due à la perte d'intensité du signal : c'est la raison pour laquelle l'ensemble des éléments encodant l'information linguistique dans une langue sifflée sont compris dans la fréquence fondamentale. La manière dont celle-ci va être affectée par le filtre formé par le milieu naturel et la capacité à émerger du bruit de fond seront des facteurs clefs pour que la communication puisse avoir lieu.

2.3.5.2.1. Adaptation aux conditions extrêmes

Le bruit

Dans les conditions habituelles d'usage du sifflement, le bruit de fond sera extrêmement variable en fonction de la situation géographique, de la topographie, du type de terrain, de la végétation, des circonstances

météorologiques, de la période de la journée (effet réverbérant des couches d'airs créées par la chaleur du soleil dans la journée) et des bruit biologiques environnants (animaux, vent, rivières et torrents). Tous ces paramètres créent un éventail large de situations, allant des conditions optimales à des situations très bruitées. Les conditions optimales sont réunies pendant les nuits sans vent. Les niveaux de bruit alors observés sont de l'ordre de 30 à 35dB et l'analyse spectrale de différents niveaux de bruits montre que ces niveaux ne sont atteints que pour des fréquences inférieures à 150 Hz. En effet, le bruit de fond n'a pas une répartition uniforme dans le domaine fréquentiel³⁰. Si le vent souffle, il y a un bruit supplémentaire, dont le niveau peut s'élever aux alentours de 50 dB. On a alors un niveau de bruit d'environ 30 dB à 1kHz et de 20 dB à 4kHz. Dans les montagnes ou les forêts où nous avons enregistré les langues sifflées en 2003 et 2004, la caractéristique principale du bruit ambiant est de n'être pas (ou très peu) constitué de ces bruits modernes, qui sont la conséquence de notre civilisation industrielle. S'il existe des routes ou des voies non goudronnées empruntées par les voitures, celles-ci sont peu nombreuses et suffisamment éloignées les unes des autres. Ceci signifie que le bruit de fond est extrêmement réduit en comparaison des milieux urbains. Les bruits de fond les plus intenses que nous ayons rencontré sont ceux de la forêt amazonienne, des grillons en montagne au début de l'été, ou encore des torrents en Turquie. Or, comme nous l'avons montré, les sifflements humains peuvent atteindre 110 à 120 dB d'intensité proche de la source dans la bande de fréquence 1-4kHz. Par conséquent, le signal a la possibilité d'émerger du bruit ambiant relativement facilement, jusqu'à des distances significatives. Il arrive assez fréquemment que des sifflements d'oiseaux viennent interférer avec le sifflement humain. Sauf à de rares occasions, les chants d'oiseaux se situent dans des plages fréquentielles légèrement différente, d'autre part, ils ont une dynamique plus régulière car ils reposent souvent sur la répétition de chants contenant des motifs stéréotypés. Quoiqu'il en soit, s'il y a interférence, l'auditeur bénéficie alors de l'effet "*cocktail party*" (Cherry 1953) qui lui permet de focaliser son attention sur la dynamique, la direction, l'éloignement et la signature qui caractérisent le sifflement de son interlocuteur.

Sifflement des merles à la Gomera

A la Gomera, les merles possèdent la faculté de copier le sifflement humain. De tels phénomènes ont rarement été observés dans la nature en d'autres lieux, mais sont relatés dans de nombreux témoignages sur cette île des Canaries et ont pu être reproduits en Angleterre par le linguiste André Classe (Busnel et Classe, 1976). De nos jours, ils sont de plus en plus rares en raison de la perte de vitalité de la langue sifflée dans la génération des 20 à 50 ans, et donc de la diminution du nombre d'occasions pour les merles d'entendre le sifflement humain.

Expérimentation dans le contexte d'un bruit de torrent en Turquie

En Turquie, de nombreux villages sont traversés par des torrents dévalant les différentes vallées depuis les hauts plateaux où les bergers partent l'été avec leur troupeau de moutons. Ces torrents produisent un bruit qui

³⁰ Le fait que les sons de fréquence basse se propagent plus loin que les sons de fréquence haute pour des raisons liées à l'ampleur de la longueur d'onde par rapport à la taille des objets rencontrés en est une des raisons. L'autre raison est liée à la nature de certains sons très fréquents de la nature, comme le bruissement des végétaux sous l'effet du vent.

empêche toute communication parlée et même criée à leur proximité ou de part et d'autre du cours d'eau, particulièrement au printemps, époque à laquelle nous nous sommes rendus sur place. Pourtant, certains métiers nécessitant une proximité avec le torrent (comme l'élevage de truites en pisciculture) sont courants dans la région et font que les habitants possèdent leur maison en bordure du torrent. A l'occasion de notre rencontre avec le propriétaire d'une petite pisciculture, dans une vallée voisine de celle de Kusköy, nous avons réalisé des enregistrements pour évaluer l'efficacité du sifflement dans ce contexte extrême.

Les Photo 23 et Photo 24 montrent la pisciculture et le torrent photographiés 4 mètres en avant du point d'enregistrement situé sur la terrasse d'une maison. Le propriétaire et un autre visiteur ont sifflé trois phrases différentes depuis une position 3 mètres en retrait du début du pont en bois, situé à proximité des bassins et surplombant le torrent. La distance de communication a été réglée à 30 m.



Photo 23 : Zone d'expérimentation dans le bruit du torrent en contrebas, pisciculture en Turquie



Photo 24 : Torrent passant en contrebas de la pisciculture

Prise de vue depuis le point d'enregistrement. Malgré les apparences, ce torrent produit un son assourdissant qui empêche toute communication claire, même criée depuis la maison (d'où la photo est prise) jusqu'à l'autre côté

Le torrent fait un bruit que nous avons évalué a posteriori à plus de 70 dB en le comparant au bruit des torrents des Alpes de force égale enregistrés à la même distance. En raison de la fonte des neiges d'avril, le torrent turc était particulièrement fort et présentait un rapide en aval de la photo dont on perçoit clairement la puissance sur l'enregistrement sonore.

Nous avons pu observer que le sifflement articulé est bien adapté à la communication dans ce type de bruit. Ainsi sur la Figure 15, la forme des modulations sifflées du pisciculteur turc émerge clairement.

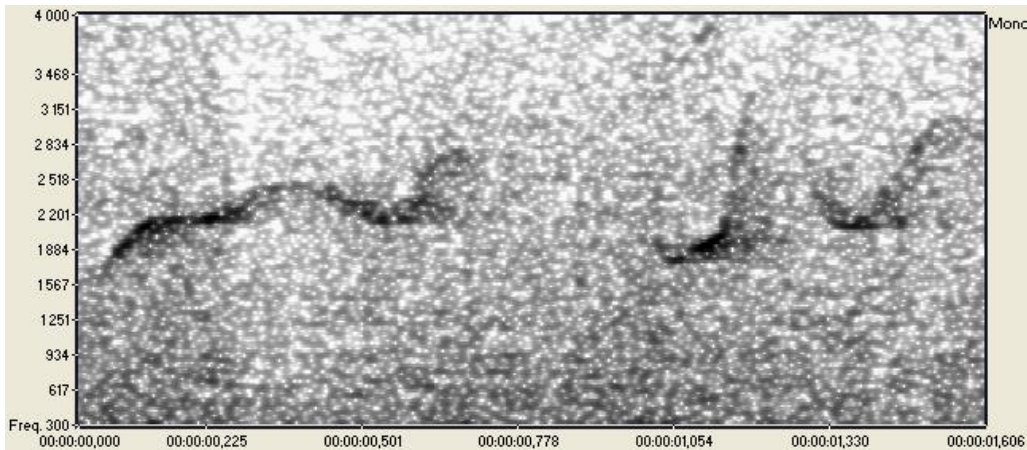


Figure 15 : Parole sifflée turque émergeant du bruit d'un torrent (communication à 30m)

Effet de la réverbération dans les montagnes

Dans certaines vallées mises à profit par les siffleurs pour communiquer, un phénomène de prolongation du sifflement et d'écho peut être entendu : c'est une manifestation extrême de la réverbération due aux parois montagneuses. Ce facteur peut perturber l'intelligibilité car il modifie le signal d'origine. Deux expériences nous ont permis de l'observer de manière claire.

Expérience 1 : Echo en conditions d'usage naturel à La Gomera

Une série d'enregistrements a été réalisée à la demande d'un des siffleurs dans un de ses lieux favoris pour la propagation des sons et de l'écho. L'enregistrement typique d'une phrase dans ces conditions est présenté Figure 16.



Photo 25 : Luis sifflant avec la plus grande puissance possible

Il siffle depuis un surplomb au-dessus d'une vallée pour provoquer une réverbération maximale. L'habitude de mettre sa main en porte voix vise à concentrer le champ de parole. Nous avons observé cet usage qu'à la Gomera.



Photo 26 : Type de terrain où l'expérience a été menée à la Gomera

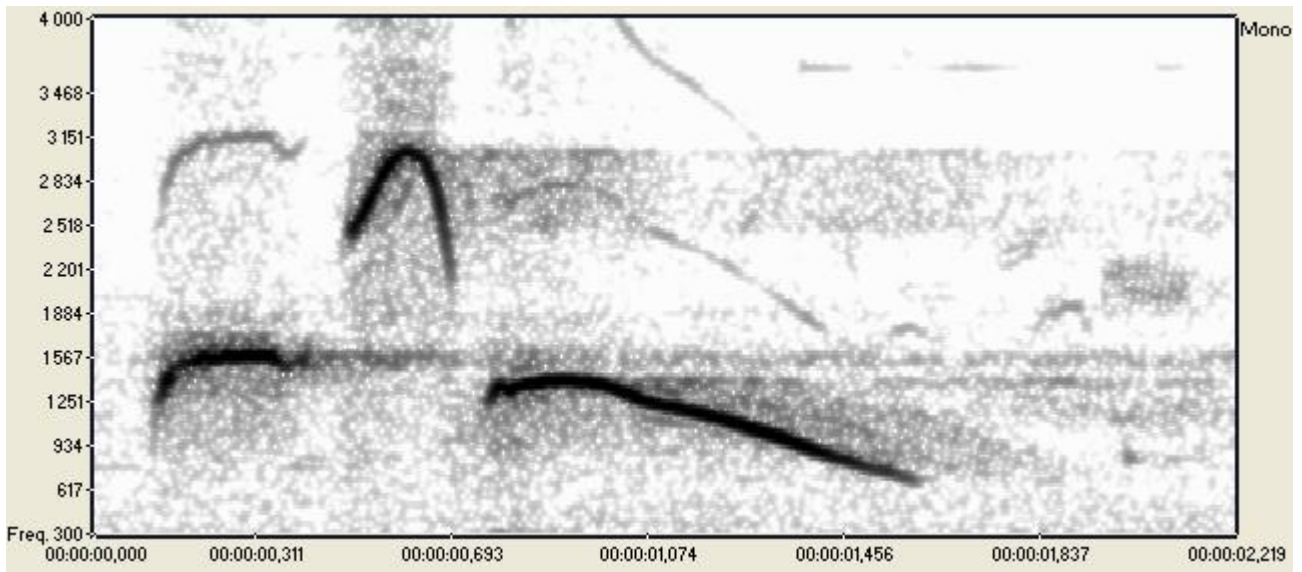


Figure 16 : Mot espagnol « a-mi-go » en enregistré à 10m

On remarque que chaque bande de fréquence provoque une traînée caractéristique d'une très forte réverbération du milieu

Expérience 2 : Diffusion contrôlée de phrases sifflées dans une vallée du Vercors

a) Principe

Avec le dispositif de diffusion de sons décrit en détails en Annexe F et §4.3.4.3.2, nous avons diffusé des sifflements de plusieurs langues (grec, silbo et turc) toujours environ au même niveau (100 dB), et nous les avons enregistré à des distances différentes (100, 150, 300, 550m et un enregistrement contrôle à 4 m³¹).

b) Analyse de l'évolution de la réverbération

Un phénomène robuste apparaît : la réverbération diminue avec la distance par effet d'absorption de la nature. Ceci a pour effet de clarifier les sons à 300m par rapport à ceux de 100m. On observe aussi une dégradation du son dont nous initierons l'analyse dans la dernière partie de cette thèse (en particulier en ce qui concerne les conséquences phonétiques de cette dégradation).

³¹ L'enregistrement contrôle permet de vérifier l'effet du haut-parleur sur le signal grâce à une comparaison avec l'enregistrement d'origine. La distance d'enregistrement à 4m de la source est justifiée par le souci de se positionner en champ lointain, c'est à dire dans une zone où l'influence des bruits de la source d'émission est négligeable.

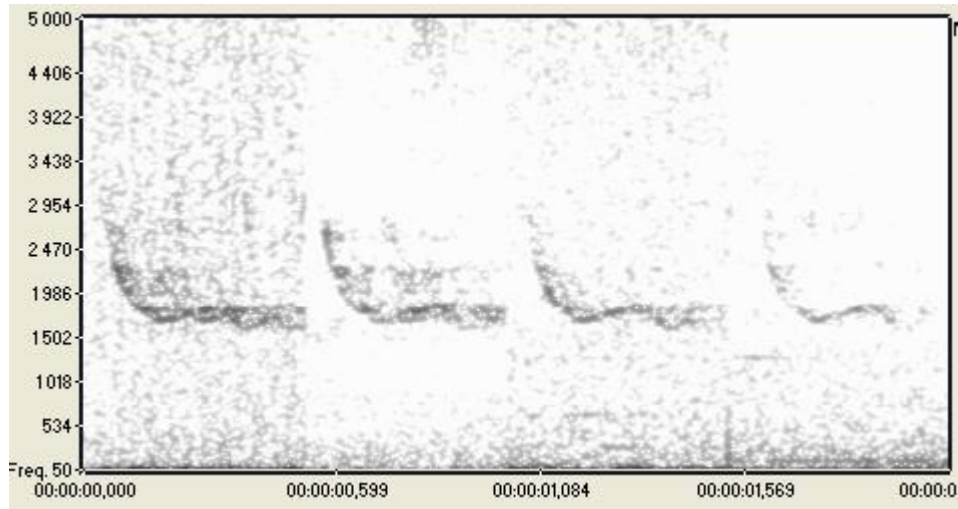


Figure 17 : Mot grec /thelo/ enregistré à 100, 150, 300 et 550 m

Expérience complémentaire :

A la distance de 100 m, un enregistrement complémentaire a été effectué en changeant l'orientation du haut-parleur de 45 degrés par rapport à l'orientation initiale comme indiqué sur le schéma en §4.3.4.3.2. Ceci a été effectué à l'origine pour observer les modifications d'intensité engendrées par un tel changement (effet directionnel). Mais nous avons aussi constaté des changements significatifs en ce qui concerne la réverbération (Figure 18).

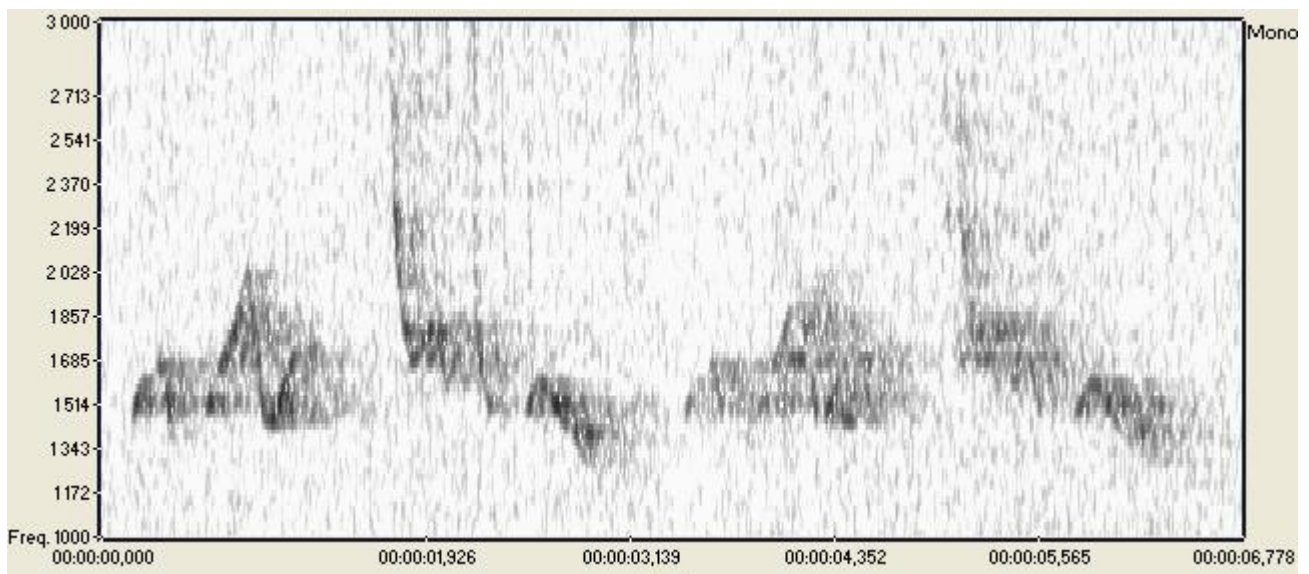


Figure 18 : Phrase grecque /parakalo thelo na fao/ « s'il te plaît, j'ai faim ». Enregistrée en face puis avec un angle de 45° par rapport à la source

La réverbération est bien plus élevée pour le second enregistrement (45°). Le récepteur ne reçoit plus l'onde directe la plus intense car il n'est plus dans le champ privilégié par la source. Le signal est beaucoup perturbé même s'il reste intelligible très facilement. Cette expérience explique pourquoi les siffleurs cherchent toujours à se faire face ainsi que l'habitude courante à la Gomera de faire un porte-voix avec ses mains (cela pour restreindre l'effet de réverbération du signal en le concentrant vers l'auditeur).

2.3.5.2.2. Analyse de la réponse du filtre de la nature dans les montagnes et les forêts

Une corrélation est souvent observée entre les contraintes environnementales et les comportements acoustiques de communication (Aubin, 2004 ; Mathevon et al 2004), la parole sifflée en est un exemple humain.

Dans les forêts

Le domaine de la bioacoustique a fournit depuis quelques années une analyse des sifflements de nombreuses espèces vivant dans les forêts, en particulier des oiseaux. Marler (1955) observa que ce mode de production sonore était toujours utilisé pour les communications à distance. Comme nous l'avons vu, une partie de son efficacité est due à une bande de fréquence étroite située à une fréquence supérieure à celle de la zone la plus intense de bruit de fond du milieu ambiant. Des analyses en forêt de la réverbération³² naturelle ont été effectuées plus récemment. Une étude particulièrement pertinente pour notre compréhension du développement des sifflements par les chasseurs en forêt a démontré qu'il existe un domaine central de fréquences entre 1kHz et 3 kHz (bande de fréquence des sifflements humains) pour lequel la réverbération varie relativement peu avec la distance (Padgham 2004).

Dans les montagnes

Il existe étonnamment peu de données sur la propagation des sons en milieu montagneux. D'une manière générale on peut affirmer que l'acoustique des montagnes est très dépendante de la configuration locale des surfaces des vallées et des massifs. Cependant le comportement similaire des siffleurs dans différentes régions montagneuses démontre que les vallées sont toujours utilisées comme des guides d'ondes efficaces car elles favorisent la propagation des signaux sifflés. De plus, comme dans le cas des forêts, les propriétés de réverbération dans les montagnes pourraient avoir de nombreuses propriétés communes en ce qui concerne le filtre fréquentiel naturel qu'elles constituent. Pourtant, ce filtre n'a jamais été étudié en détail dans une recherche du domaine publique (com. pers. Padgham 2005). Nous avons tenté lors d'une expérience pilote de l'évaluer en enregistrant un bruit blanc à plusieurs distances et des signaux carrés d'une fréquence de 700 Hz et 1600 Hz. Notre dispositif (voir Annexe G et §4.3.4.3.2), bien qu'adapté à la diffusion de sifflements ou de la parole s'est révélé ne pas être assez précis pour évaluer précisément le filtre de la nature.

2.3.6. Distances limites d'intelligibilité de la voix parlée, de la voix criée et de la parole sifflée

2.3.6.1. Introduction

Le fait d'augmenter la distance entre deux individus en situation de communication linguistique entraîne des variations spectrales inégales, une diminution du rapport signal sur bruit due à l'atténuation de l'intensité des sons à l'oreille du récepteur et une augmentation du temps de réverbération. Ces trois phénomènes participent à l'évaluation de la distance de l'interlocuteur (Canevet 1989). Or, pour augmenter la portée de sa voix, l'individu en augmente le niveau de manière presque inconsciente et, à mesure que la distance augmente, change progressivement de registre pour émettre une voix criée. Ce phénomène a été décrit principalement dans les années 50 sous le nom d'effet "Lombard": *"some years ago it was noticed that a speaker with normal hearing would unconsciously raise the level of his voice to compensate for the level of noise in which he was speaking [...] the Lombard reaction, while a general one varies in magnitude, as do other voice measures, among individuals"* (Dreher & O'Neill, 1957 p.1320). Handley et Steer (1949) ont remarqué qu'en présence de bruit, les locuteurs avaient tendance également à réduire leur débit de parole et à prolonger les syllabes. Le passage de la voix parlée à la voix criée est une intensification substantielle de tous ces phénomènes. Mais il existe une distance à laquelle le cri va épuiser les cordes vocales qui auront tendance à érailler la voix, d'abord de manière douce puis de manière accentuée au point qu'elle peut ensuite dérailler si l'effort est trop grand. La fatigue biologique provoquée dans ce cas limite est rapide. Les conversations criées à distances sont donc forcément de courte durée. Chez les populations connaissant les langues sifflées, le cri est très rarement pratiqué, on lui préfère le sifflement, car l'effort dans ce cas n'a pas de conséquences fâcheuses sur la santé des cordes vocales. Afin de confirmer ces observations sur les limites de la voix parlée, de donner un ordre de grandeur des distances en jeu et d'évaluer l'avantage des langues sifflées sur le cri en montagne, nous avons réalisé trois séries de mesures lors de trois expériences en plein air menées, dans des milieux montagneux.

2.3.6.2. Expérimentations : portées limites la voix parlée et de la voix criée

Peu d'études existent, à notre connaissance, sur la parole à distance. La plus connue est celle de Gardner (1969) sur l'évaluation de la distance. Notre approche est différente, puisqu'il s'agit pour nous de trouver, autant que possible, les ordres de grandeurs des limites d'intelligibilité de la voix parlée et de la voix criée dans des conditions de plein air, du type de celles rencontrées dans les milieux ruraux. Les résultats présentés ici sont issus d'*expériences pilotes* permettant d'expliquer l'intérêt du sifflement. Les résultats obtenus sont en cours de validation avec plus de sujets, mais il nous a semblé intéressant d'avancer ici les données obtenues pour l'instant (avec un nombre très restreint de sujets) car elles expliquent en partie les choix acoustiques des siffleurs. La difficulté du contrôle des paramètres de la voix et des paramètres de bruit en milieu ouvert explique pourquoi de telles analyses n'ont jamais été menées en linguistique. Seul notre intérêt pour le sifflement et pour l'étude du langage dans des conditions naturelles de pratique et d'évolution peuvent justifier le fait de conserver autant de paramètres variables lors d'une étude sur le langage.

L'élaboration du protocole a subi quelques améliorations depuis que nous les décrivons succinctement en conclusion de cette expérience.

2.3.6.2.1. Expérience 1 : ordre de grandeur de la limite de la voix parlée

Cadre de l'étude

Un grand champ en terre dure et en forme de cirque a été choisi dans les Alpes du Nord, à 1350m d'altitude. Le choix d'un tel milieu se justifie par le souci d'être dans des conditions optimales de propagation des sons sans toutefois avoir les désavantages de réverbération d'un cirque fait de façades rocheuses.

Contrôle des sujets

Deux sujets ont prêté leur voix à l'expérience (un homme et une femme). Leur audition a été testée préalablement comme normale par audiogramme.

Protocole

L'un des sujets parlait de manière continue avec pour instruction de raconter sa journée depuis l'aube tout en gardant le regard fixé sur le sonomètre qu'il tenait dans les mains de manière à maintenir les maxima de sa parole dans une zone d'amplitude de 10dB de largeur (60-70 dB dans un premier temps en partant de l'auditeur). Il ne devait pas regarder son interlocuteur pour ne pas corriger inconsciemment le niveau d'émission. Le sujet émetteur reculait par à-coups de trois pas en arrière en s'éloignant de l'auditeur et continuait de parler. L'auditeur devait signaler quand il ne comprenait plus les phrases de l'émetteur. A ce moment là, le locuteur et l'auditeur cherchaient ensemble, par dichotomie, la distance qui correspondait au point où l'intelligibilité de la parole était perdue. Une fois ce point trouvé et la distance mesurée avec un mètre, le locuteur repartait du point trouvé en changeant de niveau de voix (70-80 dB). L'expérience a été arrêtée après 80 dB de voix car ensuite, il est admis que l'on bascule progressivement vers la voix criée. Pour chaque mesure le processus a été répété deux fois avec des résultats très stables en terme de distances.

Caractéristiques de la voix des deux sujets

VoixF= Voix de Femme (Fomédian = 200 Hz)

VoixM= Voix d'Homme (Fomédian= 120 Hz)

Caractéristique du bruit ambiant

Le bruit ambiant a été mesuré à plusieurs reprises aux alentours de 35-40 dB. Tout élément perturbateur (moteurs d'avion, beuglement de vache) a occasionné l'interruption momentanée de l'expérience.

Résultats

Plusieurs phénomènes intéressants ont été observés. Ils sont résumés dans le tableau ci dessous :

Tableau 7 : Distances limites d'intelligibilité de la voix parlée contrôlée

Sons		Distance limite d'intelligibilité (en m)	
Type de voix	Amax	Distance	Zone tampon (variabilité)
VoixF parlée	60-70 dB	25,50	N/A
VoixF parlée	70-80 dB	53,30	N/A
VoixM parlée	60-70 dB	22,90	1
VoixM parlée	70-80 dB	46,80	N/A

Tout d'abord, à Fo égal, une augmentation de niveau de 10 dB entraîne un allongement de la distance limite d'intelligibilité. Dans les conditions de l'expérience, les mesures ont révélé un peu plus qu'un doublement de la distance.

D'autre part, il semble que un Fo plus élevé (voix de femme) semble entraîner un allongement de la distance limite d'intelligibilité. Cet effet est à vérifier mais semble plausible car plus le Fo est élevé plus l'ensemble de la voix se place de manière évidente audessus du bruit de fond.

Une zone tampon a été trouvée à l'intérieur de laquelle la perte d'intelligibilité se fait pour un même sujet. Elle est relativement courte et d'environ 1m dans tous les cas mais nous ne l'avons mesuré de manière précise qu'à une seule distance. A l'intérieur de cette zone, la perte de l'intelligibilité de certains mots intervient dans un premier temps puis par effet de cascade et de manière très rapide la perte d'intelligibilité totale. Passé cette distance et même en accroissant son attention qui était déjà élevée, l'auditeur ne parvient plus à reconstruire le sens des phrases. Cette expérience confirme de nombreuses approches de l'intelligibilité à distance (en particulier en salles de concert) qui ont analysé que ce phénomène n'était pas linéaire.

Les tendances que nous recherchions sont les suivantes : la voix parlée dont les maxima d'amplitude restent entre 60 et 70 dB est intelligible jusqu'à environ 22-25 m dans un milieu naturel optimal, mais son écoute confortable n'est effective que jusqu'à environ 15-20 m ; la voix parlée jusqu'à 80 dB est intelligible jusqu'à environ 50 m dans un milieu naturel optimal mais son écoute n'est confortable que jusqu'à environ 30-35m.

2.3.6.2.2. Expérience 2 : ordre de grandeur de la limite de la voix criée

Cadre de l'étude

Le milieu choisi était une vallée dans le Vercors (voir § 4.3.4.3).

Objectif

L'expérience a été mise en place afin de comparer les distances limites d'intelligibilité de la voix criée aux distances limites d'intelligibilité de la parole sifflée dans le même milieu. Seul un ordre de grandeur devait

être obtenu. Par contre une attention toute particulière a été portée à l'enregistrement et à la mesure des niveaux d'émission afin d'en extraire des tendances d'évolution de stratégie du cri.

Sujet

Le sujet volontaire (un homme) pour crier possède une voix parlée ayant un Fo bas.

Protocole

Le crieur reste fixe alors que l'expérimentateur recule de 50 m en 50 m³³. Quand l'expérimentateur est prêt, le crieur prononce 4 longues phrases en Français à deux reprises afin que l'expérimentateur enregistre tout en jugeant en direct de l'intelligibilité dans le casque puis sans le casque³⁴. L'expérience s'est arrêtée lorsque l'expérimentateur ne pouvait plus comprendre les mots des phrases.

Résultats

Les données mesurées sont présentées dans le tableau suivant. L'intelligibilité a été évaluée dans le casque sur le terrain lors de la prise de son pour qu'il y ait correspondance avec les mesures faites sur les enregistrements. Le bruit de fond est de 40 à 45 dB sans vent (présence de grillons)

³³ Distances mesurées avec un mètre déroulant de 50 m

³⁴ A priori le micro utilisé n'étant pas directionnel, aucune différence ne devrait apparaître mais il se peut qu'un confort d'écoute lié à la localisation plus précise sans le casque améliore les performances. L'écoute dans le casque était nécessaire afin de pouvoir interpréter les sons enregistrés.

Tableau 8 : Données caractéristiques de l'émission et de la perception d'une voix criée à plusieurs distances

Distance (en m)	Emetteur			Récepteur	
	Niveau d'émission (en dB)		Allongement par rapport à 50 m (en %)	Elévation des voyelles par rapport à 50 m (en Hz)	Intelligibilité
	Moyen	Max			
	effets de voix				
50	85	95	0	0	Bonne, écoute très confortable
	Voix criée maîtrisée				
100	88	97	0,5	55	Bonne, écoute confortable
	Voix maîtrisée, fin de mots accentués				
150	93	107	5	105	Bonne, écoute attentive Perte quelques rares syllabes
	Voix parfois légèrement éraillée en fin de mots				
200	95	108	40	155	Ecoute attentive nécessaire Reconstruction de certaines syllabes
	voix flanche parfois en fin de mots				
250	98	108	45	200	Difficile mais possible avec une grande attention, perte de nombreuses syllabes
	saturation de la voix, fatigue biologique				
300	98	108	Non mesuré	Non mesuré	Perte totale d'intelligibilité

Le phénomène d'effet Lombard a été confirmé de même que la stratégie d'allongement des syllabes. Une progression a été observée comme suit : alors qu'à 50 m, le crieur ne force pas et adapte son augmentation de niveau, à 100 m il commence à accentuer certaines fin de mots. A 150 m il commence à allonger ses phrases et atteint des maxima de niveau qui frôlent ses limites. A 200 m, il atteint ses limites de niveau, des pics d'intensité limités à 110 dB peuvent rapidement lui dégrader la voix s'il insiste ; à ce stade, il reste intelligible mais au prix d'un allongement des mots de 40% en moyenne. A 250 m, le crieur s'abîme la voix, l'allongement supplémentaire est dû à des temps de récupération après les fins de mots, mais la communication reste possible dans des conditions toutefois très difficiles qui demandent une grande attention d'écoute. A 300 m l'intelligibilité est perdue. Les écoutes, avec ou sans casque, ont donné les mêmes résultats à toutes les distances.

Le sonagramme, présenté Figure 19, montre un exemple d'extrait d'une des phrases enregistrées de 50 à 250m. On remarque que le bruit fait par les grillons n'affecte pas la zone où se placent les principales harmoniques soulignées par le cri. On observe aussi qu'une réverbération importante affecte le signal dès 100m mais celle-ci n'a pas été mesurée précisément.

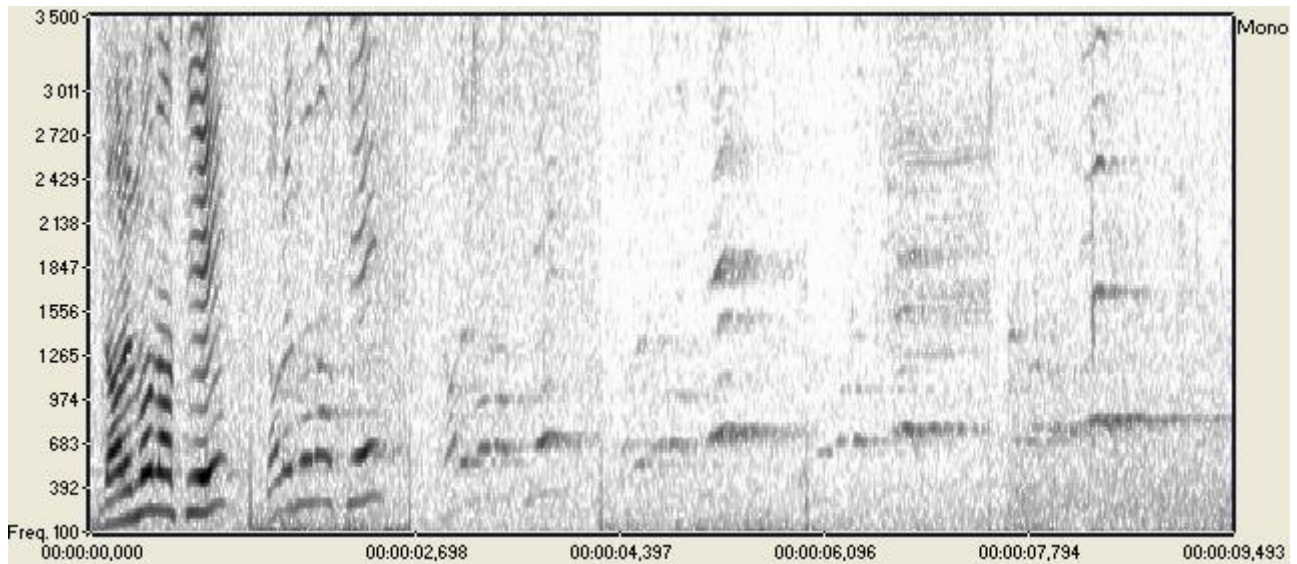


Figure 19 : extrait de la même phrase parlée à 10 m (référence) puis criée à 50, 100, 150, 200 et 250 m

On observe une forte dégradation des harmoniques de la voix avec le maintien de certaines d'entre elles sur lesquelles le locuteur insiste en situation de communication à distance.

Conclusion

Trois phénomènes sont particulièrement remarquables dans l'ensemble de ces résultats :

- Le crieur allonge les phrases à partir du moment où il sature au niveau de l'amplitude.
- Le récepteur commence à perdre de l'intelligibilité à partir du moment où la voix du crieur sature, mais cette perte est comblée un moment par l'allongement
- Le crieur augmente la fréquence médiane des syllabes des mots qu'il prononce de manière quasi-linéaire par rapport à la distance (pente d'environ 1 Hz/m) comme nous pouvons le voir sur la Figure 20

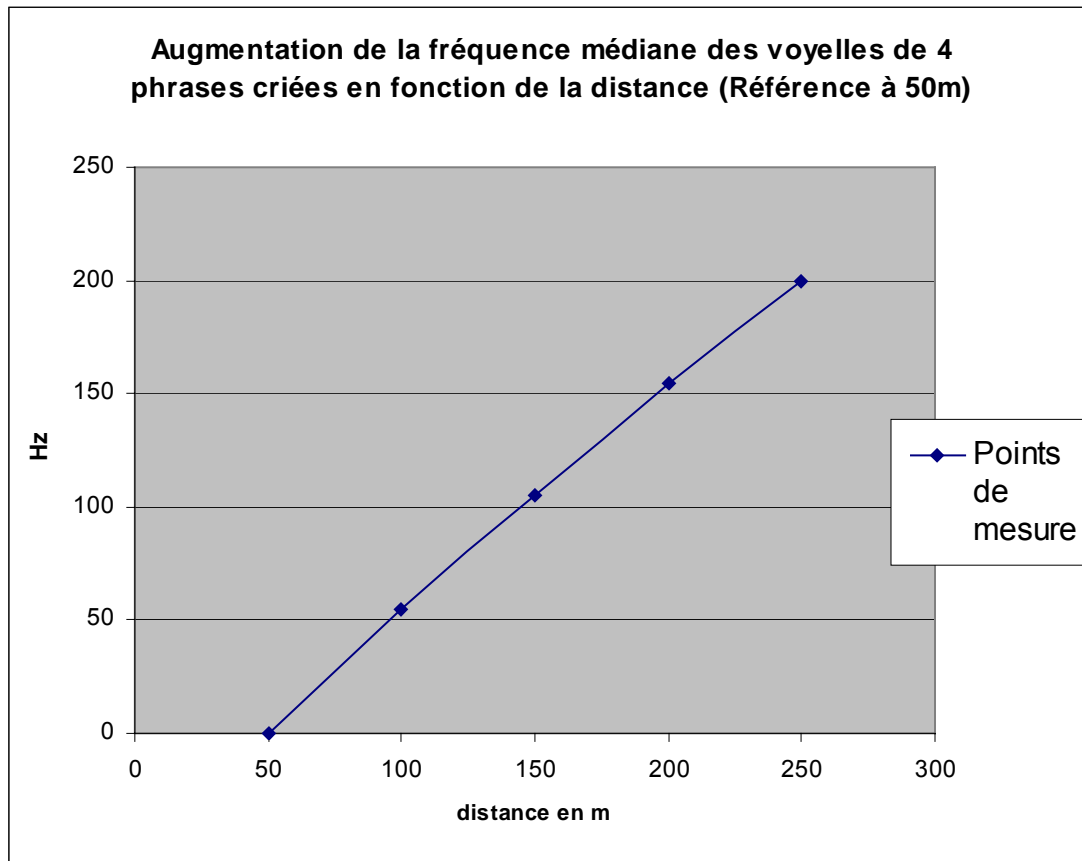


Figure 20 : Mesure de la fréquence de la voix criée à plusieurs distances

Finalement, l'ordre de grandeur que nous cherchions est le suivant : en montagne dans une vallée formant un guide d'onde de qualité intermédiaire, la voix criée ne reste intelligible que jusqu'à environ 200 m.

2.3.6.2.3. Critique des protocoles et perspectives

Les deux dernières expériences ont permis de donner un ordre de grandeur des distances atteintes en milieu ouvert dans des environnements montagneux définis. Tout nous porte à croire que les distances atteintes dans ces milieux ont des caractéristiques très variables en fonction des voix des sujets et du terrain mais que les rapports de ces distances sont assez constants si l'on considère un lieu donné. Seul une étude étendue à un grand nombre de milieux et à un grand nombre de sujets permettrait de tirer des conclusions solides sur les paramètres qui font varier l'intelligibilité et la portée de la voix parlée et criée dans ces conditions. Le contrôle du niveau d'émission gagnerait à être contrôlé plus précisément, par exemple en utilisant des phrases préenregistrées et normalisées (toujours avec un enregistrement contrôle à 4 m)³⁵.

2.3.6.2.4. Voix criée Aiguë : un usage traditionnel récurrent

Lors de notre enquête en Amazonie péruvienne, nous avons pu observer, dans les communautés *Boras* qui nous ont hébergés, l'usage épisodique de la parole criée aiguë pour parler à distance. L'élocution paraît

³⁵ A partir de 4 m on peut considérer que l'on n'est plus en champ proche.

différente de celle de la parole normale et il est difficile de la reproduire. Il semble que ce phénomène soit assez répandu dans d'autres groupes linguistiques notamment en milieux montagneux. Lors de notre enquête sur les langues sifflées en Asie, un de nos contacts nous a signalé l'existence de ce type de pratique à plusieurs endroits (au Zanskar par exemple): *"There is no kind of music or whistle in long distant communication, but they use to talk in long distant by shouting, like from one side of the valley to another side of the valley or from the roof top to their far away field. But for us it is not possible to understand or hear what they say, when they call to us from very far"* (com. pers. Dorjee 2004). Cette personne est originaire de la région et parle la langue locale mais il semble que, comme les langues sifflées, la parole à distance soit peu intelligible aux personnes qui n'en ont pas un usage courant.

2.3.6.3. Portées usuelles de la parole sifflée

2.3.6.3.1. Observations de terrain : portée et niveau d'émission

Le niveau d'amplitude de production de sifflement est nécessairement associé à la distance de dialogue entre les interlocuteurs car c'est en réglant la puissance du flux d'air dans sa bouche que le siffleur adapte l'amplitude de son signal pour atteindre sa cible perceptive. Les sifflements à courte distance (jusqu'à 200m) sont produits de 60 à 80 dB en moyenne (ce qui est de l'ordre des amplitudes utilisées dans la parole humaine). Pour atteindre des distances moyennes (jusqu'à 500 m), les amplitudes utilisées sont de l'ordre de 80 à 100 dB, le sifflement avec la feuille se situe en général autour de 100 dB et permet d'atteindre des distances de 500m au maximum (sauf dans le cas où un guide d'onde très favorable se présente). Pour les grandes distances les siffleurs peuvent monter jusqu'à une intensité de 110 à 120 dB (mesure à 1 m de la source). Les distances maximales mesurées ont été obtenues à La Gomera. Busnel et Classe font état de communications à plus de 8 km (Busnel et Classe 1976). Ces valeurs maximales sont exceptionnelles. Les conditions d'usage sont plus souvent de l'ordre de 1 à 2 km.

2.3.6.4. Conclusions

Dans cette partie nous avons présenté des expérimentations en plein air permettant de comprendre dans un premier temps l'effet de l'environnement sur le sifflement et l'avantage de la bande de fréquence de ce dernier, car malgré de fortes perturbations l'intelligibilité reste élevée. Dans un deuxième temps nous avons analysé l'avantage du sifflement sur la voix parlée et criée tout en montrant la continuité qui existe entre les différentes stratégies de parole à mesure que la distance s'accroît. En effet, nous avons montré que le sifflement est l'extension naturelle des stratégies de la parole criée car il n'utilise pas les cordes vocales qui sont saturées par l'effort du cri dès 100 dB³⁶ et car il se place à une fréquence élevée permettant de minimiser le rapport signal sur bruit. Nous verrons par la suite que l'allongement de la phrase est aussi une caractéristique du sifflement. C'est pourquoi nos résultats mettent en évidence l'avantage du sifflement sur le cri tant en terme d'effort qu'en termes de confort et d'efficacité d'écoute.

³⁶ Permettant d'atteindre 200 à 250 m dans la vallée où nous avons réalisé nos mesures.

Les distances mesurées sont fonction du milieu et ne peuvent pas être généralisées mais leur ordre de grandeur permet de se rendre compte rapidement de l'avantage du sifflement sur les techniques utilisant la voix. La Figure 21 illustre cette conclusion.

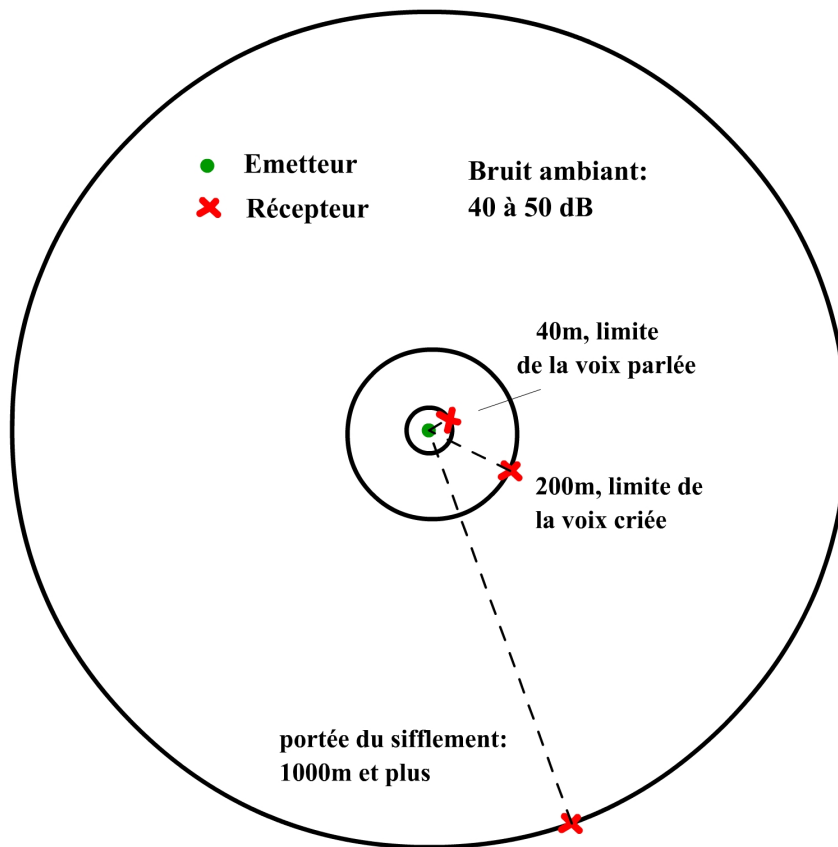


Figure 21 : Bilan des ordres de grandeur des limites d'intelligibilité de la voix parlée, de la voix criée et de la parole sifflée

2.3.7. Dynamique de la phrase sifflée

2.3.7.1. Dynamique de l'amplitude

2.3.7.1.1. Analyse préliminaire

Comme dans la parole classique, et complémentairement aux modulations de fréquences, le signal de la parole sifflée contient des modulations d'amplitude. Nous avons observé deux catégories de dynamique de modulations d'amplitude. Celle des sifflements par rapport au bruit de fond, que nous appelons dynamique générale de l'amplitude et celle des sifflements les plus puissants par rapport aux sifflements les moins puissants, que nous appelons dynamique intra-sifflements.

Dynamique générale de l'amplitude

La dynamique générale est relative au bruit de fond et à la puissance utilisée. Pour montrer la différence d'émergence du bruit de fond à 2 distances différentes d'enregistrement nous avons repris l'exemple du dialogue spontané grec (voir sonagramme Figure 10). On observe que la parole sifflée du premier locuteur (situé à 150m) émerge de plus de 20 dB du bruit de la bande de fréquence des sifflements (Figure 22). Par contre il n'émerge pas du bruit de fond général (Figure 23). Pourtant l'interlocuteur comprenait parfaitement tous les propos. Il semble donc que c'est le bruit local qui soit important au niveau de la perception. Nous en verrons les raisons dans la partie dédiée à l'intelligibilité. Les sifflements enregistrés à courte distance émergent de plus de 40 dB de la bande des sifflements et de plus de 20dB du bruit de fond général (Figure 24).

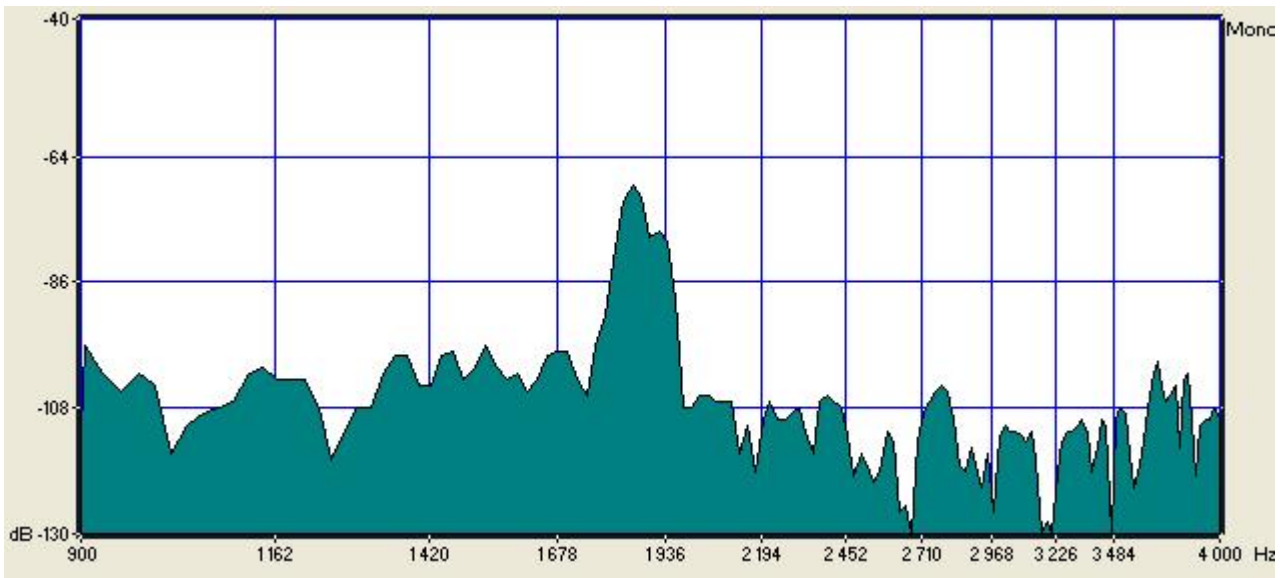


Figure 22 : Emergence de la parole sifflée du premier siffleur Grec (situé à 150m dans le dialogue Figure 10, exemple de voyelle à 1800 Hz) du bruit de fond de la bande des sifflements (900 à 4000 Hz)

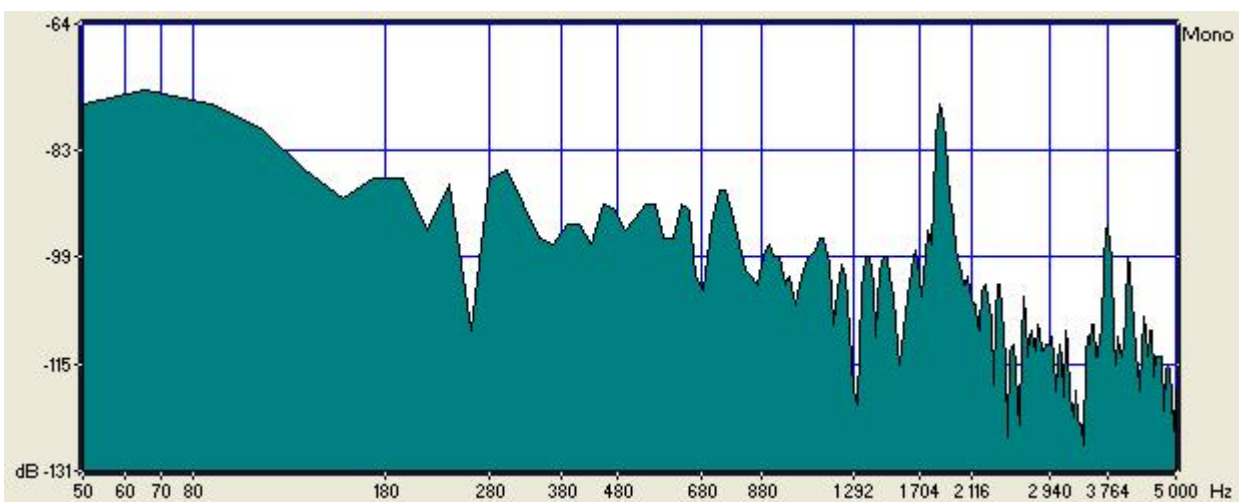


Figure 23 : Emergence du sifflement (voyelle à 1900 Hz) du premier siffleur Grec (à 150 m) de l'ensemble du bruit de fond

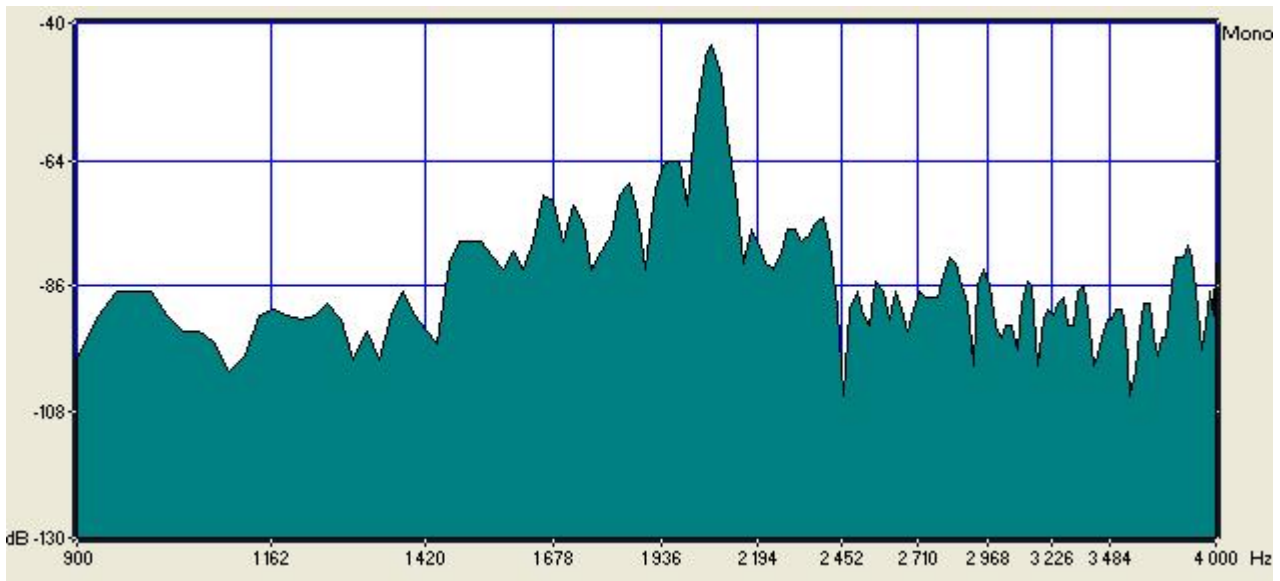


Figure 24 : Voyelle du dialogue grec, émergence du bruit de fond de la bande usuelle des sifflements (900 à 4000 Hz) de la parole du deuxième siffleur (proche)

Dynamique intra sifflements

La dynamique intra sifflements couvre un intervalle de moins de 20 dB dans une même phrase (couramment moins de 12 dB) qu'elles que soient les langues. Une telle bande d'amplitude utile est justifiée par la nécessité d'émerger du bruit. L'enveloppe de l'amplitude d'une phrase sifflée définit une répartition de l'énergie sonore qui permet de caractériser le débit d'élocution à travers des ensembles énergétiques qui marquent le plus souvent les différentes syllabes (ou unités de paroles).

2.3.7.1.2. Comparaison avec la voix parlée

La dynamique de l'amplitude de la voix parlée est plus étendue car elle dépasse souvent 50 dB dans une même phrase. Malgré cela, une étude comparée des variations relatives d'amplitudes des mêmes énoncés avec une voix parlée et avec la parole sifflée fait apparaître un grand nombre de corrélations.

Approches précédentes dans ce domaine

Très peu d'analyses comparées de l'amplitude du sifflement et de la voix ont été réalisées dans le passé. Cependant, certains scientifiques ont signalé l'intérêt du phénomène. Ainsi Busnel, qui a ouvert la voie dans ce domaine, explique que *"Complétement à la modulation de fréquence, il y a dans le sifflement une modulation d'amplitude, qui, avec les temps de silences constitue ce que j'appellerai peut être à tort, la ligne mélodique. Ce n'est pas mon propos d'en faire une étude exhaustive, mais il paraît intéressant d'en donner un exemple à l'intention des phonéticiens. [...] (On constate sur les tracés) que la séparation des sous ensembles reste identique et donc que la ligne mélodique bien qu'étalée dans le sifflement reste la même, ce qui apporte un élément de reconnaissance de plus au travers du conditionnement au vocabulaire courant"* (Busnel 1970 p. 56).

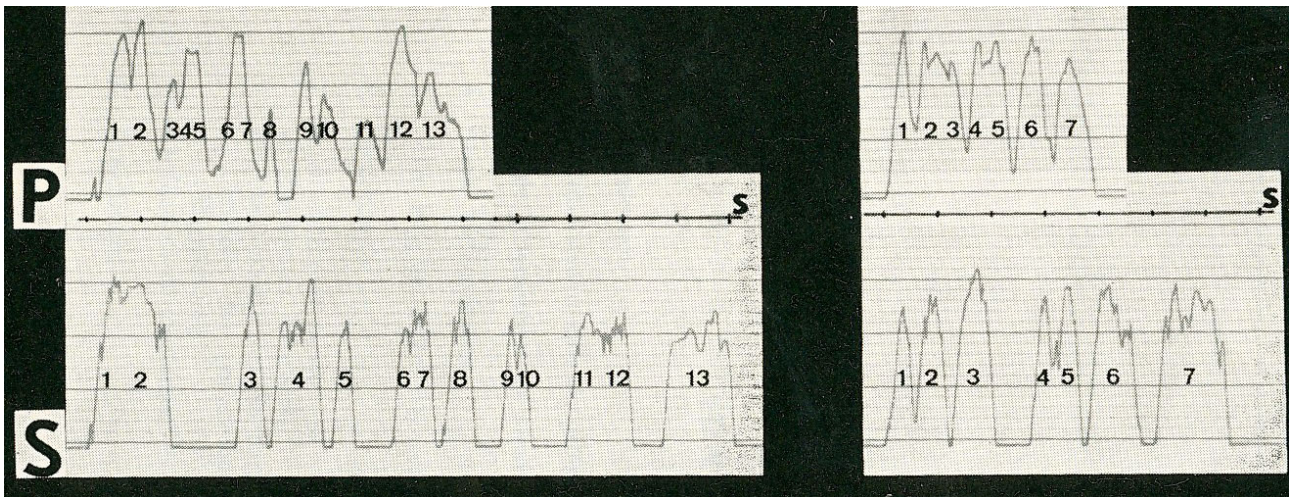


Figure 25 : Représentation des variations d'amplitude de deux phrases turques

P indique la version parlée et S la version sifflée de chacune des phrases (Busnel 1970, p.75). Le découpage par sous-ensembles³⁷ est indiqué par des chiffres

Deux autres types d'études ont apporté quelques éléments de réflexion sur le sujet :

-Tout d'abord Busnel et al (1989) ont remarqué dans une analyse préliminaire du hmong: *"sur l'oscillogramme d'une phrase on voit qu'entre les groupes d'énergie qui correspondent aux syllabes, des interruptions totales du signal marquent la place des consonnes sourdes. Mais on rencontre aussi très souvent sur ces frontières syllabiques des diminutions relatives d'énergie que l'on est en droit d'attribuer à des qualités consonantiques [...] Une étude approfondie de ces divers indices reste à entreprendre et nécessiterait, pour être rigoureuse, d'être faite à partir d'enregistrements sur un langage sifflé encore bien vivace."* (Busnel et al 1989, p.43).

-Deuxièmement, en ce qui concerne le silbo, quelques éléments de détails peuvent être extraits des analyses publiées :

a) En ce qui concerne le voisement : Classe (1957) a fourni des éléments de détail sur le silbo, indiquant que les voisements sont parfois réalisés par une amplitude continue. Il a par exemple remarqué que c'était le cas de la consonne [β]. Plus récemment Rialland (2003) a confirmé l'approche de Classe grâce à une analyse sur oscillogramme : *"We observe that the Ho (fréquence fondamentale du sifflement) is not interrupted in the realisation of whistled [aβa] and [aγa]"*.³⁸ Nous avons pu confirmer cette remarque pour le grec et le turc et le schéma de la Figure 26 l'illustre pour l'espagnol.

³⁷ Ces sous-ensembles que nous appelons unités de parole sont la plupart du temps syllabiques ou bisyllabiques.

³⁸ Comme nous le verrons dans la partie typologie, d'après Classe (1956, 1957), [γ] n'est jamais réalisé en Gomero parlé, contrairement à l'espagnol Castillan, ce qui explique qu'elle soit réalisée comme un [β].

b) Classe (1955) a remarqué que le [r] et le [rr] étaient réalisés différemment (Busnel et Classe, 1976). Rialland a confirmé ces remarques: *"Enveloppe modulations do not only carry over the stop vs. continuant distinction in Silbo. They also transpose tapped r and trilled rr quite well, reproducing their typical alternation of peaks and valleys. [...] The envelope also contains cues to the distinction between nasal and voiced stop continuants but these cues are unstable and the existence of this contrast in Silbo is debatable"* (Rialland, 2003, p.2132).

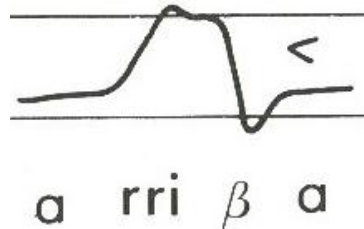


Figure 26 : Illustration de deux continuités d'amplitude (Busnel et Classe, 1976, p.66)

c) En ce qui concerne les différences, Rialland (2003) a trouvé qu'il existe quelques différences notables entre le sifflement et la voix, en particulier dans le cas des consonnes qui utilisent des fréquences très hautes de la voix que le sifflement semble éliminer: *"the signal envelope is different in speech and Silbo as spoken fricatives and affricates involve friction noise, triggering a peak in the envelope"*. (Ibid. p.2133). Nous n'avons pas pu confirmer cette différence en grec ni même en silbo comme l'illustre la Figure 27.

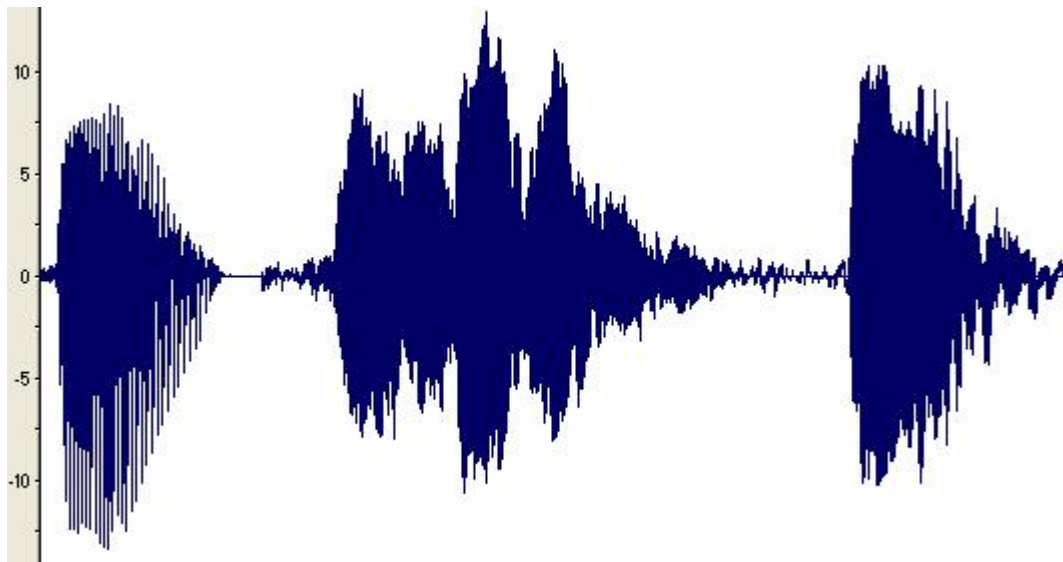


Figure 27 : Illustration de l'enveloppe de la fricative [f] en version parlée

(premier groupe d'énergie : mot grec /fao/) et sifflée (mot grec /fao/ pour le 2^{ème} groupe d'énergie puis syllabe /far/ du mot espagnol « farmacia » pour le 3^{ème} groupe d'énergie). On constate une grande similarité dans la forme d'attaque de l'enveloppe

Analyse complémentaire sur les langues tonales.

Pour les langues tonales nous avons observé que les unités de parole visibles sur oscillogramme sont toujours réparties de manière syllabique ou bisyllabique en respectant les unités de paroles de la voix parlée. Par contre la forme sifflée segmente plus clairement l'énonciation.

Nous avons initié une analyse comparative de l'amplitude des langues à tons sifflés et parlés. Comme le montrent les oscillogrammes Figure 28 et Figure 29, au premier abord aucune corrélation directe n'apparaît mais ceci n'exclut pas qu'une analyse plus fine ultérieure décèle des éléments de comparaison. En effet, même si les rapports relatifs des énergies sonores et de l'enveloppe de chaque syllabe sont souvent différents de ceux de la voix parlée, il se peut qu'une cohérence interne à chaque syllabe puisse émerger à partir de considérations perceptives, par exemple.

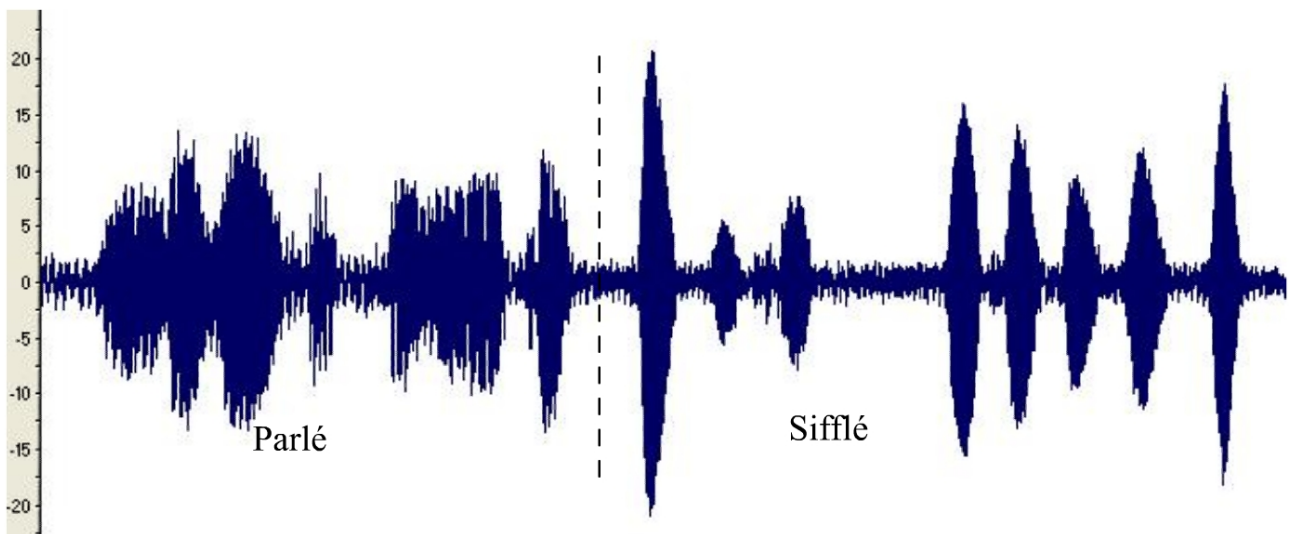


Figure 28 : Oscillogramme parlé puis sifflé d'une phrase Mazatèque

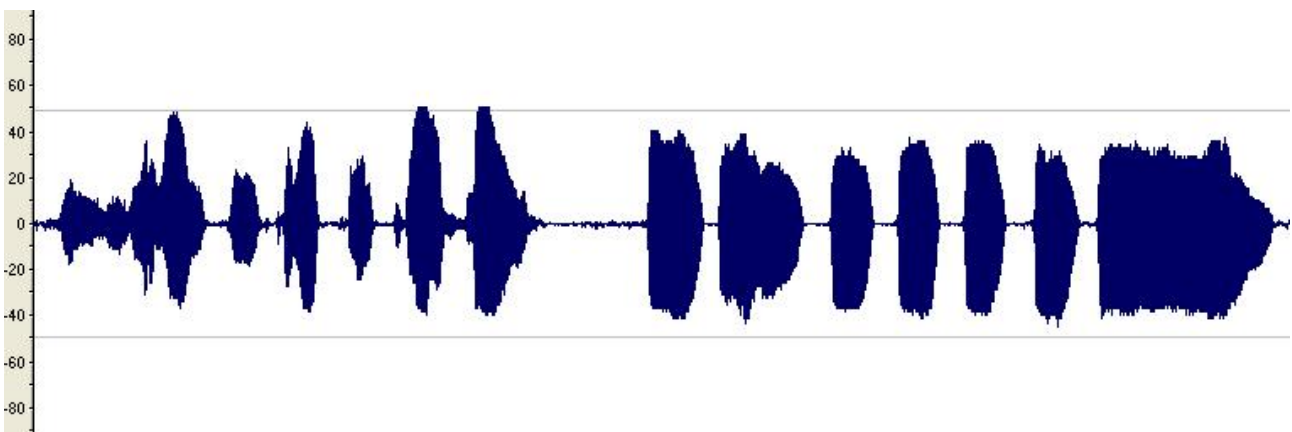


Figure 29 : Oscillogramme parlé puis en feuille sifflée d'une phrase hmong : « Lub sij hawm twg koj thiaj tshuab nplooj ?³⁹ » (Notation RPA)

³⁹ Traduction de Chô ly : « A quel moment siffles-tu avec une feuille ? »

2.3.7.1.3. Conclusion et perspectives

L'abilité du sifflement langagier à reproduire l'amplitude de la voix dans une amplitude sifflée de dynamique plus étroite souligne à nouveau un aspect relatif de la parole humaine. Un des avantages principaux de ce phénomène est le fait que la parole sifflée émerge plus facilement du bruit de fond dans sa totalité.

L'amplitude sifflée, comme celle de la voix parlée, présente des caractéristiques de variabilité inter-locuteurs ou entre plusieurs énonciations d'une même phrase par un même locuteur. Cependant très souvent, des éléments observés en détails dans l'amplitude d'une phrase énoncée en voix parlée peuvent être observés dans son équivalent sifflé. Une analyse exhaustive reste à faire dans ce domaine, nous avons par exemple mis en évidence que les correspondances sont plus flagrantes dans les langues non tonales qui sifflent les traits consonantiques spectraux des consonnes. Les éléments que nous avons réunis lors d'expériences de diffusion sonore peuvent permettre d'avancer dans cette recherche (enregistrements de mêmes phrases énoncées par plusieurs personnes, analyse des effets stables sur les enregistrements réalisés à distance). Nous pensons que l'analyse de l'amplitude doit être couplée avec des considérations temporelles et perceptives car de nombreuses études du langage soulignent son rôle en tant que marqueur de continuité rythmique.

2.3.8. Dynamique temporelle: allongement

2.3.8.1. Comparaison avec la langue parlée

Lorsque l'on compare la forme sifflée et la forme parlée d'une même phrase, on constate presque toujours que la phrase sifflée est plus étalée dans le temps, signe d'un débit d'information temporel moins rapide. L'effet perceptif le plus direct de ce changement de débit est une clarification de l'énoncé en terme de détachement des unités de parole. Par contre, le rythme général est maintenu de manière robuste. Nous avons abordé l'explication du rôle de cette stratégie à propos de la voix criée. Le sifflement segmente encore plus les éléments qui étaient distingués dans la parole. Il est important de remarquer que le phénomène n'est pas systématique pour des communications à courte distance (moins de 150 m). Il est par contre toujours utilisé à longue distance. Cowan avait constaté cet aspect sur le mazatèque en expliquant que le rythme de la langue sifflée était différent de celui de la langue parlée. Il paraît plus vraisemblable de dire que le rythme propre de la langue est maintenu mais allongé suivant un processus particulier qui n'affecte pas l'intelligibilité et qui sert à optimiser la communication à distance ou dans le bruit.

2.3.8.2. Calcul du taux d'allongement

2.3.8.2.1. Analyses précédentes

Comparaison de plusieurs langues

Moles (1970, p80) a analysé l'allongement de phrases turques: *"Nous avons fait un certain nombre d'expériences pour fixer objectivement l'allongement moyen du message résultant du passage de la langue parlée à la langue sifflée"*.

A partir de diagrammes que nous reproduisons Figure 30 Moles déduit qu'en turc sifflé "l'allongement paraît de l'ordre de 22% à 25 %, en gros, un quart". Il remarque également que si pour toutes les langues un allongement peut être constaté, il n'est pas le même suivant les cultures: "par comparaison avec les autres langages sifflés que nous avons étudié (Gomera, Vallée d'Aas), [...] l'allongement moyen paraît nettement plus faible: pour la vallée d'Aas, il était de l'ordre du double, non compris le signal d'appel qui précède la phrase et que nous n'avons pas retrouvé à Kusköy" (ibid., p.81).

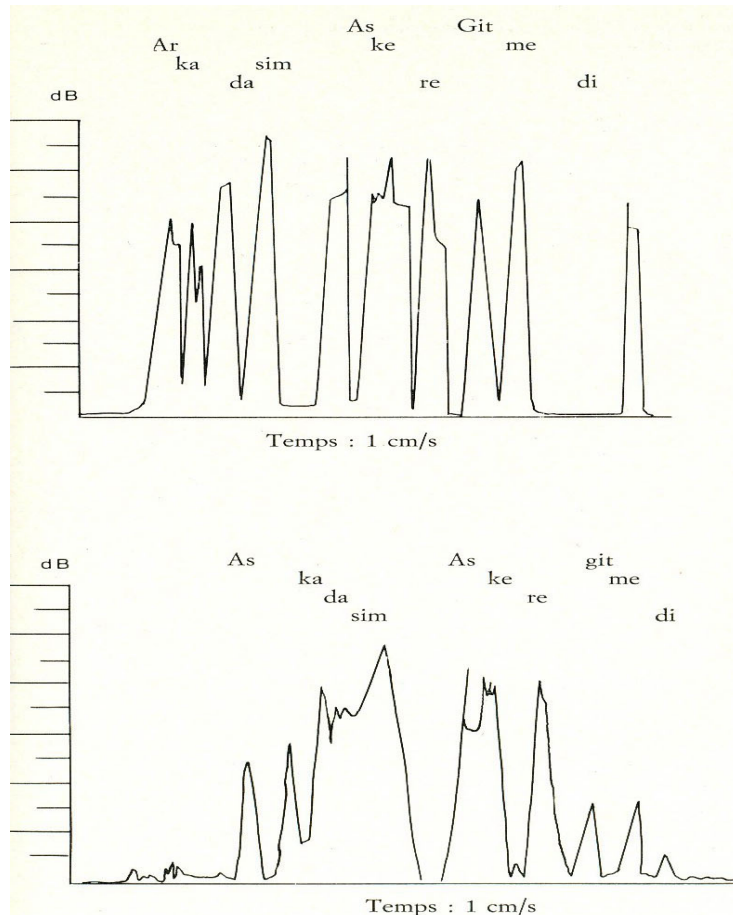


Figure 30 : Diagramme temporel obtenu sur sonomètre dans les années 60-70

Maintient de caractéristiques d'élocution personnelles :

Par contre, d'un siffleur à l'autre, le taux d'allongement varie très peu: "Dans l'ensemble nous n'avons pas relevé de différences notables entre les différents siffleurs [...]; ce point est intéressant puisque le débit d'élocution de ceux-ci pour les mêmes phrases était notablement différent et qu'il paraît donc y avoir un lien entre le passage du mécanisme de parole au mécanisme de sifflement" (ibid., p.81) Le signal sifflé de ce type de langue s'appuyant essentiellement sur l'articulation, chaque personne garde ses propres habitudes de dynamique d'élocution quand il passe à la langue sifflée.

2.3.8.2.2. Analyses complémentaires à partir de notre corpus

Des différences linguistiques corrélées aux distances de pratiques

Pour mesurer le taux d'allongement, nous avons observé le signal mot à mot puis l'ensemble de la phrase. Pour chaque mot nous avons mesuré la durée de la version parlée et la durée de la version sifflée. A partir de ces deux valeurs nous calculons l'allongement en pourcentage. Notre corpus n'est pas le plus propice à faire des calculs statistiques d'allongement car nous avons fait varier les distances de communication et les personnes traductrices. Or, au vu de nos résultats, l'allongement change avec la technique et la distance de communication. D'autre part, comme nous l'avons vu, chaque personne a un débit d'élocution propre.

Cependant comme Moles, nous avons mis à jour des différences de pratique suivant les langues. Elles sont en fait corrélées avec les usages les plus communs. Par exemple, les Mazatèques utilisent fréquemment le sifflement de près, ils allongent donc en général beaucoup moins le sifflement que les Gomero qui eux pratiquent en majorité le sifflement à grande distance.

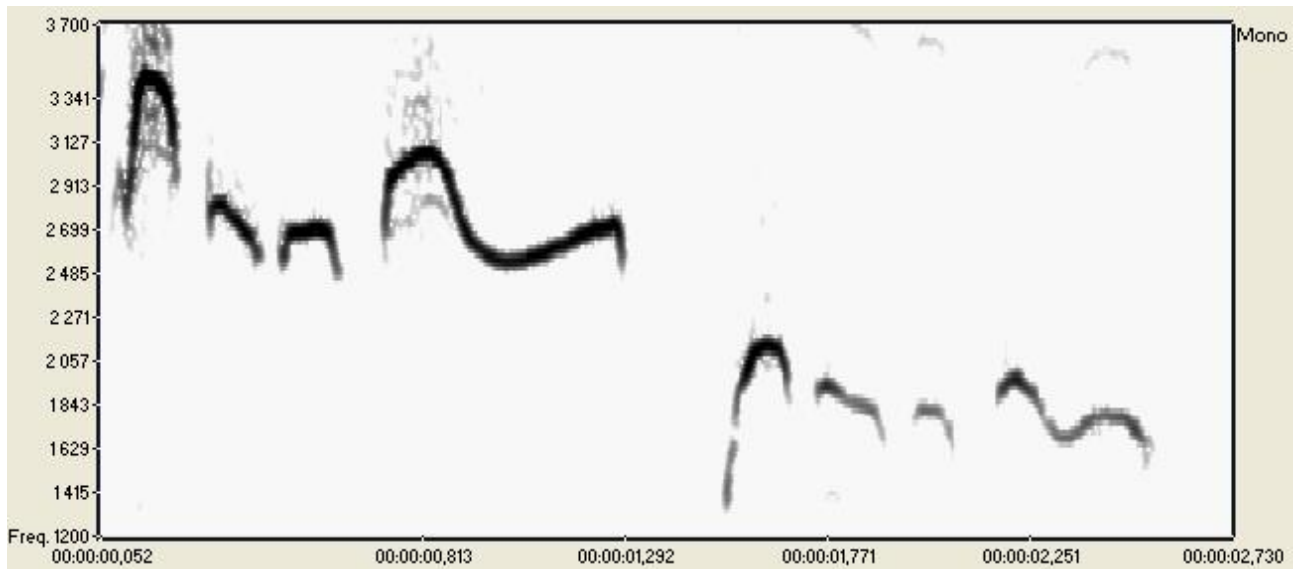


Figure 31 : Même phrase prononcée deux fois par le même locuteur mazatèque suivant deux techniques
La technique très longue distance est celle de gauche et la technique courte distance est celle de droite

Intérêt de l'introduction de nouveaux types de langues

Certaines des langues tonales que nous avons introduites dans le corpus d'étude ont des distinctions phonologiques de quantités⁴⁰. En effet la distinction entre voyelles longues et voyelles courtes existe en surui et en akha et est fidèlement respectée en sifflements. Le corpus de surui est trop restreint pour nous permettre de conclure car il n'est constitué que de mots indépendants. Par contre le corpus du akha montre que les voyelles longues sont régulièrement prolongées de manière proportionnellement plus importante que les voyelles courtes.

⁴⁰ Dans cet emploi linguistique du terme, quantité : durée

Analyse détaillée de l'allongement

Les modalités de l'allongement

a) Allongement sur les voyelles

L'observation plus détaillée de l'allongement de la parole sifflée permet de remarquer qu'il n'affecte pas tout le signal dans les mêmes proportions : ce sont principalement les voyelles qui sont concernées. Il semble que c'est cela que Moles veut dire lorsqu'il remarque: "*Le pourcentage d'allongement correspond d'une part à une diminution du débit d'information, d'autre part à une répétition de la forme sonore par rapport à un délai de perception immédiate*".(Moles 1970, p.80). D'après nos mesures, la seule forme sonore qui est maintenue -ou répétée- est la fréquence de la voyelle.

On observe plusieurs phénomènes récurrents :

- plus la communication est lointaine, plus le siffleur allonge les voyelles.
- les allongements les plus conséquents sont en général en fin de mots.
- à la Gomera, il n'est pas rare qu'un siffleur maintienne une voyelle sur deux secondes, marquant une pause sifflée dans le cours de la phrase puis il reprend une élocution plus conventionnelle. Nous avons observé ce type de comportement dans le cas de communications dans des endroits très réverbérants (guides d'ondes de vallées aux parois rocheuses dénudées). Il nous a été relaté aussi pour un usage différent : l'annonce d'un décès qui est un sifflement très lent et immédiatement caractérisé par les siffleurs.
- En akha la technique de la feuille sifflée utilise souvent des voyelles longuement prolongées mais seulement sur les voyelles longues. C'est sur ce type de voyelle que des ornements peuvent avoir lieu à des fins esthétiques.

L'allongement des voyelles a donc deux raisons principales : un effet d'amélioration de l'intelligibilité du signal à distance et parfois une recherche d'un effet esthétique voire émotionnel.

b) Allongement des consonnes

Les consonnes ne semblent pas affectées en première approximation par l'allongement. Pour mesurer un tel effet de manière précise, il est nécessaire d'adopter une technique de calcul commune pour la voix parlée et la parole sifflée. Ce type d'approche n'a pas pu être développé au cours de cette thèse mais est en cours d'élaboration, en particulier grâce à une analyse de la réduction d'information avec la distance dont nous présenterons les principes dans la dernière partie de cet exposé et une caractérisation paramétrique du signal grâce à un logiciel dédié au sifflement humain (introduit en fin d'Annexe A.4.2.4). Quelques études sur la voix parlée portant sur des effets de ralenti/accélération temporel adaptatif ont montré la sensibilité des consonnes aux modifications temporelles. Par exemple Verfaillie (2003) a souligné qu'on ne peut ralentir une voix parlée ou chantée que sur les voyelles et qu'il est nécessaire de conserver les consonnes telles quelles pour conserver la compréhension de l'énoncé. Si les consonnes sont ralenties il a observé des transferts de propriétés (par exemple les /k/ deviennent des /g/ et les /t/ des /ts/).

c) *Discussion*

L'allongement de la parole sifflée par rapport à la voix parlée donne, à notre avis plusieurs indications intéressantes :

-D'autre part, le phénomène d'allongement n'est pas propre à la langue sifflée mais il concerne le phénomène du langage en général. Nous l'avons également mesuré dans nos expériences sur la voix criée lorsque celle-ci a pour but d'atteindre de très longues distances (Figure 31). Dans ce cas également, une observation plus détaillée des différences d'allongement indique que ce sont les voyelles seules qui portent ce phénomène.

-Le fait que seules les voyelles soient affectées de manière évidente indique que les consonnes et les voyelles exploitent le domaine spectro-temporel de manière différente. Cet aspect n'est pas nouveau. La conséquence directe de cette observation est que pour chacun de ces aspects de la parole il serait préférable d'utiliser des méthodologies d'observation adaptées. En effet, les modulations consonantiques semblent nécessiter une information temporelle précise tout en réalisant des modulations fréquentielles relatives alors que les voyelles semblent jouer un rôle essentiel au niveau fréquentiel tout en ayant des durées relatives.

2.4. Conclusion

Lors de cette partie nous avons pu confirmer avec des exemples de terrain puis des arguments de physique acoustique que le sifflement était avant tout bâti pour la communication à grande distance.

Nous avons montré que le choix du sifflement s'inscrit dans la continuité des stratégies développées par la voix lorsque l'interlocuteur s'éloigne. Ce phénomène quasi-intuitif procède par l'effet de l'augmentation de l'intensité (effet Lombard), de la fréquence et de la durée d'élocution des voyelles. Au court de cette triple augmentation des paramètres variables fondamentaux de la parole, la voix atteint ses limites biologiques au niveau des cordes vocales entre 90 et 100 dB. Le sifflement est une réponse à cette situation qui permet logiquement de poursuivre la logique développée et donne un plus grand confort d'élocution dans les distances habituellement couverte par la voix criée, ce qui permet des dialogues plus longs. Cette stratégie de communication qui demande un léger entraînement est principalement pratiquée dans les milieux sociaux se trouvant souvent en situation de crier. Le sifflement, utilisé par de nombreux oiseaux dans les mêmes conditions, fournit alors un véritable système de télécommunication optimisé au niveau bioacoustique tout en maintenant la souplesse de la parole humaine. L'intensité, la fréquence et la durée sont des paramètres qui vont donc s'adapter chacun à la distance, au bruit et au terrain dont le siffleur a une connaissance implicite et explicite riche. Leurs aspects relatifs permettent une compression en amplitude et en fréquence. Ils vont aussi permettre à la structure de la langue de s'émanciper dans un nouveau domaine tout en gardant la trace de l'origine qui est la voix. Le sifflement donne en effet un cadre d'expression à chacun des systèmes linguistiques en fonction des particularités qui le caractérisent au niveau fonctionnel, c'est à dire, en premier lieu au niveau de l'intelligibilité.

Cette étude nous invite donc à réaliser deux analyses complémentaires, l'une sur la structure des langues sifflées et l'une sur la perception des sons et l'intelligibilité du langage.

Enfin nous avons les moyens de préciser la définition des sifflements de parole humaine : chez les êtres humains le sifflement est essentiellement caractérisé par la fréquence fondamentale qui consiste en une bande de fréquence étroite (variant typiquement entre 1000 et 4000 Hz) qui dure un certain temps et est modulée en amplitude et en fréquence. La parole sifflée résiste bien à la réverbération et lutte efficacement contre le bruit ambiant. Elle présente une dynamique en amplitude inférieure à celle de la voix classique et souvent une réduction du débit d'élocution