

Systèmes complexes en linguistique : quelques exemples d'application au diasystème same¹

Flore PICARD

Sorbonne Université

Laboratoire Sens, Texte, Informatique, Histoire

florepicard@yahoo.fr

Résumé

Si elle trouve son origine dans les sciences exactes, l'étude des systèmes complexes est maintenant fortement ancrée dans de nombreux domaines de recherche. Les systèmes complexes se caractérisent par leur imprédictibilité, leur résistance à la modélisation par réduction analytique. En linguistique, les systèmes complexes se retrouvent à différents niveaux : à la fois dans la langue et ses composantes (morphologie, phonologie, syntaxe, sémantique, etc. et leurs interfaces) et à l'échelle supérieure, dans l'interaction entre les langues au sein d'une famille ou dans des situations de contact. Peu d'approches prennent actuellement en compte ces niveaux de complexité dans leur analyse. Nous montrons à l'aide d'exemples de morphologie (premier niveau) et de dialectologie (second niveau) que l'utilisation de modèles basés sur la Théorie de la Complexité permet de mieux comprendre les processus d'interaction au sein de ces systèmes, qui mènent à des phénomènes d'émergence et d'auto-organisation, et de dégager les règles simples qui les sous-tendent.

Mots-clés : Théorie de la Complexité, morphologie, same, finno-ougrien, phonologie, dialectométrie, dialectologie, systèmes complexes.

Abstract

While it finds its origins in the exact sciences, the study of complex systems is now deeply ingrained into many other fields of study. Complex systems are characterized by their unpredictability and their resistance to analytical reduction. In linguistics, complex systems are present at several levels: within languages and their components (phonology, morphology, syntax, semantics, etc. and their interfaces) and at a larger scale in the interaction between languages, within a language family or in contact situations. Few approaches have so far taken into account this complexity in their analyses. Through a number of examples from morphology (first level) and dialectology (second level), the article shows that we can understand the interaction processes within these systems, which lead to emergence and auto-organization phenomena, using models based on Complexity Theory, and that we can identify the simple rules underlying their structures.

Key words: Complexity Theory, morphology, Saami, Finno-Ugric, phonology, dialectometrics, complex systems.

¹ Je tiens à remercier Jean-Léo Léonard, qui m'a initiée à l'approche systémique lorsque que je ne faisais qu'en pressentir l'apport et m'a conseillée tout au long de cette recherche. Je souhaite aussi remercier Denis Picard, qui a réalisé les traitements algorithmiques, pour son aide précieuse dans la préparation comme dans la rédaction de cet article et pour m'avoir prêté son expertise en matière de physique.

Introduction

Trouvant sa source dans les sciences exactes (Gribbin 2005 en explique bien la genèse), la théorie des systèmes complexes naît face à l'échec de la démarche réductionniste à expliquer des phénomènes mettant en œuvre un grand nombre de paramètres ou d'agents. Un des plus notables est le *problème à trois corps*, l'impossibilité de prédire avec certitude la trajectoire de trois corps célestes en interaction, qui a donné vie à une branche particulière de l'étude des systèmes, la théorie du Chaos, à travers le travail du mathématicien Poincaré. La météorologie est également l'un des champs fondateurs de cette théorie, où la découverte des attracteurs de Lorenz (Lorenz 1963) donne naissance à la première équation mettant en évidence la sensibilité des systèmes complexes aux conditions initiales (connue sous le nom de *l'effet papillon*).

L'étude des systèmes complexes (aussi connue sous le nom de théorie de la complexité, ou encore approche systémique) est devenue un paradigme de pensée qui féconde de plus en plus les recherches en physique, biologie ou encore sciences sociales. Dans le domaine des sciences humaines, Morin (1977) est un des premiers en France à avoir théorisé cette notion, mais il est précédé et suivi par bien d'autres chercheurs² qui en font une approche réellement transdisciplinaire. Cet extrait du projet d'établissement du CNRS (2002) désigne un horizon pour la recherche :

Il faut développer de nouveaux instruments de pensée, permettant de saisir des phénomènes de rétroaction, des logiques récursives, des situations d'autonomie relative. Il s'agit là d'un véritable défi pour la connaissance, aussi bien sur le plan empirique que sur le plan théorique. Dans le domaine des sciences mathématiques, physiques, chimiques ou biologiques, ... [cela] passe précisément par un changement conceptuel du niveau de description pour révéler l'émergence de nouvelles propriétés. En sciences humaines et sociales, la notion de complexité devient opératoire si elle permet de sortir du mythe positiviste selon lequel « l'explication » d'un phénomène impose d'en traiter en « éliminant le contexte ».

S'attacher à la complexité, c'est introduire une certaine manière de traiter le réel et définir un rapport particulier à l'objet, rapport qui vaut dans chaque domaine de la science, de la cosmologie à la biologie des molécules, de l'informatique à la sociologie³ (Le Moigne 2006 : XII).

En linguistique, l'approche complexe est moins développée qu'en sociologie ou en économie, mais a pris un certain essor dans les vingt dernières années, notamment dans des domaines comme l'écologie linguistique (Mufwene 2013), et l'acquisition des langues (Larsen-Freeman 1997, Larsen-Freeman & Cameron 2008). Cependant, penser la langue comme un système n'est pas un concept nouveau : on le trouve déjà chez Saussure (1916).

² Notamment Gregory Bateson dans le domaine de l'anthropologie (Bateson 1972; Bateson 1979), Heinz von Foerster en physique mais aussi en philosophie (Foerster 1960), Jean-Louis Le Moigne en sociologie (2006, 1e ed. 1977).

³ *Construire une politique scientifique*, extrait du « Projet d'établissement du CNRS - Février 2002 ». Ce document officiel a été publié sous ce titre par le CNRS, mais ne semble plus disponible en ligne. Ce texte est cité par Jean-Louis Le Moigne (2006 : XII).

La première partie de cet article porte sur les principes fondamentaux de la théorie des systèmes complexes. Nous regarderons ensuite deux analyses linguistiques du diasystème same (finno-ougrien) se situant dans le cadre de la systémique : un exemple relatif à la morphologie flexionnelle, et un autre à la dialectologie.

1. Les systèmes complexes

L'approche systémique connaît un développement assez récent en linguistique, souvent limité à quelques domaines particuliers plutôt que d'être utilisé comme un réel paradigme de pensée, englobant toute l'étude des langues et du langage. Cependant, on trouve ses idées fondatrices en filigrane dans une partie importante de la production scientifique depuis un siècle. D'une part, l'idée de langue et de ses composantes (en particulier la grammaire) comme étant un système est présente chez les structuralistes (Saussure 1916) ou encore dans la grammaire générative (Chomsky 1969). D'autre part, la question de la complexité des langues revient souvent dans la recherche récente dans le domaine de la typologie. Mais cette complexité est avant tout entendue comme l'inverse de la simplicité⁴, c'est-à-dire comme quelque chose de *compliqué*, plutôt que comme un système à fonctionnement *complexe* : Miestamo & al. (2008) ou Sampson & al. (2009) cherchent avant tout à mesurer la complexité relative des langues ou de leurs composantes (phonologie, morphologie, etc.), partant donc du postulat que cette complexité est structurelle plutôt que fonctionnelle.

La théorie des systèmes complexes, qui nous intéresse ici, ne concerne pas cette complexité (ou peut-être plutôt *complication*) intuitive et relative qui inclut la difficulté, par exemple, d'apprendre une langue, mais la complexité organisationnelle intrinsèque de tout système à grand nombre de composants et d'interactions.

De Morin (1977) d'une part, et des travaux de l'Institut de Santa Fe pour les Sciences de la Complexité (Cowan & al. 1994) d'autre part, se dégagent quatre propriétés essentielles des systèmes complexes :

- *Flux d'information*. Les éléments ou sous-systèmes sont en interaction permanente entre eux et avec leur environnement, et ce sont ces interactions qui doivent être au centre de l'étude systémique, puisque la simple observation des éléments pris individuellement ne peut expliquer les trois autres propriétés. Le système est dynamique, adaptatif. La morphologie, la phonologie, la syntaxe, la sémantique, le lexique, la pragmatique d'une langue interagissent pour former un ensemble cohérent de phrases. Mais la langue est aussi un objet physiologique, neurologique, psychologique (Bel-Enguix & Jimenez Lopez 2010 : vii), sociologique, interagissant avec son environnement (l'Homme, la société, également des systèmes complexes) et avec les autres langues.

⁴ Nous utiliserons dans cet article le terme de *simplicité* comme complémentaire à la *complexité*, à différencier de la *simplicité* : « la simplicité est [une] complexité déchiffrable, car fondée sur une riche combinaison de règles simples » (Berthoz 2009:12).

- *Auto-organisation* ou *autopoïèse*. La capacité d'un système à se produire lui-même et à maintenir ou créer sa propre organisation, confronté au changement de son environnement ou de ses composants. De nombreux exemples d'auto-organisation existent en linguistique, comme la productivité de phénomènes morphologiques et phonologiques qui s'appliquent aux néologismes par emprunt (xénolexique) pour les harmoniser avec le système dans lequel ils viennent s'intégrer.
- *Émergence*. De cette capacité d'auto-organisation et de ces interactions, on voit apparaître des phénomènes d'émergence, c'est-à-dire des propriétés nouvelles dont les causes ne sont pas réductibles aux interactions des composants du système. Les exemples d'émergence les plus connus sont peut-être aussi parmi les plus complexes : l'émergence de la vie et celle de la conscience. En linguistique, les exemples d'émergence sont nombreux, à commencer par l'émergence de nouvelles langues (pidgins, créoles par exemple) et de nouveaux dialectes avec un système propre.
- *Intrication*. Lors de l'étude de systèmes complexes, la question de l'*échelle* est essentielle. La complexité est partout et un système étudié ne peut pas être sorti sans conséquences de son environnement et de son interaction avec les systèmes qui l'entourent. Chaque système, selon le niveau auquel on se place, est composé de sous-systèmes, qui peuvent aussi être complexes : ainsi, dans une langue, morphologie, phonologie, syntaxe, etc. sont tous des sous-systèmes complexes. À son tour, le système étudié fait partie intégrante d'autres systèmes (chaque langue fait partie d'une famille, d'une région linguistique, mais aussi de la société dans laquelle elle est parlée, qui elle-même fait partie de l'humanité, etc.). Ainsi, choisir l'échelle à laquelle on observe un système doit nous amener à réfléchir à l'intrication de la complexité.

En miroir à ces quatre propriétés des systèmes complexes, trois niveaux d'analyse peuvent être dégagés :

- *Observation*. Les méthodes d'observation des systèmes complexes ne peuvent et ne doivent pas se réduire à l'isolation d'éléments ponctuels mais s'inscrire dans une démarche *holistique* : regarder l'ensemble du système comme un tout non réductible à la somme de ses parties. Par ailleurs, il y a nécessité de multiplier les points d'approche et les angles de vue pour obtenir une compréhension globale du système et de son environnement.
- *Modélisation*. Les interactions au sein d'un système complexe, et donc les phénomènes d'auto-organisation et d'émergence, n'apparaissent pas souvent à la simple observation. L'étape suivante est la construction d'un modèle explicatif, qui peut s'appuyer sur différents types de formalisation ou de traitement de données, pour démêler (et non réduire) la complexité du système. Les modèles de linguistique générative en sont un bon exemple : ils utilisent un ensemble fini de règles pour modéliser la structure d'un système (comme une phrase). Nous utiliserons dans la deuxième partie un modèle de ce type. Dans la troisième partie, nous utiliserons une modélisation algorithmique pour nous intéresser à un

système dont l'organisation ne peut s'expliquer par des règles ou principes mais plutôt par un faisceau d'interactions.

- *Simulation*. Le modèle explicatif est mis au défi de prédire des résultats nouveaux dont la pertinence peut être vérifiée dans l'évolution du système. Cela peut se faire directement à partir de la modélisation, si elle peut permettre de prédire de nouvelles formes à partir des règles qu'elle expose, ou encore avec des outils informatiques et mathématiques, permettant de reproduire les conditions initiales d'un système (ou son organisation à un moment donné) pour tenter de prédire son évolution⁵.

Le niveau sur lequel nous nous concentrons ici est surtout celui de la modélisation, l'étape de développement des outils d'analyse. Le reste de cet article se composera de deux exemples, avant tout méthodologiques, d'analyses prenant en compte les propriétés complexes des systèmes étudiés. Pour cela, nous avons choisi de nous pencher sur l'aire dialectale same, à deux niveaux : le niveau de la morphologie flexionnelle du same, prenant en compte des éléments de variation dialectale, et le niveau du diasystème, en observant la variation elle-même à travers la phonologie.

2. Complexité au niveau de la langue : morphologie flexionnelle

2.1 La flexion verbale des langues sames

Les langues sames sont une branche de la famille ouralienne, sous-famille finno-ougrienne. La famille ouralienne regroupe une trentaine de langues parlées en Russie et au nord-est de l'Europe, dont la plupart sont en danger d'extinction, voire déjà éteintes (Sammallahti 1998 : 1-5). Les langues sames actuellement vivantes sont au nombre de neuf, ainsi qu'une langue récemment disparue, le same d'Akkala, et sont parlées au nord de la Norvège, de la Suède, de la Finlande et dans la péninsule de Kola en Russie. Le same du Nord, la variété la plus parlée, regroupe à lui seul 75 % des 20 000 à 30 000 locuteurs recensés du same. La carte ci-après montre la répartition géographique des langues sames.

⁵ On peut trouver un exemple de ce type de simulation en linguistique dans Heinsalu & al. (2014), qui présente un modèle prédictif de la formation d'une communauté bilingue dans une situation de compétition entre deux langues.



Figure 1. Carte des langues sames (Toivonen & Nelson 2007 : 3)

Les langues sames sont organisées en continuum dialectal : les frontières linguistiques sont peu marquées, sinon fluctuantes, et les langues les plus proches géographiquement sont au moins partiellement intercompréhensibles. Ainsi, le domaine same forme un réel *diasystème*, c'est-à-dire un ensemble de dialectes et langues cohérent (Sammallahti 1998 : 1-5).

Dans la littérature sur les langues sames (Itkonen 1946, Magga 1984, Sammallahti 1998, Korhonen 1981, Bye 2002 par exemple), la morphologie est souvent négligée au profit de la phonologie, et, quand elle est étudiée, c'est généralement d'un point de vue uniquement diachronique (par exemple Sammallahti 1998). Nous n'avons connaissance d'aucune étude approfondie de la variation dialectale en morphologie. Ce manque a mené à diverses analyses purement phonologiques de phénomènes morphologiques (comme Bye 2002), souvent compliquées et peu intuitives, et à des considérations sur la « complexité extrême » (à entendre dans le sens de Miestamo & al. 2008) de la morphologie du same (Aikio 2008), dues à la superficialité des analyses existantes.

Ce que nous proposons ici n'est pas une étude complète et approfondie de la morphologie du same (comme nous l'avons fait pour le same du Nord dans Picard 2016). Il ne s'agit pas non plus de mesurer la complexité du same face à d'autres langues, mais d'approcher sa morphologie par le biais de l'étude des *systèmes complexes*. Dans cette perspective, nous utilisons le modèle *Paradigm Function Morphology* pour modéliser quelques paradigmes.

2.1.1 Cadre théorique et modèle

Le modèle *Paradigm Function Morphology* (PFM) a été développé par Gregory Stump (2001; Bonami & Stump 2014; Stewart & Stump 2007). Il s'agit d'une théorie de type Mot & Paradigme (Hockett 1954), qui modélise les relations entre les catégories morphosyntaxiques (temps, personnes, etc.) et les marques flexionnelles (affixales, morphophonologiques, etc.) par des ensembles de règles réalisationnelles.

Les théories Mot & Paradigme (Stump 2001 ; Blevins 2006 ; Touratier 2012 : 71–75) prennent, comme leur nom l’indique, les mots comme unité primitive. Le mot n’est pas considéré comme une suite de morphèmes, comme dans une théorie lexicale, mais comme un ensemble de caractéristiques flexionnelles dirigées par des règles et appartenant à un paradigme. Un paradigme est un inventaire formalisé de l’ensemble des catégories et valeurs morphosyntaxiques selon lesquelles les lexèmes peuvent être fléchis. Le tableau ci-dessous est un exemple de paradigme du lexème verbal *kullat* aux formes personnelles du présent en same du Nord.

	Singulier	Duel	Pluriel
1^e personne	kula-n	kulle	kulla-t
2^e personne	kula-t	kulla-peahti	kulla-pehtet
3^e personne	kulla-a	kulla-pa	kulle-t

Tableau 1. Paradigme du présent du verbe *kullat* « entendre » en same du Nord (Universitetet Tromsø 2017)

PFM est une des théories Mots et Paradigmes les plus formalisées, utilisant des fonctions paradigmatisées pour modéliser les réalisations d’un lexème. Selon Bonami & Stump (2014), la fonction paradigmatisée associe un lexème à un ensemble complet de propriétés morphosyntaxiques qui lui sont adéquates⁶ pour produire chaque forme du paradigme du lexème.

Dans PFM, chaque fonction est une règle à l’intérieur d’un paradigme, et elles sont organisées en blocs correspondant aux positions dans le mot : autant de blocs qu’il y a d’éléments dans une réalisation du lexème. PFM permet de faire ressortir les éléments de morphologie affixaux et ceux qui sont internes au radical, et souvent ignorés par les formalisations.

Les blocs, correspondant à des règles opérant cycliquement, sont de trois types :

- un premier bloc de Règles de Choix de Radical (RCR), donnant les alternances thématiques, par exemple en français, l’alternance entre les radicaux [bwa-] et [byv-] dans le paradigme du verbe *boire* ;
- un ou des blocs de Règles d’Exponence (RE) correspondant aux différentes positions affixales et donnant les exposants, c’est-à-dire les marques de temps, de personne, de mode, etc. ;
- un dernier bloc de Règles MorphoPhonologiques (RMP) qui correspond aux ajustements phonologiques utilisés par la langue pour lier les thèmes et leurs exposants : on peut donner l’exemple de la règle qui produit en français le passage du schwa dans [apøle] au ϵ dans [apɛl] quand la consonne est en position finale, lorsque l’exposant n’est pas exprimé.

PFM n’est pas, à proprement parler, un outil d’analyse spécifiquement créé pour dégager la complexité d’un système. Il a cependant la particularité, face par exemple à des

⁶ Les propriétés morphosyntaxiques adéquates d’un lexème sont celles qui s’appliquent à sa catégorie syntaxique (par exemple, les flexions casuelles sont applicables si le lexème est un nom).

modèles morphologiques de type lexicaux et incrémentaux⁷, de prendre en compte sans difficulté les alternances radicales et la morphologie non linéaire. Pour cette raison, il est particulièrement bien adapté à la modélisation des langues sames. De plus, il permet de faire ce que nous recherchons, c'est-à-dire démêler la complexité structurelle et fonctionnelle du système morphologique en une série de règles qui sont, elles, simples, sans pour autant opérer de réduction méthodologique. Ainsi, il suit les principes de l'analyse des systèmes complexes. Mais la complexité que nous voulons décrire ici est surtout celle de la variation diasystémique, entre trois langues sames qui ont chacune développé un système distinct de flexion verbale, en contraste les unes des autres.

2.1.2 Le same du Nord

Les langues sames ont une morphologie flexionnelle complexe et difficile à décrire, car elle s'appuie principalement sur des processus non linéaires, comme les alternances radicales. Pour cette raison, la formalisation PFM est particulièrement adaptée pour en comprendre les règles sous-jacentes.

Le tableau 1 repris ici présente un fragment de paradigme en same du Nord :

	Singulier	Duel	Pluriel
1^e personne	kula-n	kulle	kulla-t
2^e personne	kula-t	kulla-peahti	kulla-pehtet
3^e personne	kulla-a	kulla-pa	kulle-t

La formalisation des RCR se fait de la manière suivante. La règle (2) donne la forme radicale *kula* pour les deux premières personnes du singulier (forme faible) et la règle (1) la forme pour toutes les autres cases du paradigme du tableau 1 : la forme forte.

- (1) RCR : X & { } ↔ <kulla>, σ
 (2) RCR : Y & {NB: Sg PERS: 1/2} ↔ <kula>, σ

⁷ Voir à ce sujet Stump (2001 : 1-30). Dans un modèle lexical, chaque morphème porte ses traits syntaxiques de manière inhérente : le morphème *-ons* de (*nous*) *buvons* par exemple a une entrée lexicale spécifiant son association avec les propriétés *1^e personne, pluriel, présent, indicatif*, ce qui contraste avec les modèles inférentiels qui modélisent ces associations par des règles morphologiques.

Dans une théorie incrémentale, chaque portion phonologique ajoutée au mot incrémente son bagage morphosyntaxique, donc *buvons* acquiert ses propriétés de *1^e personne, pluriel, présent, indicatif* seulement par la présence du suffixe *-ons*, tandis que dans un modèle réalisationnel, c'est l'association de ces propriétés à la racine qui permet la présence du suffixe.

Un modèle inférentiel-réalisationnel comme PFM peut donc prendre en compte sans difficulté le fait que le suffixe de *1^e personne, singulier, présent, indicatif* peut aussi être vide, comme dans (*je*) *pense*, puisque ces propriétés ne sont pas indexés d'entrée au suffixe *-s*.

Les règles se lisent de cette manière : la fonction X ou Y (valant pour des réalisations thématiques du lexème) se définit (&) par un ensemble de traits tels que {n} et dont la réalisation est <...>. Le sigma (σ) indique que la forme doit être appariée à l'ensemble de traits précédemment indiqué. L'ensemble vide { } représente la règle *par défaut*, valable pour tous les cas non mentionnés dans les autres fonctions.

Pour ce paradigme, l'alternance radicale se fait entre un thème fort et un thème faible : il s'agit d'un phénomène de gradation consonantique : une consonne géminée (kulla-) face à une consonne simple (kula-) dans le cas de ce verbe⁸. C'est une alternance qui se retrouve dans la majorité des langues sames, dans les paradigmes nominaux comme verbaux, ainsi que dans de nombreuses autres langues finno-ougriennes. Si son origine est morphophonologique et liée à l'ouverture de la syllabe qui suit cette consonne, elle s'est en same complètement morphologisée : elle est devenue indépendante de ses causes d'origine. Elle produit donc une alternance thématique importante et est dans certains cas la seule différence entre deux formes dans le paradigme (par exemple *guolli* – poisson.NOM.SG et *guoli* – poisson.ACC.SG).

Les Règles d'Exponence (RE) sont nombreuses, puisque les exposants du same sont allomorphiques, combinant en un suffixe le temps, le nombre et la personne. La règle (3) donne l'exposant de la première personne du singulier, la (4) celui de la deuxième personne, etc.

- | | | |
|-----|------------------------------------|----------------|
| (3) | RE : X & {PERS:1 NB:Sg} ↔ Yn | (kulan) |
| (4) | RE : X & {PERS:2 NB:Sg} ↔ Yt | (kulat) |
| (5) | RE : X & {PERS:3 NB:Sg} ↔ Xa | (kullaa) |
| (6) | RE : X & {PERS:1 NB:Du} ↔ Xi | (kulle) |
| (7) | RE : X & {PERS:2 NB:Du} ↔ Xpeahhti | (kullapeahhti) |
| (8) | RE : X & {PERS:3 NB:Du} ↔ Xpa | (kullapa) |

etc.

Dans la règle (6), l'exposant est bien un *i* et non un *e*, qui subit ensuite un ajustement morphophonologique expliqué ci-dessous, de même pour la troisième personne du pluriel. Ce *i* vient d'un ancien suffixe nominal finno-ougrien *jä*, qui entraîne une palatalisation de la voyelle radicale.

Dans les Règles d'Exponence, l'affixe est associé à la réalisation X ou Y correspondant aux RCR, dans l'ordre donné.

La première version de PFM (Stump 2001) ne propose pas réellement de formalisation du bloc de Règles MorphoPhonologiques. Comme le modèle PFM est d'orientation générativiste, nous avons choisi de proposer une forme dérivée des règles de phonologie générative de *Sound Patterns of English* (Chomsky & Halle 1968) pour formaliser la règle morphophonologique nécessaire à ce paradigme, qui explique le *e* final de la deuxième personne du duel et de la troisième du pluriel, au présent :

⁸ La gradation consonantique en same du Nord peut être quantitative (géminée contre simple, ou super-géminée contre géminée) ou qualitative (sourde contre voisée par exemple).

(9) RMP : < a < i > > ↔ < e > / __ (C) #

La Règle MorphoPhonologique se lit ainsi : il y a coalescence d'un *a* radical avec un exposant *i* adjacent en contexte de fin de mot, ou devant une consonne optionnelle finale.

Ce fragment de paradigme suffit à montrer que PFM permet de modéliser les jeux d'interaction entre les modules de la grammaire et de mettre en lumière la complexité à tous les niveaux : au niveau lexical ou structurel pour les thèmes, au niveau formel pour les exposants et dans le grain fin des interactions pour les processus d'ajustement morphophonologique. Allant au-delà des accidents de l'histoire de la langue qui produisent des singularités, PFM formalise par des règles *simplexes* un paradigme *complexe*, fait d'alternances radicales, d'exposants allomorphiques et de phénomènes morphophonologiques qui *s'auto-organisent* en un paradigme régulier et productif.

Cette analyse s'inscrit également dans une perspective holistique : si l'on peut dégager des règles *simplexes* pour décrire un système flexionnel, on voit bien que le système ne peut être réduit à la simple somme des éléments sans prendre en compte les interactions et les flux d'information (ajustements) au sein du système. Elle correspond donc bien à ce principe fondamental de la théorie des systèmes complexes.

Nous avons choisi dans cette partie de nous concentrer surtout sur les *flux d'information* et les phénomènes d'*auto-organisation* au sein du *diasystème*, plutôt que de nous intéresser à l'*émergence*, au sein d'une même langue, de classes flexionnelles, qui sont un autre aspect de la complexité de la flexion verbale same. Nous trouverons un autre exemple d'émergence, au niveau diasystémique, dans la troisième partie.

2.1.3 Jeux de différenciation : les sames de l'est

Le tableau ci-dessous contient le paradigme du cognat de *kullat* en same de Ter, la plus orientale des langues sames.

	Singulier	Pluriel
1^e personne	kul-am	kull-ep
2^e personne	kul-ak	kull-bedtʲe
3^e personne	kull-a	kull-av

Tableau 2. Paradigme du présent du verbe *kulle* « entendre » en same de Ter (Zhivotova 2010 : 79)

Les règles (10) et (11) donnent les deux formes radicales du verbe *kulle* en same de Ter, liées comme en same du Nord à la gradation consonantique.

(10) RCR : X & { } ↔ <kull>, σ

(11) RCR : Y & {NB: Sg PERS: 1/2} ↔ <kul>, σ

(12) à (14) donnent les Règles d'Exponence des trois formes du singulier.

(12) RE : X & {PERS:1 NB:Sg} ↔ Yam (kulam)

(13) RE : X & {PERS:2 NB:Sg} ↔ Yak (kulak)

(14) RE : X & {PERS:3 NB:Sg} ↔ Xa (kulla)

etc.

On assiste ici à une neutralisation des phénomènes morphophonologiques, due à l'apocope de la voyelle finale du radical⁹. La gradation consonantique est toujours présente, avec une distribution identique à celle du same du Nord, mais ce paradigme est plus *simple* que le précédent. C'est d'ailleurs une tendance générale dans la flexion verbale du same de Ter : une simplification qui se traduit par la neutralisation des formes duelles et de la majorité des alternances. Cela accentue la régularité du paradigme et donc la *robustesse* du système morphologique dont il fait partie.

Nous sommes face à deux types d'organisation du système flexionnel : le same du Nord qui s'appuie sur des processus morphophonologiques et le same de Ter qui a un système très simplifié, plus proche du modèle de l'agglutinance, avec des thèmes courts. On peut cependant retrouver une continuité entre les systèmes, notamment par la présence de la gradation consonantique, de la structure en thèmes fort et faible et des exposants allomorphiques (combinant temps et personne). C'est, dans notre propos, cet écart entre deux systèmes dans des langues très proches, dans le paradigme d'un verbe très courant, que l'on peut mettre en lumière la complexité des systèmes morphologiques : sur la même base, les deux langues ont évolué dans des directions différentes, cherchant leur équilibre configurationnel en renforçant la saillance des paramètres morphophonologiques, pour le same du Nord, et la robustesse des thèmes pour le same de Ter.

Mais on peut trouver un contraste plus grand encore dans le same de Skolt, situé géographiquement entre les deux précédents. Voici le paradigme du même verbe *entendre* :

	Singulier	Pluriel
1^e personne	kuul-am	kuull-ep
2^e personne	kuul-ak	kuull-vet'ed
3^e personne	kooll	koll ⁱ -e

Tableau 3. Paradigme du présent du verbe kuullâd « entendre » en same de Skolt (Feist 2010 : 115)

Les règles (15) à (17) donnent les quatre radicaux fondés sur les différentes alternances thématiques. L'opposition X/Y reprend comme dans les deux langues précédentes la gradation consonantique, tandis que les différentes incarnations de X (X', X'') jouent sur les alternances vocaliques et la palatalisation de la consonne.

- (15) RCR : X & { } ↔ <kuull>, σ
 (16) RCR : X' & {NB: Sg PERS: 3} ↔ <kooll>, σ
 (17) RCR : X'' & {NB: Pl PERS: 3} ↔ <kollⁱ>, σ
 (18) RCR : Y & {NB: Sg PERS: 1/2} ↔ <kuul>, σ

Tout comme en same de Ter, l'apocope de la voyelle thématique neutralise les jeux d'ajustements morphophonologiques qu'utilise le same du Nord, mais ceux-ci se

⁹ La disparition en same de Ter de la seconde voyelle radicale *a* du same du Nord est visible surtout dans la forme de la deuxième personne du pluriel *kull-bed'te*, à différencier du same du Nord *kulla-pehtet*. Ce phénomène se retrouve dans d'autres formes, notamment celles du mode conditionnel.

reportent sur le reste du radical. Ainsi, le same de Skolt présente des alternances radicales complexes, combinant des changements qualitatifs et quantitatifs consonantiques (gradation consonantique et palatalisation) et vocaliques (ablaut et alternance de longueur). L'intrication de ces différents paramètres au sein du paradigme, apparemment indépendants les uns des autres et sans cause phonologique, en fait un défi pour le modèle PFM comme pour tous les autres formalismes morphologiques, forçant à postuler de nombreux thèmes distincts.

Le same de Skolt a donc tendance à complexifier son système flexionnel plutôt que de le simplifier comme le same de Ter. Il joue très fortement sur l'intrication des multiples paramètres d'alternances radicales, dans une dynamique de renforcement des oppositions et des contrastes entre les formes. La contrepartie est une légère simplification des exposants, notamment à la troisième personne du singulier où il n'est pas exprimé. Il s'agit d'un troisième type d'organisation paradigmatique à partir du même verbe, plus axé sur les contrastes que sur la robustesse des structures.

Ainsi, la comparaison des langues au sein du diasystème permet de mettre en lumière des systèmes d'organisation contrastés, qui jouent sur la complexification ou la neutralisation des paramètres d'alternance. Ces jeux relèvent de l'*auto-organisation* des systèmes flexionnels et de la *continuité* du diasystème.

Nous pouvons également noter qu'une modélisation très fragmentaire telle que celle que nous avons effectuée ici nous permet déjà de nous rendre compte combien la classification traditionnelle des langues sames, comme de toute la famille ouralienne, parmi les langues purement agglutinantes, est, au mieux, très réductrice. Les quelques caractéristiques que nous avons évoquées ici violent presque toutes le principe de l'agglutinance : opacité des exposants, allomorphie importante des thèmes, irrégularité des paradigmes (Léonard 2014).

3. Complexité au niveau du diasystème : configurations de la variation dialectale

La seconde application de l'approche systémique que nous voulons exemplifier se situe dans le domaine de la dialectologie, et plus précisément de la dialectométrie. Nous travaillons ici directement à l'échelle du diasystème entier, pour étudier la complexité de sa configuration et des flux d'information entre les dialectes¹⁰. Un des problèmes premiers de la question des frontières géolinguistiques semble être la tendance à « sous-modéliser les isoglosses » (Léonard & *al.* 2015:146), en ignorant les principes de la théorie de la complexité. Les diasystèmes étant avant tout des systèmes complexes, la fluctuation des frontières et les difficultés de classification ne mènent pas, selon nous, à

¹⁰ Nous utilisons le terme de dialecte non dans le sens de *sous-division* d'une langue, mais dans celui de *partie d'un même diasystème*. Nous parlons bien ici des mêmes langues sames présentées dans la partie précédente.

des apories mais sont heuristiques pour la compréhension des interactions et de l'auto-organisation au sein des systèmes dialectaux.

Nous analysons ici une base de données de cognats sames de manière quantitative grâce à un algorithme permettant de calculer des distances linguistiques entre dialectes ou langues d'une même famille. Nous nous concentrons sur l'aspect phonologique, mais d'autres méthodes peuvent permettre d'évaluer également des distances morphologiques ou lexicales entre dialectes¹¹.

3.1 Base de données

La base de données comporte 106 cognats des neuf langues sames. La majorité correspond à des termes de la liste Swadesh de 200 mots (Swadesh 1955), de manière à regrouper des termes courants comprenant noms, verbes, adjectifs et pronoms. Les entrées elles-mêmes proviennent de plusieurs dictionnaires des langues sames (Lagercrantz 1939; Grundström 1946; Itkonen 1958; Korhonen 1981; Itkonen 1986) dont les données ont été rassemblées par Lehtiranta (1989) en une base de données de cognats. Le tableau suivant en présente un extrait¹² :

Traduction	Sud	Ume	Pite	Lule	Nord	Inari	Skolt	Kildin	Ter
homme	ålmedje	al'matja	almatj	ulmutj	olmuš	olmoož	ååumaž	ålmeñž	olmøj
être	årudh	urroot	årroot	årrot	orrot	orroot	åårad	årređ	oarrad
dormir	oår'edh	åddeet	åaddiet	ååtēt	oaddēt	oaddiđ	vue'dđed	vue'ddeđ	vjetted
voir	vuöjn'edh	vüeid'neet	vuoj'tniet	ái'nēt	oai'dnet	oajniđ	vuei'nmed	u'jneđ	uñned
tête	oåjje	åivee	ååj'vie	ái've	oai've	oaiivi	vuei'vv	vue'jv	vjej̄ye
avoir peur	b'illedh	ballat	pallat	pallat	bállât	poollađ	põöllâd	pelleđ	pellêd
faire peur	bäld'edh	balldeet	pal'tiet	paltēt	bâl'det	paldeđ	pâ'ldded	pā'Īdeđ	pæĪded

Tableau 4. Extrait de la base de cognats dans les neuf langues sames, d'ouest en est.

Les données utilisées ici ne donneront bien sûr qu'un aperçu des formes géolinguistiques du diasystème same, étant basées uniquement sur la phonologie et avec un échantillon de mots assez réduit. Cette section doit être considérée comme le premier pas vers une étude plus complète de la complexité du diasystème et ne prétend pas donner de résultats définitifs sur la classification des langues sames. Mais elle pose des bases méthodologiques : l'utilisation d'un algorithme de mesure de distance sur des données quantitatives pour approcher l'écologie diasystémique.

¹¹ Par exemple Polian & al. (2014). Pour d'autres applications de la théorie de la complexité à l'écologie linguistique, voir Massip-Bonet & Bastardas-Boada 2012, Mufwene 2013.

¹² Le système de transcription utilisé par Lehtiranta est l'Alphabet Phonétique Ouralien, à la différence des exemples de la partie précédente transcrits en Alphabet Phonétique International.

3.2 La distance de Levenshtein

La distance de Levenshtein (Levenshtein 1966), ou distance d'édition, est utilisée pour estimer la distance phonologique entre deux dialectes. Elle calcule la différence entre deux chaînes de caractères, dans notre cas deux cognats, définie comme le nombre minimum¹³ d'opérations de substitution, d'insertion et de suppressions nécessaires pour passer de l'une à l'autre. Par exemple, les cognats *puoitu* (same de Lule) et *puoiti* (same de Nord), signifiant *graisse*, ont une distance de 1 tel que :

Same de Lule	p	u	o	i	t	u
Same du Nord	p	u	o	i	t	i
Distance	0	0	0	0	0	1

mais *buojdie*, leur cognat en same du Sud, a lui une distance de 4 avec le same de Lule, correspondant à une plus grande différence :

Same de Lule	p	u	o	j	t	u	
Same du Sud	b	u	o	j	d	i	e
Distance	1	0	0	0	1	1	1

Les distances obtenues sont ensuite moyennées pour chaque paire de dialectes, puis normalisées en fonction de la longueur des mots, pour que les mots les plus longs, qui contiennent naturellement le plus de changements, ne prennent pas un poids démesuré dans la distance finale. Le tableau suivant est une matrice symétrique des valeurs obtenues pour chaque paire de dialectes, comprises entre 0 (aucune différence) et 1 (distance maximale), colorée de la plus petite distance (rouge) à la plus grande (jaune).

	Sud	Ume	Pite	Lule	Nord	Inari	Skolt	Kildin	Ter
Sud	0	0,55	0,49	0,69	0,63	0,68	0,75	0,82	0,74
Ume	0,55	0	0,44	0,56	0,53	0,69	0,78	0,86	0,79
Pite	0,49	0,44	0	0,41	0,59	0,58	0,74	0,76	0,68
Lule	0,69	0,56	0,41	0	0,56	0,59	0,71	0,76	0,79
Nord	0,63	0,53	0,59	0,56	0	0,53	0,64	0,79	0,73
Inari	0,68	0,69	0,58	0,59	0,53	0	0,61	0,72	0,75
Skolt	0,75	0,78	0,74	0,71	0,64	0,61	0	0,57	0,67
Kildin	0,82	0,86	0,76	0,76	0,79	0,72	0,57	0	0,62
Ter	0,74	0,79	0,68	0,79	0,73	0,75	0,67	0,62	0

Tableau 5. Matrice des distances de Levenshtein entre les langues sames (traitement algorithmique par Denis Picard)

¹³ L'algorithme calcule en réalité toutes les comparaisons possibles entre les deux mots (en gardant l'ordre des lettres) et retient le résultat minimum, ce qui correspond toujours à l'alignement optimal des deux mots en cas de différence de longueur.

3.3 Visualisation

Les chiffres obtenus par l'algorithme de Levenshtein sont partiellement interprétables en l'état, mais il existe différentes méthodes pour les visualiser et en tirer des informations plus claires. Nous utilisons ici la modélisation en graphe de réseau.

Les graphes sont réalisés avec le logiciel Gephi¹⁴. Les distances entre les dialectes sont représentées à la fois par la position des points dans l'espace et par l'épaisseur des liens. Ces graphes peuvent être seuillés : seuls les liens dont la valeur est en dessous du seuil sont alors visibles. Ce seuillage correspond à une *multiplicité des points de vue*, pour observer le système à différents niveaux de cohésion.

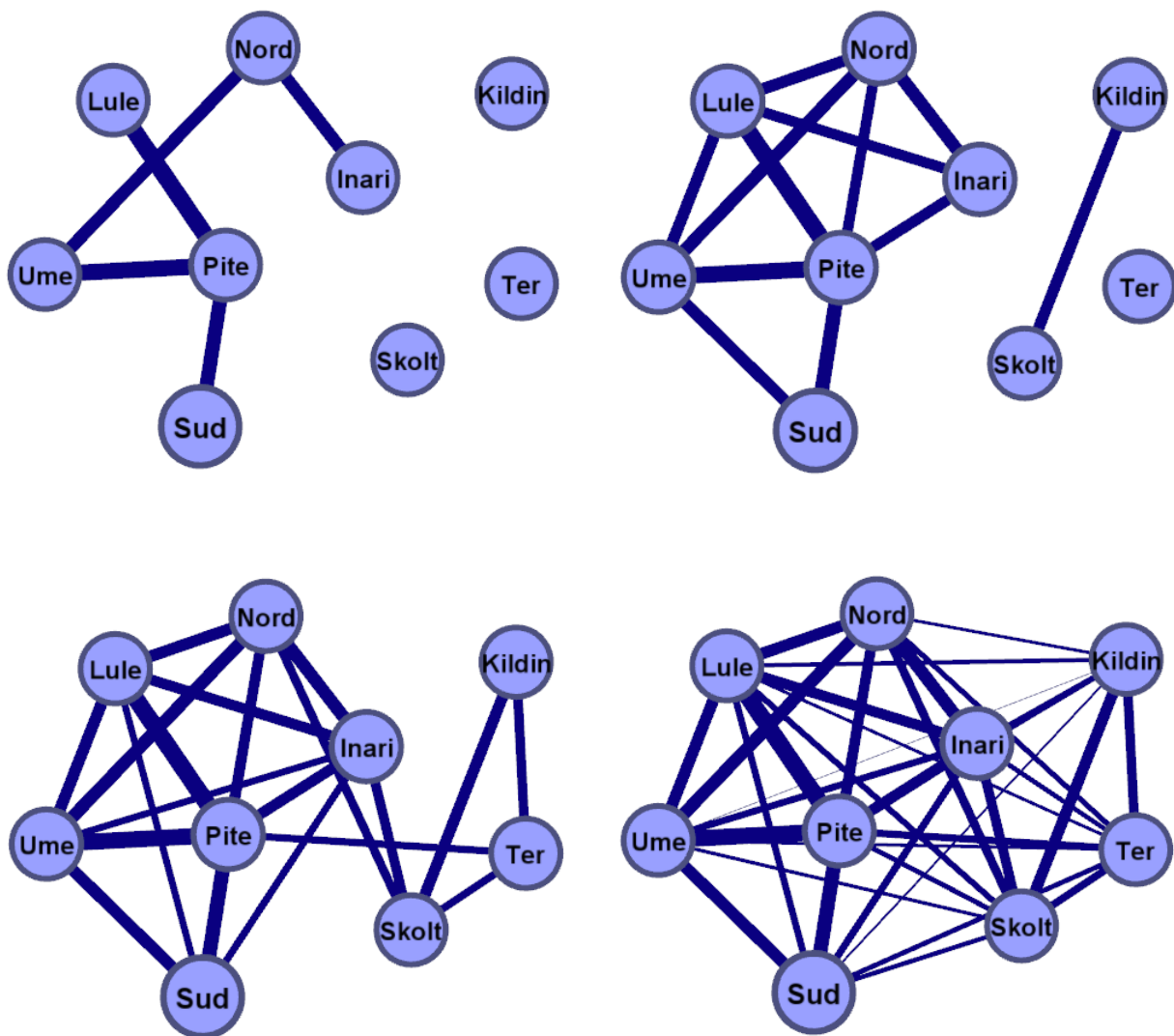


Figure 2. Représentation en graphes de réseaux des distances de Levenshtein aux seuils 0,55, 0,60, 0,70 et maximal

¹⁴ Gephi est un logiciel de visualisation par graphe très puissant, manipulable en temps réel, disponible sur <https://gephi.org/>

Au seuil le plus bas, seuls les liens les plus forts sont présents, mais on voit déjà se former, à partir de points isolés, un réseau linguistique. Au fur et à mesure de l'augmentation du seuil, de nouvelles tendances apparaissent dans la configuration du système. Le second graphe est sans doute le plus probant d'un point de vue linguistique : il montre clairement l'*émergence* d'une organisation en deux groupes distincts. Ces groupes sont géographiquement cohérents, correspondants à la répartition ouest/est des langues sames, mais ne se superposent pas parfaitement à la bipartition classique basée sur les isoglosses : celle-ci inclut le same d'Inari dans les langues du groupe est, tandis qu'il est ici fortement associé aux langues de l'ouest.

Cette émergence de deux groupes se voit ici en synchronie, en observant l'évolution *spatiale* des graphes, puisque nous ne faisons pas une analyse temporelle du diasystème. Nous ne ferons donc pas d'hypothèse sur la datation des séparations entre les dialectes, mais nous pouvons modéliser, comme ici, la *configuration* actuelle du diasystème same. Le groupe ouest, très soudé, et le petit groupe est aux liens bien plus lâches, relèvent réellement de l'auto-organisation du système dialectal, une fois que l'on cherche à le comprendre de manière *holistique*, non réduite, plutôt que par des isoglosses pris un par un, qui souvent ne permettent pas une vision d'ensemble (le *tout* contre la *partie*).

Le same de Ter, s'il rejoint le groupe formé par le same de Skolt et de Kildin dans le troisième graphe, reste excentré, faiblement connecté au réseau, ce qui peut s'expliquer par sa position géographique lointaine. Dans ce même graphe, on voit se former les premiers liens entre les deux groupes, passant par les langues les plus proches géographiquement (Inari et Skolt) mais aussi par d'autres beaucoup plus éloignées (Ter et Pite), ce qui suggère une cohésion dans le diasystème au-delà de la simple géographie.

Enfin, le dernier graphe nous montre la totalité des liens entre les langues, distingués par leur épaisseur respective. Si cette foison de traits rend le graphe moins lisible, la position des points dans l'espace nous éclaire cependant sur l'organisation du diasystème : l'hexagone presque régulier formé par les points, au-delà des liens uniques, rappelle la cohésion de groupe que laissait apercevoir le graphe précédent, en regard de l'isolement des sames de Ter et Kildin. Le same d'Inari, en position centrale entre les deux groupes ouest et est, qui se distinguent bien dans le troisième graphe, fait office de lien : il s'agirait d'une zone médiane adoptant des traits provenant à la fois de l'ouest et de l'est du diasystème. Cette zone est très importante, empêchant la classification très réductrice que donne l'arbre généalogique, que nous ne remettons pas en cause d'un point de vue phylogénétique, mais qui ne suffit pas à expliquer la configuration en synchronie des diasystèmes : les *flux d'information* entre dialectes ne s'arrêtent pas le jour où ils sont divisés par une isoglosse (François, 2017).

On peut dire que le same de Pite, au centre du groupe ouest, constitue également une zone de transition entre les deux parties du groupe ouest : les sames du Sud et d'Ume, d'une part, et les sames de Lule, du Nord et d'Inari de l'autre, ce qui est cohérent géographiquement. Mais le groupe ouest en général, ayant une bien plus grande cohésion interne que l'ensemble du diasystème, fait moins figure de tampon entre deux groupes que de pivot au sein de ce même groupe.

La somme de ces graphes nous montre avant tout combien les frontières dialectales sont fluctuantes et que différents niveaux d'analyse mettent en lumière des réseaux uniques.

Chaque seuil nous apporte des informations nouvelles sur l'organisation du réseau dialectal et les flux interactifs au sein du diasystème, amenant à l'émergence de groupes plus ou moins cohésifs, sans jamais sortir de la vision holistique de la complexité du système.

Conclusion

Dans la tradition linguistique des finno-ougriens et des samologues, le poids des études diachroniques est très lourd, et ces approches reflètent mal la complexité synchronique de la morphologie flexionnelle ou de l'organisation diasystémique. Or ce sont les processus d'intrication paradigmatique, de complexification ou de neutralisation des paramètres d'alternance et l'auto-organisation des systèmes flexionnels en synchronie qui s'avèrent heuristiques pour la typologie des langues du monde (Léonard 2014). Les formalisations de PFM nous ont permis de démêler la complexité de ces processus et de comparer la flexion d'un paradigme dans trois langues sames pour mettre en lumière les stratégies propres à chaque langue de systématisation et de différenciation des formes dans une dynamique auto-organisatrice.

En ce qui concerne l'écologie linguistique, dépasser les limites imposées par les modèles réductionnistes en prenant en compte la multiplicité des données (même si nous sommes limitée à la phonologie) permet de dégager l'évidence d'une auto-organisation du système et de l'émergence de groupes dialectaux qui ne se superposent pas toujours aux classifications traditionnelles. Penser l'aire dialectale comme un système complexe amène à une vision d'ensemble au-delà des phénomènes propres à chaque langue et permet d'y distinguer des flux d'information parfois insoupçonnés.

En combinant deux approches du même diasystème, mais fonctionnant à des niveaux de grain différents, qui se répondent par leurs enseignements, nous mettons en œuvre une démarche de modélisation de la complexité. Il s'agit plus d'un aperçu méthodologique que d'une analyse en profondeur, qui sera la prochaine étape de ce travail, mais nous espérons avoir fait ressortir le potentiel de l'approche complexe en linguistique et dans la recherche transdisciplinaire.

Abréviations

ACC Accusatif

C Consonne

CF Classe Flexionnelle

Du Duel

NB Nombre

NOM Nominatif

PERS Personne

PFM Paradigm Function Morphology

Pl Pluriel

RCR Règles de choix de radical

RE Règles d'exponence

RMP Règles Morphophonologiques

Sg Singulier

Références bibliographiques

- Aikio, Ante. 2008. Extreme Morphophonological Complexity As A Challenge To Grammatical Description – The Case Of Skolt Saami. Présentation au colloque *Cognitive and Functional Perspectives on Dynamic Tendencies in Languages*. Université de Tartu, 29 mai-1^{er} juin 2008.
- Bateson, Gregory. 1972. *Steps to an Ecology of Mind: Collected Essays in Anthropology, Psychiatry, Evolution, and Epistemology*. Chicago: University of Chicago Press.
- Bateson, Gregory. 1979. *Mind and Nature: A Necessary Unity*. Boston: Dutton.
- Bel-Enguix, Gemma & María Dolores Jiménez López (eds.). 2010. *Language as a complex system: interdisciplinary approaches*. Newcastle upon Tyne: Cambridge Scholars.
- Berthoz, Alain. 2009. *La Simplexité*. Paris : Odile Jacob.
- Blevins, James P. 2006. Word-based morphology. *Journal of Linguistics* 42(03). 531. doi :10.1017/S0022226706004191.
- Bonami, Olivier & Gregory Stump. 2014. Paradigm Function Morphology. In Andrew Hippisley & Gregory Stump (eds.), *The Cambridge Handbook of Morphology*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Bye, Patrik A. 2002. Virtual Phonology : Rule-Sandwiching and Multiple Opacity in North Saami. University of Tromsø : PhD dissertation.
- Chomsky, Noam. 1969. *Aspects of the Theory of Syntax*. Cambridge, Mass: MIT Press.
- Chomsky, Noam & Morris Halle. 1968. *The sound pattern of English*. New York: Harper & Row.
- Cowan, G. A., David Pines & David Meltzer (eds.). 1994. *Complexity: metaphors, models, and reality (Santa Fe Institute studies in the sciences of complexity. Proceedings volume 19)*. Reading, Mass: Addison-Wesley.
- Feist, Timothy Richard. 2010. *A Grammar of Skolt Saami*. Manchester: University of Manchester : PhD dissertation.
- Foerster, H. von. 1960. On Self-Organizing Systems and Their Environments. In M.C. Yovits & S. Cameron (eds.), *Self-Organizing Systems*, 31–50. Londres: Pergamon Press.
- François, Alexandre. 2017. Méthode comparative et chaînages linguistiques: Pour un modèle diffusionniste en généalogie des langues. In Jean-Léo Léonard (ed.), *Diffusion : implantation, affinités, convergence*. Mémoires de la Société de Linguistique de Paris, XXIV. Louvain : Peeters.
- Gribbin, John R. 2005. *Deep Simplicity: Chaos, Complexity and the Emergence of Life*. Londres: Penguin Books.
- Grundström, Harald. 1946. *Lulelappsk ordbok*. Uppsala: Lundequistska bokhandeln. [https:// biblioteket.stockholm.se/titel/87354](https://biblioteket.stockholm.se/titel/87354).

- Heinsalu, E., M. Patriarca & Jean Léo Léonard. 2014. The Role of Bilinguals in Language Competition. *Advances in Complex Systems* 17(01).
- Hockett, Charles F. 1954. *Two Models of Grammatical Description*. New York : Linguistic Circle.
- Itkonen, Erkki. 1946. *Struktur und Entwicklung der Ostlappischen Quantitätssysteme*. Helsinki, Suomalais-ugrilainen seura.
- Itkonen, Erkki. 1986. *Inarilappisches Wörterbuch*. Helsinki: Suomalais-ugrilainen Seura.
- Itkonen, Toivo Immanuel. 1958. *Koltan- ja kuolanlapin sanakirja = Wörterbuch des Kolta- und Kolalappischen I*. Helsinki: Suomalais-ugrilainen seura.
- Korhonen, Mikko. 1981. *Johdatus lapin kielen historiaan*. Helsinki: Suomalaisen Kirjallisuuden Seura.
- Lagercrantz, Eliel. 1939. *Lappischer Wortschatz.1-2*. Helsinki: Suomalais-ugrilainen seura.
- Larsen-Freeman, D. 1997. Chaos/Complexity Science and Second Language Acquisition. *Applied Linguistics* 18(2). 141–165. doi:10.1093/applin/18.2.141.
- Larsen-Freeman, Diane & Lynne Cameron. 2008. *Complex Systems and Applied Linguistics*. Oxford: Oxford University Press
- Le Moigne, Jean-Louis. 2006. *La théorie du système général : théorie de la modélisation Systèmes-décisions* (1^e édition 1977). Paris : Presses universitaires de France.
- Lehtiranta, Juhani. 1989. *Yhteissaamelainen sanasto*. Helsinki: Suomalais-ugrilainen Seura.
- Léonard, Jean Léo. 2014. L’agglutinance dans les langues finno-ougriennes : déconstruction par modélisation PFM (langues fenniques et mordve). In Sébastien Moret & Patrick Sériot (eds.), *Actes de la journée d’études internationale « Les langues agglutinantes : linguistique, idéologie, mythe »*, Lausanne : Université de Lausanne (sous presse).
- Léonard, Jean Léo, Els Heinsalu, Marco Patriarca & Pierre Darlu. 2015. Modeling Regional Variation from EAS: [1] Complexity and Communal Aggregates. In Gotzon Aurrekoetxea, Asier Romero Andonegi & Aintzane Etxebarria Lejarreta (eds.), *Linguistic variation in the basque and education-I = Euskararen bariazioa eta bariazioaren irakaskuntza-I*, 145–172. Bilbao: Euskal Herriko Unibertsitateko Argitalpen Zerbitzua = Servicio editorial de la Universidad del País Vasco.
- Lorenz, Edward N. 1963. *Deterministic Nonperiodic Flow*. *Journal of the Atmospheric Sciences* 20(2). 130–141. doi:10.1175/1520-0469(1963)020<0130:DNF>2.0.CO;2.
- Levenshtein, Vladimir. 1966. Binary codes capable of correcting deletions, insertions, and reversals. *Soviet Physics Doklady* 10(8). 707–710. Berlin: Springer.
- Magga, Tuomas. 1984. *Duration in the quantity of bisyllabics in the Guovdageaidnu dialect of North Lappish*. Numéro 11 in *Acta Universitatis Ouluensis. Series B, Humaniora ; Philologica*. University of Oulu, Oulu.

- Massip-Bonet, Àngels & Albert Bastardas-Boada. 2012. *Complexity Perspectives on Language, Communication and Society*. Berlin: Springer.
- Miestamo, Matti, Kaius Sinnemäki & Fred Karlsson. 2008. *Language Complexity: Typology, Contact, Change*. Amsterdam: John Benjamins Publishing.
- Morin, Edgar. 1977. *La nature de la nature (La Méthode t. 1)*. Paris : Seuil.
- Mufwene, Salikoko S. 2013. The Emergence of Complexity in Language: An Evolutionary Perspective. In Àngels Massip-Bonet & Albert Bastardas-Boada (eds.), *Complexity Perspectives on Language, Communication and Society Understanding Complex Systems*, 197–218. Berlin ; Heidelberg: Springer.
- Picard, Flore. 2016. *La flexion verbale same : complexité paradigmatique et classes flexionnelles*. Université Paris-Sorbonne : mémoire de Master.
- Polian, Gilles, Jean-Léo Léonard, Els Heinsalu & Marco Patriarca. 2014. Variación dialectal del Tzeltal (maya occidental) en los ámbitos morfológico, fonológico y léxico: un enfoque holístico. In Jean-Léo Léonard & Alain Kihm (eds.), *Patterns in Mesoamerican morphology*, Paris : Houdiard
- Sammallahti, Pekka. 1998. *The Saami languages: An introduction*. Kárášjohka: Davvi Girji.
- Sampson, Geoffrey, David Gil & Peter Trudgill (eds.). 2009. *Language complexity as an evolving variable* (Oxford linguistics 13). Oxford; New York: Oxford University Press.
- Saussure, Ferdinand de. 1916. *Cours de linguistique générale*. Paris : Payot.
- Stewart, Thomas & Gregory Stump. 2007. Paradigm Function Morphology and the Morphology-Syntax Interface. In Gillian Ramchand & Charles Reiss (eds.), *The Oxford Handbook of Linguistic Interfaces*, 383–421. Oxford: Oxford University Press.
- Stump, Gregory T. 2001. *Inflectional morphology: a theory of paradigm structure* (Cambridge studies in linguistics 93). Cambridge; New York: Cambridge University Press.
- Swadesh, Morris. 1955. Towards Greater Accuracy in Lexicostatistic Dating. *International Journal of American Linguistics* 21(2). 121–137.
- Toivonen, Ida & Diane Carlita Nelson. 2007. *Saami Linguistics*. John Benjamins Publishing.
- Touratier, Christian. 2012. *Morphologie et morphématique : Analyse en morphèmes*. Aix-en-Provence : Presses universitaires de Provence.
- Universitetet Tromsø. 2017. Neahttadigisánit | Nordsamiske ordbøker. <http://sanit.oahpa.no/>.
- Zhivotova, Evgeniya. 2010. *The Verb System of Ter Saami: Morphological Categories*. Universität Leipzig: M.A. Thesis.