

Que signifie le fait que les systèmes phonologiques sont des systèmes complexes?

- les systèmes phonologiques sont des systèmes symboliques, mais incluent aussi des primitives (aérodynamiques, acoustiques et auditives) de la production et de la perception de la parole.

Complexité

- l'interaction de multiples variables qui agissent sur différents niveaux de la parole.

Systèmes complexes

- Sont holistiques
- Des règles simples peuvent donner des comportements qui ne le sont pas.
- Ce sont des systèmes auto organisés qui ont des propriétés émergentes.
- Adaptatifs.
- Sont caractérisés par des transitions de phase.
- niveaux ou blocs structurels.
- Amplifient de petites variations et sont sensibles aux conditions initiales.
- Paysage adaptatif ("fitness landscapes").
- Co évolution et population.

Systèmes complexes: sont holistiques

Un système complexe est composé de nombreux constituants qui interagissent de manière non triviale, c'est-à-dire non linéaire et avec des courbes de rétroaction (feedback loops). Chaque composant contribue au comportement global à travers des interactions locales avec d'autres composants.

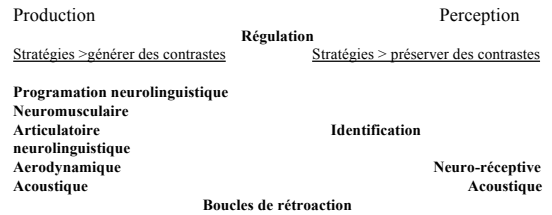
Cela n'a pas de sens de concevoir le comportement d'un système complexe comme la succession ou la juxtaposition du comportement indépendant de ses parties.

Un système complexe peut seulement s'étudier globalement => holistique. (Zwim 2006)

Systèmes complexes: sont holistiques

phonologie

[Phonologie et phonétique]
[Connaissance phonologique des locuteurs]
Contrôle pour s'adapter aux conditions de la parole (bruit, vitesse, environnement...)



Contrôle

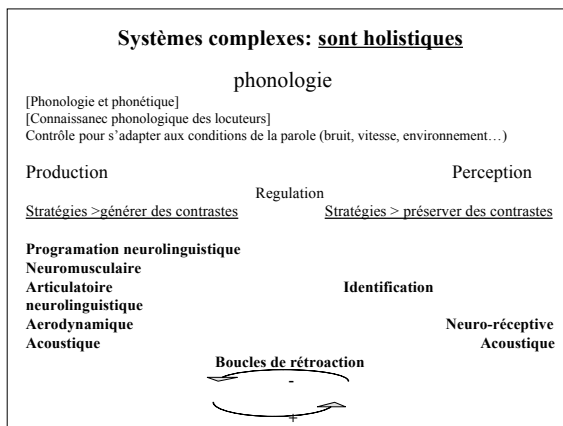
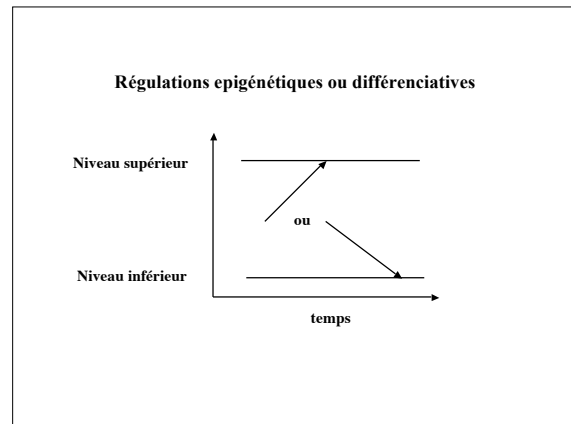
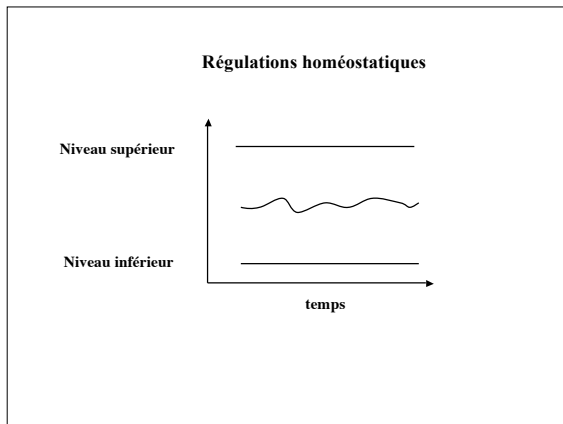
Contrôle Articulaire

Kingston et Diehl (1994), en définissant la connaissance phonétique, suggèrent que de nombreux phénomènes sont motivés par l'audition et qu'il existe un nombre important d'articulations contrôlées par les locuteurs.

Cette connaissance phonétique est intimement connectée à la phonologie de la langue. C'est à travers cette connaissance que les séquences phonologiques sont reconnues dans le signal acoustique. Cette connaissance inclut, les représentations phonologiques et les contraintes phonétiques.

Régulation

- Les régulations sont définies comme les contraintes qui ajustent la production des éléments d'un système à l'état du système et des variables de son environnement. Les principaux opérateurs de ces ajustements sont les boucles de rétroaction (Thomas & Kaufman 2001)
- Il existe deux types de régulations qui peuvent être identifiées dans les mécanismes de régulation: homéostatiques et épigénétiques ou différenciatives.



Systèmes complexes

Des règles simples peuvent donner des comportements qui ne le sont pas.

Equation logistique

Etablit la correspondance entre un nombre x , dont la valeur est comprise entre 0 et 1, et un nombre $mx(1-x)$ où m est une constante.

Ceci peut décrire l'évolution d'une population qui a des ressources limitées.

Sans limite on aurait : $x_{t+1} = mx_t$ une augmentation qui donnerait une croissance exponentielle.

Avec des ressources limitées l'équation logistique est : $x_{t+1} = mx_t(1-x_t)$, où le facteur $(1-x_t)$ inhibe la croissance.

Cela s'applique-t-il aux systèmes phonologiques?

Pour le moment, il est encore difficile de montrer comment l'équation logistique peut être utilisée en phonologie.

Cependant, nous pouvons observer que la dimension des systèmes phonologiques peut être déterminée par un facteur d'inhibition qui dépend du contraste auditif.

Les systèmes vocaliques peuvent être décrits de cette manière (Lindblom 1986), mais les systèmes complets ne peuvent pas encore être décrits de cette manière.

Systèmes complexes

Sont des systèmes auto organisés qui ont des propriétés émergentes

Beaucoup de propriétés des systèmes phonologiques sont des propriétés collectives, qui émergent probablement de leurs constituants.

⇒ L'objectif est d'inclure ces propriétés dans un cadre plus ample, en se demandant quels seraient les effets de la sélection et de la dérive (drift) qui opèrent dans les systèmes phonologiques.

Les systèmes phonologiques ont leurs propres propriétés auto organisées qui sont riches et robustes.

Kauffman (1993) : "Un des objectifs de l'examen de l'auto organisation dans les systèmes complexes (dans notre cas la phonologie) est l'espoir que l'ordre spontané contribue à expliquer des questions d'origine et d'évolution.

Kauffman (1993) et Glansdorff (communication personnelle) ont montré qu'en génétique, l'auto organisation peut rendre compte de l'émergence de structures au niveau des protéines en l'absence d'une quelconque mutation dans le code génétique.

De la même manière, on peut penser que les structures ordonnées et dynamiques des systèmes phonologiques qui ne sont pas le produit de mutations rendent compte de mécanismes d'auto organisation.

Quels sont les mécanismes de l'auto organisation des systèmes phonologiques? Le principal défi est de montrer comment les composants d'un système phonologique interagissent pour produire une structure complexe.

Camazine et al. (2001) soulignent que la meilleure approche est de comprendre les deux modes de base de l'interaction entre les composants des systèmes auto-organisés : les boucles de rétroaction positives et négatives.

Camazine et al. (2001) soulignent quelques caractéristiques des systèmes auto organisés: deux des principales étant que les systèmes auto organisés sont dynamiques et exhibent des propriétés émergentes qui se retrouvent dans les systèmes phonologiques.

La difficulté de répondre à la question de savoir ce que font les systèmes phonologiques en termes d'effets pour la survie et la reproduction (ou que font-ils pour 'l'organisme?') suggère que les systèmes phonologiques sont des systèmes en partie auto organisés.

Pourquoi considérer les systèmes phonologiques comme des structures auto organisées ?

Un des principaux arguments en faveur de l'auto organisation est qu'en l'absence de structures innées déterminant la forme et, d'une certaine façon, le fonctionnement des systèmes phonologiques, on peut considérer qu'une alternative raisonnable est qu'ils sont au moins partiellement auto organisés.

Systèmes complexes

Adaptabilité

- Les systèmes complexes sont adaptatifs, parce qu'ils ne répondent pas passivement aux événements extérieurs. Ils peuvent se modifier pour être plus efficaces dans leur milieu. Cette modification affecte la structure interne.
- Cette capacité adaptative est une caractéristique essentielle des systèmes complexes et liée à leur propriété auto organisée. (Zwirn 2006).

Systèmes complexes

Sont caractérisés par des phénomènes de transition de phase.

Production

La vitesse critique du débit d'air, c'est-à-dire la modification d'un flux laminaire pour un flux turbulent dans un conduit quand il y a une augmentation progressive de la vitesse du débit d'air.

Nombre de Reynolds $Re = \frac{\text{Diamètre (d)} \times \text{Vitesse}}{\text{Viscosité Kinématique}}$

Changements de : Résonants > Approximantes > Fricatives

$Re < 1700 \pm 200$ = flux laminaire

$Re = 1700 \pm 200$ = Re (critique)-transition pour un flux turbulent

$Re > 1700 \pm 200$ = flux turbulent

$Re > 1700 \pm 200 \propto \sqrt{SL}$

Perception

Perception catégorielle

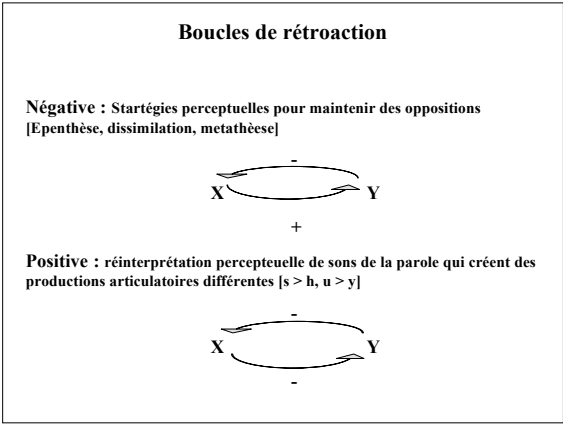
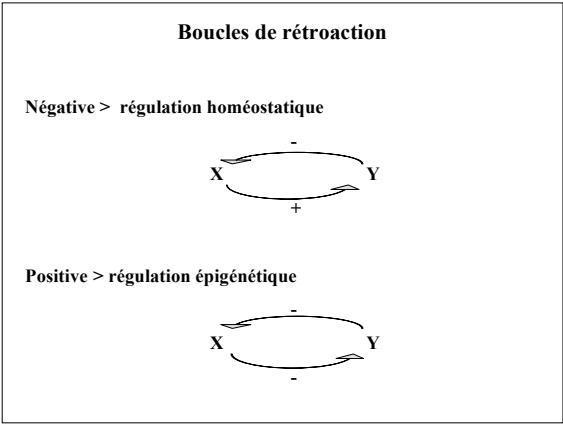
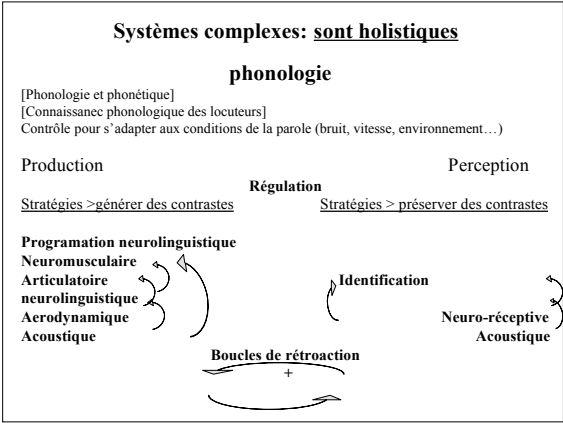
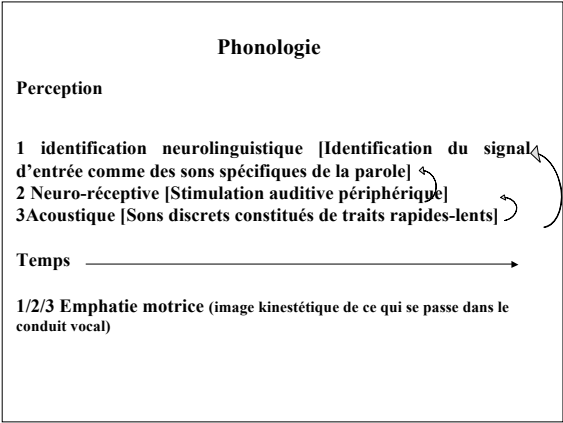
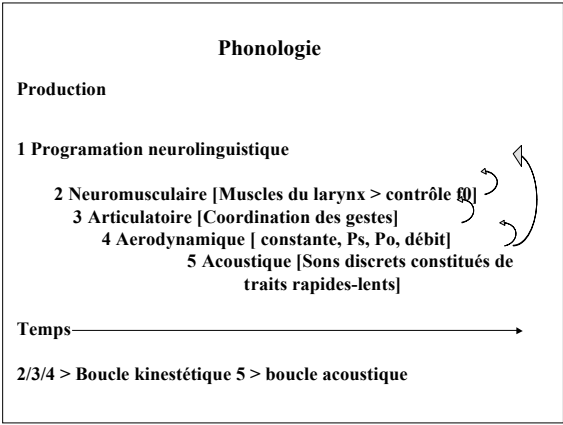
- les auditeurs n'entendent pas le continuum sonore de la parole comme continu, mais comme un petit nombre d'unités discrètes.
- Lorsqu'on leur demande d'identifier des stimuli qui varient le long d'un continuum, les auditeurs changent abruptement, plutôt que graduellement entre les catégories.
- Les auditeurs discriminent mieux entre les stimuli qui appartiennent à différentes catégories qu'entre des stimuli de catégories identiques.

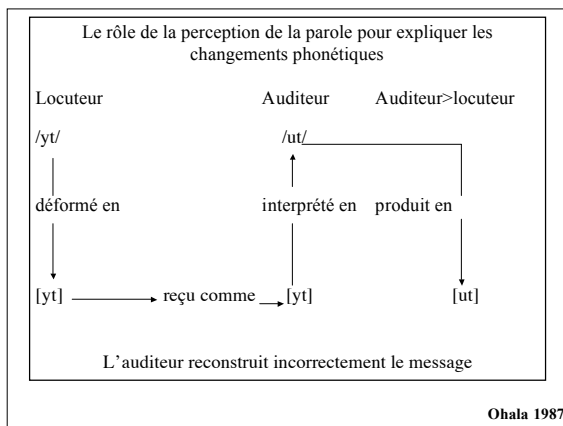
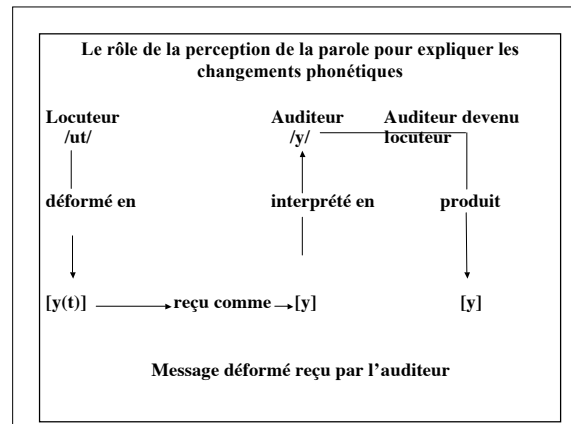
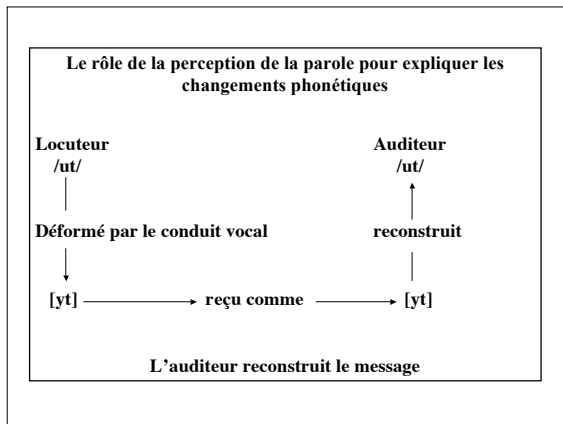
Transition de phase > changement phonétique

Systèmes complexes
Notion de niveau ou de blocs stucturels

- Dans les systèmes complexes, il y a des propriétés émergentes qui sont seulement significatives au niveau global.
- La description des systèmes complexes peut se faire à des niveaux différents: celui des constituants de base, du système global et, parfois, au niveau intermédiaire du groupement des constituants.

Phonologie?





Boucles de rétroaction en phonologie?

Boucle négative

Maintien la pression (Ps) constante pour la parole, régule le débit d'air pour générer les fricatives.
[Ps quasi constante pendant la parole]

Ajustements de la fermeture glottale pour générer le voisement ou un type phonatoire spécifique.
[Contrôle de la fréquence fondamentale (f0), types phonatoires]

Quand les locuteurs normalisent les variantes de production
[Prévention des changements phonétiques]

Stratégies qui maintiennent les contrastes en perception.
[Epenhèse, méatathèse, dissimulation]

Boucles de rétroaction en phonologie?

Boucle positive

Mauvaise perception de l'auditeur de la production de locuteurs et qui résulte dans une réinterprétation articulaire.
Nasalisation spontanée.

La pression intraorale (Po) est réduite en deçà d'un niveau critique (2 hPa) et résulte dans l'extinction du voisement.
Absence de [g] dans les systèmes qui ont une série d'occlusives voisées.

Amplification de traits acoustiques au lieu d'autres.
Mécanismes de tonogénèse qui amplifient les variations de f0 à transition entre C et V.

La tonogénèse

C'est le développement de contrastes tonals sur les voyelles, comme mécanisme compensatoire de la perte d'un contraste en position initiale ou finale de syllabe.

Dans les langues où le mécanisme est apparu, la perte d'une consonne laryngale finale */-ʔ/ or */-h/ (cette dernière souvent à partir d'un */-s/ précédant) a un effet d'élévation ou d'abaissement de la hauteur sur le contour tonal de la syllabe finale (Matisoff 1999).

La perte du contraste de voisement en position initiale conduit typiquement à une différence tonale.

Vietnamien (2000 av JC)			
pa	pas > pah	paX	> pa?
ba	bas > bah	baX	> ba?
Vietnamien (6 ^e siècle)			
Moyen	descendant	montant	
pa	pà	pá	
ba	bà	bá	
Vietnamien (12 ^e siècle)			
Haut	*pa	>	pá
Bas	*ba	>	bá

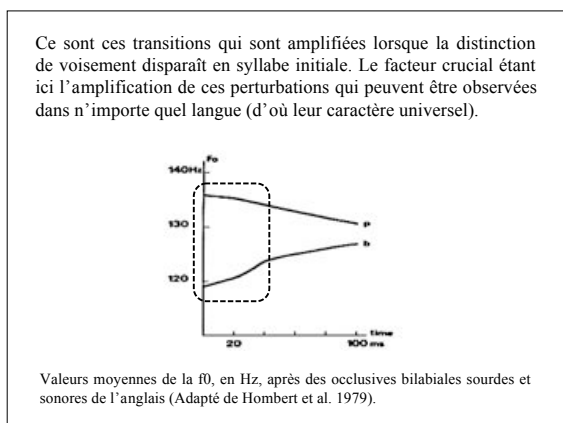
Haudricourt 1954, Matisoff 1999

L'explication vient de la manière dont les indices phonétiques sont catégorisés.

Hombert et al. (1979) ont montré que le développement des tons après des obstruents sourdes ou sonores peut s'expliquer par référence à des faits acoustiques et articulatoires.

Les distinctions de voisement en position pré vocalique provoquent de petites perturbations de la f0 qui sont susceptibles, dans certaines circonstances, d'être exagérées –amplifiées- et de conduire au développement de tons.

Ces perturbations sont que la transition de la f0 vers la voyelle qui suit la consonne est descendante après une occlusive sourde p et montante après une occlusive sonore b.



Systèmes complexes

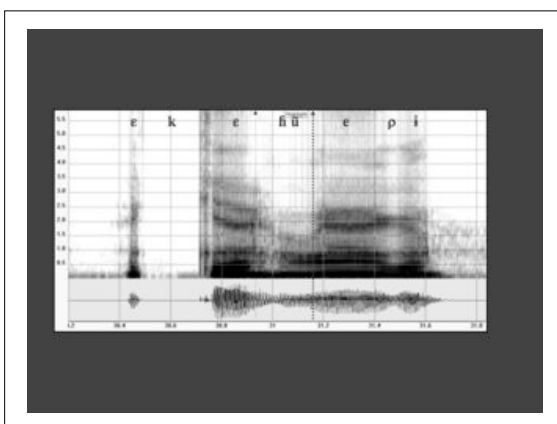
Amplification de petites différences et sensibilité aux conditions initiales

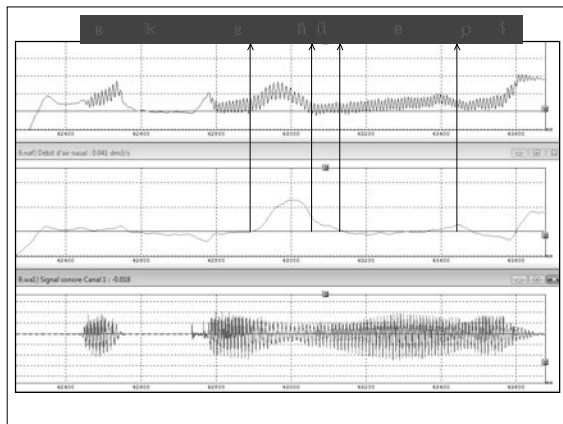
Que peuvent être ces petites différences et la sensibilité aux conditions initiales en phonologie?

Changements phonétiques

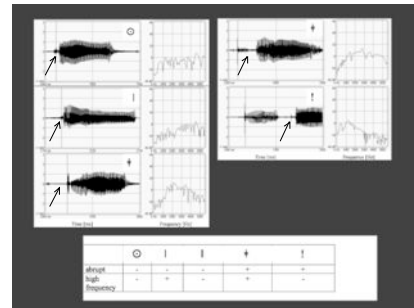
Les changements phonétiques apparaissent parce qu'il y a une 'rupture' dans le système (Ohala 1992), par exemple quand un auditeur ne parvient pas à identifier un son et réinterprète son articulation d'une manière différente. C'est le cas avec la nasalisation spontanée qui apparaît lorsqu'un auditeur entend **hæf** au lieu de [half] et produit [h

Ce changement se produit parce que la glotte est plus ouverte pour produire une fricative laryngale [h], ce qui crée un effet acoustique (la rhinoglottophylie!) qui est la conséquence du couplage des cavités orales et sous-glottiques qui imitent le couplage des cavités orales et nasales, en abaissant l'amplitude du signal et en augmentant la largeur de bande du F1.





N'importe quel contraste phonologique ou lexical est déterminé par un certain nombre de traits acoustiques. Ces traits sont abrupts ou continus. Il existe aussi un continuum abrupt-continu et fort-faible.



Les paires minimales ont différents traits différentiels (ceci n'est pas une opposition entre distinctif et redondant).

Les traits pour les contrastes entre occlusives voisées et sourdes sont: la durée, les transitions de formants, l'intensité de l'explosion et le VOT.

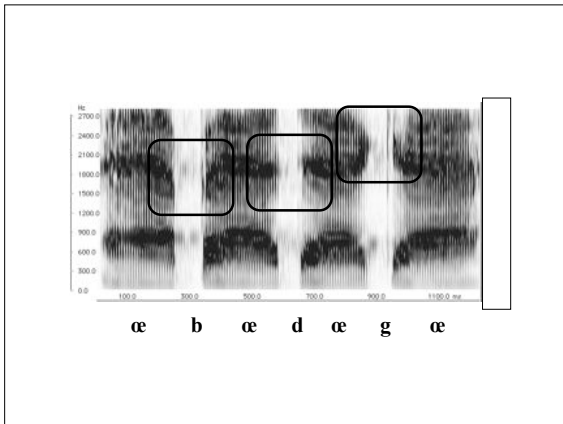
En position V_V, si la durée de la consonne sourde est diminuée en deçà d'un certain seuil, la consonne sera perçue comme une occlusive sonore même si elle n'existe pas de voisement.

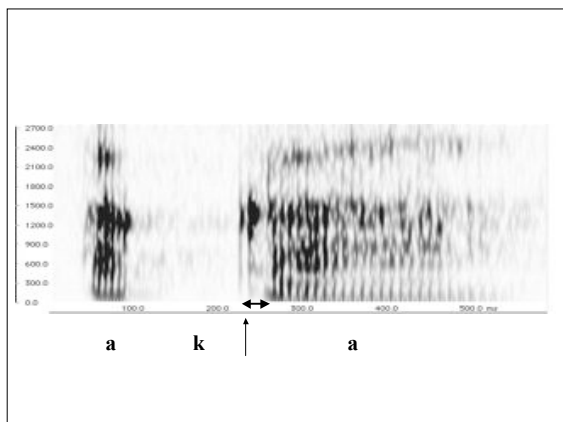
L'amplification et la réduction progressive de la durée de la consonne vont finalement correspondre aux attentes qu'ont les auditeurs (d'une langue donnée) d'une consonne voisée, même en l'absence d'un quelconque voisement.

Les voyelles postérieures qui évoluent vers des voyelles postérieures [u] > [y].

Lindblom (1963) a montré que dans les séquences d_d, quand la durée des voyelles est progressivement réduite, les auditeurs prennent graduellement en compte la transition des formants pour identifier les voyelles.

Les consonnes alvéolaires ont un locus du F2 qui est approximativement de 1800 Hz, près du F2 de [y]; la réduction de la durée de la voyelle va donner l'effet d'une voyelle qui est similaire à la voyelle antérieure [y].





Au niveau collectif, l'amplification de petites différences va conduire à des changements dans les normes de prononciation. Par exemple, l'amplification de variantes palatalisées entre le français d'Europe et celui du Québec.

[di] > [dzi] 'dis'

Ces variations peuvent être considérées comme une adaptation des systèmes phonologiques dans des paysages adaptatifs différents.

Ces normes de prononciation peuvent être adaptatives (donner un bénéfice aux locuteurs) si elles vont dans la direction d'un certain statut social (Ohala 1986).

Comme ces variations sont-elles amplifiées et comme se propagent-elles?

Systèmes complexes: paysages adaptatifs

"Fitness Landscapes": pour un biologiste évolutionniste, la notion de "fitness" s'applique principalement à un organisme. Ainsi, il est difficile de parler de "fitness" en relation à un gène ou même à un phénotype, puisque tous ces facteurs dépendent d'autres organismes dans une population.

Paysage adaptatif est un terme qui se réfère (au sens étroit) à une quelconque propriété bien définie et à sa distribution dans un ensemble.

Par exemple, la capacité de chaque protéine à catalyser une réaction spécifique dans l'espace des protéines sous des conditions spécifiques est, en principe, une propriété bien définie.

La vitesse de la réaction catalysée pour chaque protéine peut, alors être définie comme le "fitness" de cette protéine. Ainsi, la distribution des vitesses tout au long de l'espace des protéines constitue le paysage adaptatif relié à cette fonction définie.

Systèmes complexes: Paysages adaptatifs

Un système phonologique avec n phonèmes qui peut exister en 2 ou 3 versions (cela dépend des allophones) ⇒ types 2^n ou 3^n .

Un paysage adaptatif va se matérialiser comme l'adaptation de chaque type à son environnement. Un changement (mutation) d'un phonème de 0 à 1 sera favorisé si cela conduit à une augmentation de l'adaptation.

Adaptation

Susanne et Pollet 2005

Nous devons distinguer entre:

Adaptation évolutive (N'importe quelle caractéristique génétique qui augmente l'adaptation - "fitness" - d'un organisme dans sa relation avec un environnement déterminé).

Adaptation physiologique (ou "acclimatation") (Réponses homéostatiques d'un organisme aux changements momentanés dans son environnement). Dans ce cas aucun changement n'est impliqué dans le génome.

Les changements s'activent en fonction des modifications dans l'environnement.

Capacité adaptative > la capacité d'un auditeur à compenser les distorsions provoquées par le canal dans lequel il entend la parole (Ohala 1992).

Une boucle rétroactive positive conduit à un changement dans le système. C'est ce qui se passe lorsqu'un changement phonétique est implémenté.

Environnement

Niveau inférieur

Conditions de production et de perception de la parole : vitesse, bruit, distorsions et perturbations de la parole.

Niveau supérieur

Généralisation et conformité : les normes de parole d'une communauté.

Parole sifflée

Une petite bande de fréquence (typiquement entre 1000 et 4000 Hz) qui a une certaine durée et qui est modulée en amplitude et en fréquence.

Pour communiquer sur de longues distances et dans un environnement bruyant.

Ces langues représentent une adaptation de la production et de la perception humaine aux conditions biologiques (acoustiques) et sociales (les conséquences linguistiques).

Il existe une continuité entre la parole normale et la parole sifflée.

La parole sifflée peut se fixer pour un certain temps, là où elle la plus intense, dans la bande de fréquence privilégiée de l'audition humaine, au-delà du bruit de fond.

La parole sifflée permet d'utiliser de la parole humaine avec les propriétés d'un système de télécommunications. L'amplitude de la dynamique du langage parlé est concentrée dans une bande de fréquence réduite.

Le siffleur doit choisir et transposer ou la f_0 (la vibration des cordes vocales) ou la hauteur brute (le spectre complet) [+ l'accent et le timbre des voyelles].

Il existe trois stratégies qui dépendent des systèmes phonologiques.

La parole sifflée cherche à faciliter l'intelligibilité du siffleur.

Les langues sifflées sont des modèles pertinents pour étudier la relation entre la production et la perception de la parole, spécialement dans des conditions où il est difficile d'entendre.

(Meyer 2005)



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

Meyer 2005



Phrase hmong parlée puis sifflée « koj puas paub tshuab nplooj »

Meyer 2005

Systèmes complexes: Coévolution et population

Predateurs d'un nombre $U(t)$ et proies $V(t)$

$$U(t+1) = U(t) - dU(t) + b(-U(t))$$

$$V(t+1) = V(t) - d^*V(t) + b^*V(t)$$

Le contact entre les deux populations $> UV$ ou cUV ,

$$R \text{ est une quantité de succès: } V(t+1) = V(t) - d^*V(t) + b^*V(t) - rcU(t)V(t)$$

r^* est le coefficient d'augmentation des prédateurs: $U(t+1) = U(t) - dU(t) + bU(t) + r^*cU(t)V(t)$

⇒ La solution de ces équations conduit à une série d'oscillation irrégulières. Les prédateurs peuvent croître un certain temps et depuis peuvent décliner au bénéfice des proies, ensuite le mouvement peut s'inverser. Ce comportement étrange est la conséquence de la non linéarité de équations.

RESUME:

Les systèmes phonologiques comme systèmes complexes adaptatifs

- La phonologie intègre des primitives (aérodynamiques, acoustiques, auditives) qui viennent de la production et de la perception de la parole.
- La phonologie inclut un composant cognitif central qui est le contrôle et la connaissance phonétique.
- Le comportement des systèmes phonologiques peut être étudié de manière globale.
- Les boucles de rétroaction identifiées comme des régulations homéostatiques et différentiatives (courbes positives et négatives) montrent le statut stable et le changement des systèmes
- Identifier des courbes positives contribue à décrire la dynamique et les changements de statut du système.

Comprendre les systèmes phonologiques comme des systèmes complexes de manière à évaluer leur capacité adaptative.

Evolution adaptative

The capacity of each protein in protein space to catalyze a specific reaction under specified conditions is in principle, a well-defined property.

The velocity of the reaction catalyzed by each protein can then be *defined* as the fitness of that protein. Then the distribution of velocities across the space of proteins constitutes the fitness landscape with respect to that defined function.

Adaptive evolution with respect to that function is a search in protein space which attempts to optimize the capacity to catalyze that specific reaction.

It is an entirely different issue whether optimization of any specific reaction velocity optimizes the overall fitness of the organism harboring the protein.
Kauffman (1993)

- L'adaptation progresse typiquement à travers de petites modifications qui impliquent une recherche locale dans l'espace des possibilités.

- Pour la théorie de l'évolution de Darwin, les changements phonétiques 'n'améliorent' pas les systèmes phonologiques parce qu'ils ne correspondent à aucune mutation génétique.

- Mais les changements phonétiques et la dynamique des systèmes phonologiques reflètent la capacité qu'ils ont de s'adapter quand les conditions de l'environnement changent.

- La source d'un changement phonétique c'est:

la variation mécanique et automatique qui

- peut être mal perçue et réinterprétée autrement ou
- qui amplifie un trait suite à la disparition d'un autre.

- Le changement phonétique rend compte d'un changement d'état irréversible et directionnel dans le système.

- Le changement phonétique (qui est en fait phonologique) rend aussi compte de l'apparition d'une nouvelle catégorie abstraite. Il reflète donc aussi le résultat d'un processus cognitif.

- Le changement phonétique se passe dans un environnement social donné. Sa propagation est donc contrainte par les 'normes' du milieu où il se déroule.

Tout ce processus est largement auto organisé.

Les polyphonies des pygmées d'Afrique centrale: un cas de musique auto organisée?

Polyphonie vocale des Pygmées Aka

Fürniss & Arom 1998

Polyphonie vocale des Pygmées Aka

Fürniss & Arom 1998

Polyphonie de sifflets Luma (hoquet)

©

Polyphonie de trompes Tore (hoquet)

©

Arc musical –initiation Ima- des femmes Efe

©

Merci à :

Nicolas Glansdorff, René Thomas, Jean-Louis Deneubourg

Luciana Storto, Nathalie Vallée, John Ohala, John Kingston, Jean-Marie Hombert, Jim Matisoff, Bjorn Lindblom, Peter MacNeilage, Barbara Davis, Simha Arom

Laurence Mettwie & Hans Van de Velde