

Variabilité des syllabes réalisées par des apprenants de l'anglais

Nicolas Ballier¹ Philippe Martin² Maelle Amand³

^{1,3} Université Paris-Diderot, EA 3967 – CLILLAC-ARP, France

² Université Paris-Diderot, UMR 7110-Laboratoire de Linguistique Formelle, France

nicolas.ballier@univ-paris-diderot.fr,

philippe.martin@linguist.univ-paris-diderot.fr,

maelle.amand@gmail.com

RÉSUMÉ

Cette contribution analyse la segmentation syllabique des francophones du corpus d'apprenant d'anglais ENGLISH (Tortel 2009). À partir d'une méthode d'alignement par alignement forcé, on montre la pertinence d'une analyse de l'interlangue fondée sur la comparaison des durées des syllabes. La comparaison des réalisations est ici centrée sur une typologie des syllabes fondée sur des propriétés distributionnelles, accentuelles et où l'interlangue tient sa place (risques d'isosyllabité les plus manifestes pour les réalisations des francophones). La variabilité des réalisations des syllabes est appréciée en fonction des propriétés positionnelles, accentuelles et structurelles des syllabes.

L'étude démontre l'intérêt d'une approche fonctionnelle des syllabes, plus pertinente que les intervalles interconsonantiques et intervocaliques inspirés de Ramus et al. (1999) pour la discrimination du niveau des locuteurs.

ABSTRACT

Analysing syllable variability in a French learner corpus of English.

This paper suggests an alternative method to classify native and non-native rhythmic realisations. Learner phonetic output has been automatically aligned on a native template of English syllables. Syllables have been classified according to positional, distributional and accentual properties. These syllable types differ significantly in their realisations between native and non-native speakers of English.

MOTS-CLÉS : syllabation, interphonologie français/anglais, alignement forcé, durée.

KEYWORDS: syllables, French-English interphonology, forced alignment, duration, templatic transfers.

1. Introduction

L'importance de la place du rythme dans l'interphonologie français/anglais ne fait pas débat (Adams 1973 ; Tortel 2009; Herment 2015). Toute la difficulté réside dans la prise en compte de la mesure idoine du rythme. Nous proposons de sortir de l'inventivité statistique que l'on peut associer aux mesures du rythme (Arvanati 2012; Loukina et al. 2013 ; Gut 2014) et de revenir aux constituants prosodiques (syllabe accentuée, syllabe réduite, pied). Sortir de l'impasse des métriques, dominantes depuis Ramus et al. (1999), permet de restituer les constituants de la hiérarchie prosodique, et de montrer la pertinence de la syllabe accentuée et du pied pour l'analyse de l'anglais. En l'espèce, on peut décrire l'interlangue prosodique des francophones parlant anglais, et aborder la question de l'isosyllabité et de la structuration accentuelle dans le cadre d'une réflexion ciblée. On cherche à comparer la prosodie des locuteurs sur des séquences identiques de texte lu. Nous proposons de considérer la variabilité dans deux dimensions.

L'approche paradigmatique consistera ultérieurement à comparer les événements prosodiques produits sur un intervalle donné. L'approche syntagmatique compare les différences de durée sur des

empans comparables, ce qui pose la question de la discrétisation des intervalles pertinents à mesurer pour construire les comparaisons. L'approche suivie par (Ballier et al, 2014) avec des outils comme Prosody Pro (Xu 2013) permet de normaliser la durée des réalisations en ne comparant que le matériau syllabique (les réalisations prosodiques, syllabe par syllabe). En proposant un compromis des réalisations prosodiques (visualisation de la moyenne de F0 sur l'intervalle de durée de la syllabe), elle occulte toute la complexité et induit une représentation des variations de la F0 fictive, décorrélée des points cibles mais figurée à partir de la médiane de l'intervalle syllabique. En résumé, ce type d'approche normalise la durée et réintroduit une comparaison fondée sur un constituant prosodique, mais occulte les variations rythmiques et simplifie les événements prosodiques.

S'agissant du rythme, (Klatt 1987)¹ posait déjà la problématique de l'empan de la mesure des différentiels temporels. Notre contribution, après plus de dix-sept ans de recherche depuis l'article fondateur de Ramus et al. (1999) et au moins autant de mesures différentes du rythme (Loukina et al. 2013 pour une synthèse de quinze métriques), est de faire porter les mesures temporelles sur des unités linguistiques plus fondées que les intervalles interconsonantiques ou intervocaliques pour l'étude de la L2 (Ballier 2016) et de proposer un différentiel natif/non-natif. En particulier, nous proposons une typologie fonctionnelle des syllabes. On cherche à établir les zones de stabilité des réalisations des natifs dans la parole lue susceptibles de proposer des patrons de comparaison, des « modèles », réalisations où nos postulons que la grammaire l'emporte sur la variation phonostylistique des idiosyncrasies du locuteur.

Deux procédés sont possibles. Le premier consiste à travailler au niveau de l'alignement du phone et permet éventuellement de comparer la réalisation des francophones et des anglophones. Dans le cas d'un alignement au niveau du phone, on peut espérer détecter de manière automatique les écarts de réalisation des phones, on s'attachera plus particulièrement à la non-réduction vocalique, aux voyelles épenthétiques et pour la réalisation consonantique des diphtongues. Dans le deuxième cas qui nous intéresse, l'analyse porte sur le découpage de portions du signal, on cherche ainsi à établir le degré de comparabilité des séquences syllabiques. Dans cette entreprise, on commence par établir un patron de réalisation des syllabes anglophones. On a pris soin de délimiter l'intégralité des consonnes syllabiques du corpus. À cet effet, le découpage en syllabes des réalisations des anglophones sert de patron pour l'alignement des réalisations des francophones. La première étape consiste en un repérage des séquences pertinentes pour l'analyse. Dans le logiciel WinPitch LTL, la configuration passe par une paramétrisation des couleurs qui permettent de repérer, selon le choix de l'utilisateur, des segments temporels de la fréquence fondamentale, l'intensité ou le spectrogramme.

2. Interphonologie du rythme

La problématique la plus générale est celle qui porte sur la comparabilité des réalisations au niveau prosodique, que l'on aborde ici à partir de la question de la réalisation des syllabes. Dans cette contribution, on considère que le rythme est la différence essentielle entre francophones et anglophones, de sorte que la mesure de différentiel temporel inter-syllabique est suffisante. A la grande différence de l'impasse des métriques du rythme, qui portent sur des intervalles interconsonantiques ou intervocaliques, notre analyse repose sur des entités linguistiques attestées, à savoir les syllabes. On s'intéresse donc dans cette perspective à mesurer le différentiel temporel de réalisation des syllabes entre productions des francophones et productions des anglophones. En ce sens, la notation porte une comparaison des réalisations et des différentiels entre syllabes accentuées et syllabes inaccentuées. Avantage considérable, cette méthode permet ultérieurement de rétablir l'unité prosodique la plus idoine : le pied (Abercrombie 1965; Roach 1983 et toute la tradition de la

¹ "one of the unsolved problems in the development of rule systems for speech timing is the size of the unit (segment, onset/rhyme, syllable, word) best employed to capture various timing phenomena" (Klatt 1987 : 760).

phonologie britannique). Afin d'affiner l'analyse des différences entre syllabes accentuées et inaccentuées (Gut 2003), nous complexifions la typologie des syllabes analysées.

Nous ne traitons pas ici des « ré-alignements tonaux » (Mennen 2015), en partie parce que la synchronisation des *pitch targets* et des syllabes reste problématique (Xu & Xu 2005 : 193). Nous ne limitons pas l'analyse aux polysyllabiques et comparons aussi les (nombreuses) syllabes individuelles des monosyllabes.

Dauer (1983) et Crystal (1996) expliquent l'importance des schémas syllabiques dans l'analyse du rythme. Nous faisons l'hypothèse que certains types de syllabes devraient constituer des zones de stabilité dans les réalisations des natifs, d'autres étant davantage sujettes à la variation phonostylistique. Certains types de syllabes, en particulier les voyelles réduites, les formes faibles et les réalisations syllabiques sont plus spécifiques au système phonologique des anglophones et devraient davantage refléter les différences entre groupes d'apprenants FR1 et FR2 et réalisations des anglophones.

3. Corpus et méthodes

Pour reprendre le distinguo de Mennen (2015), on s'intéressera aux différences réalisationnelles plus que sémantiques des événements prosodiques. La comparaison sera centrée sur l'analyse du rythme.

3.1 Description du corpus

Il s'agit d'une partie des passages lus du corpus ENGLISH (Tortel & Hirst 2010). Quatre passages du corpus EuRom01 ont été lus par vingt anglophones natifs, vingt francophones de niveau intermédiaire (FR1) et vingt francophones en troisième année (FR2) de Licence d'anglais (Tortel 2009 ; Tortel 2013). Les anglophones ont un certain niveau de connaissances de français mais leur durée de résidence en France (un an en moyenne) n'a pas eu d'incidence sur leurs réalisations phonétiques de l'anglais.

3.2 Ontologie des syllabes-cibles annotées / typologie fonctionnelle des syllabes

Nous présentons d'abord la méthodologie d'analyse. La première expérience consiste à comparer les réalisations de 20 locuteurs anglophones natifs. Deux experts ont annoté les syllabes sur une partie du corpus (écart inter-annotateur; $k=90\%$) en établissant 99 « valeurs cibles » des 65 mots retenus à partir de la division syllabique du *Longman Pronouncing Dictionary*, qui privilégie le rattachement des consonnes en coda en cas de syllabe accentuée (Wells 1990). L'ontologie du découpage syllabique retenu prend en charge les types de syllabes suivants, récapitulés dans le Tableau 1, retenus en fonction de leur configuration (CV, CVC, CVCC), et des transferts attendus chez les francophones (réalisation d'une voyelle épenthétique en lieu de la voyelle réduite ou de la réalisation syllabique de la consonne [n] ou [l]) ainsi que leur statut accentuel dans la hiérarchie accentuelle. Dans cette analyse, la hiérarchie accentuelle a été simplifiée : quatre degrés sont pris en compte : syllabe sous accent principal, syllabe sous accent secondaire, inaccentuée non-réduite et inaccentuée réduite. Le corpus annoté ne comprenait pas d'accent secondaire au sens de Guierre (1979) et seulement deux composés.

Les propriétés positionnelles dans l'énoncé, distributionnelles dans la structure de syllabe ou le placement accentuel ne sont pas mutuellement exclusives. Pour les syllabes relevant de plusieurs cas, la hiérarchie suivante des critères a été suivie pour un codage unique de propriété : focus > position dans l'énoncé > nombre de syllabes > structure de syllabe.

Nous n'avons pas codé l'opposition des schwas pré- et post-toniques, même si les différences réalisationnelles sont importantes (Cruttenden 2015). La syllabe ouverte réduite (comme dans l'initiale de *forward*) ne reçoit pas ici de statut particulier. Nous avons retenu la distinction entre des [i] des *happy tensing* finaux et intertoniques comme dans *terrified*) mais pas opéré de distinction de timbre entre schwa et /ɪ/ pour les voyelles réduites. La logique qui a présidé au système d'annotation

est la pénalisation de l'isosyllabité, que ce soit dans la maximalisation de la coda ou dans l'analyse des voyelles intertoniques. Pour la division après les rhotiques, on a suivi la syllabation du dictionnaire de Wells, indépendamment de la question de l'ambisyllabité.

Comme cette annotation a pu le rappeler, établir un patron de réalisations attendues, mêmes pour des natifs, pose la question de la variabilité pour l'anglais et de la norme de référence pour la prononciation. Les deux problématiques sont donc alors : 1) Quelle est l'homogénéité des réalisations des anglophones (types de syllabes, proportion des durées) ? 2) Quelles sont les prévisions permises par l'alignement pour les réalisations des francophones (allongement et présomption de voyelles épenthétiques, proportion des durées selon les types de syllabes) ?

type de syllabe	caractérisation	interférences et transferts possibles
Focus	syllabe obligatoirement noyau de l'unité intonative (ex: <i>do</i> d'emphase)	réalisation de contour prosodique différente
Final	syllabe en fin d'unité intonative	risque de surallongement par transfert du français (Delais, Herment et al.)
MaxCoda	syllabe accentuée fermée par une ou plusieurs consonnes VC(C)(C) ex : /'brɪt n/	possibilité de voyelle épenthétique, de rattachement de la coda à la syllabe suivante (['bri 'toen])
RedFinCC	syllabe réduite en VC(C)	possibilité de voyelle épenthétique
Syllabiq	consonne syllabique, sommet de syllabe (n, l ou r) ex : /'brɪt n/	possibilité de voyelle épenthétique [bri tœn]
Interton	schwa en position médiale	risque d'allongement
RedFin	syllabe réduite ouverte (en milieu de mot portant un accent)	allongement (risque de transfert d'accent démarcatif final du groupe accentuel)
RedCoda	syllabe réduite en coda CVC	
happY	syllabe inaccentuée ouverte (en finale de mot, happY /'hæp i/	risque d'allongement
preCV	syllabe pré-tonique ouverte (<i>a</i> dans <i>along</i>)	risque d'allongement vocalique
preCC	syllabe pré-tonique fermée (<i>in</i> dans <i>inspector</i>)	risque d'allongement, moindre que pour preCV.
monCV	monosyllabe en syllabe ouverte	risque de réalisation isosyllabique, allongements des voyelles inaccentuées
monCC	monosyllabe en syllabe fermée	risque de réalisation isosyllabique, allongements des voyelles inaccentuées
ff	forme faible : marqueur grammatical réalisé en voyelle réduite sauf en cas de focus (<i>of, the, a</i>)	risque d'isosyllabité par allongement et réalisation de timbre vocalique autre que schwa (voyelle pleine).

TABLE 1 : Ontologie des syllabes annotées dans le corpus

3.3 Alignement des segments annotés

Nous avons segmenté les spectrogrammes des polysyllabiques à l'aide de la version de développement de WinPitch LTL (WinPitch 2016) et nous avons procédé à la comparaison des spectres et des intervalles temporels par alignement forcé (Bellman 1957). La méthode est relativement robuste. Avec un processeur Intel I7 à 2,1 Mhz de fréquence et 8 gigas de mémoire vive,

l'opération a pris 95s pour un fichier modèle de vingt-cinq secondes. Une optimisation de calcul évitant l'emploi des routines standard de C++ a permis d'obtenir un temps de calcul plus rapide. L'opération de comparaison se fait deux par deux et a été conduite à partir d'un fichier natif identifié comme particulièrement prototypique. Nous avons testé l'alignement obtenu à partir d'un deuxième fichier de natif et la différence ne s'est pas avérée significative.

3.4 Non-traitement des pauses

L'alignement forcé pose un problème lorsque la séquence des phones prononcés par les apprenants ne correspond pas à la séquence modèle. Cette caractéristique perturbe particulièrement l'alignement lors de la réalisation par les apprenants de pauses inexistantes dans le modèle. Les résultats peuvent être alors faussés et peuvent se révéler, par exemple par une durée excessive de tenue d'occlusive. L'algorithme que nous avons développé résout ce problème en ne tenant pas compte des pauses identifiées dans la recherche d'un chemin optimum dans la matrice d'alignement. L'avantage de cette méthode pour le traitement des corpus d'apprenants en parole lue est que l'on n'est pas dépendant des modèles de reconnaissance ou des dictionnaires utilisées, ce qui est le cas de SPPAS (Bigi 2012). L'erreur de segmentation est maximale de 10 ms, correspondant au pas de la grille matricielle utilisée pour l'alignement. Il va de soi que d'autres méthodes simples suffiraient pour traiter l'anarchie des pauses dans le discours d'apprenants.

4 Résultats

Nous concentrons notre analyse sur les différents types de syllabes répertoriés parmi les 6.000 intervalles étudiés.

Comme le montre la figure 1, les moyennes des types de syllabes sont inégalement distinctives d'un groupe à un autre. Comme dans la thèse d'Anne Tortel, la supériorité de niveau des apprenants de niveau FR2 sur FR1 n'est pas probante. L'étalonnage des niveaux d'apprenants a été fait sur la base de la pratique des locuteurs plus que par un test initial de niveau type TOEFL. Ce redécoupage exact en syllabes permet néanmoins de faire la démonstration de la pertinence de l'aligneur pour un redécoupage en syllabes de tout le corpus. Les réalisations des francophones ne confirment pas toutes les prédictions : les syllabes réduites (ff) ne sont pas significativement différentes par la durée des réalisations des anglophones.

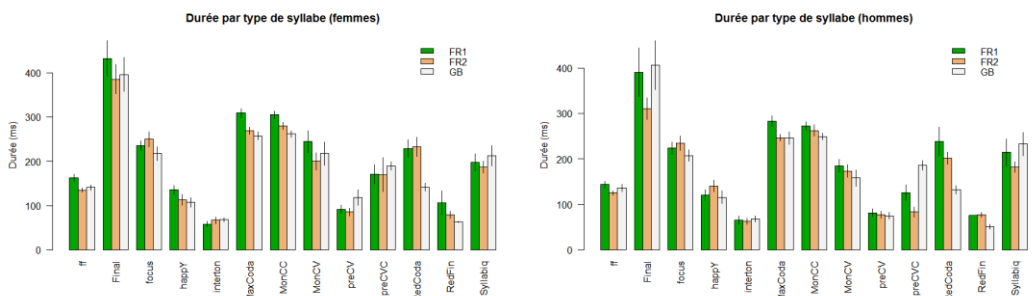


FIGURE 1 : Durées moyennes (ms) des types de syllabes pour les différents groupes

Grâce à cette étude préliminaire nous avons pu tester la stabilité de la réalisation de certains types de syllabes typologiquement éloignées du français (sous accent lexical, réduite, syllabique) et d'en analyser la variance. Les conditions n'étaient pas réunies pour procéder à des ANOVA (absence de normalité des données, $p < 0,01$). Le nombre de d'observations supérieur à 5.000 et des valeurs ex-aequo nous ont fait opter pour un test d'Anderson-Darling, qui a confirmé la nécessité d'avoir recours à un test non-paramétrique. Le test de Kruskal-Wallis nous a permis de comparer les médianes. Il n'y

a pas de différence de durée significative au niveau des médianes et des moyennes entre les FR2 et GB ($p > 0,01$), mais une différence significative entre GB et FR1 et FR1 et FR2 ($p < 0.01$). Par rapport aux GB, les FR1 sont en général plus lents de 23,7 ms (différence significative). Ce n'est pas le cas pour FR2, légèrement plus lents que les natifs, mais pas assez pour être significativement différents. On peut repérer un effet de la variable genre, les hommes sont significativement plus rapides dans l'ensemble que les femmes.

Nous avons ensuite procédé à un test de comparaison multiple deux à deux pour les syllabes les plus significatives chez les anglophones. En figure 2, nous représentons les 10 paires de types de syllabes dont les durées moyennes sont les plus significativement différentes (valeurs absolues).

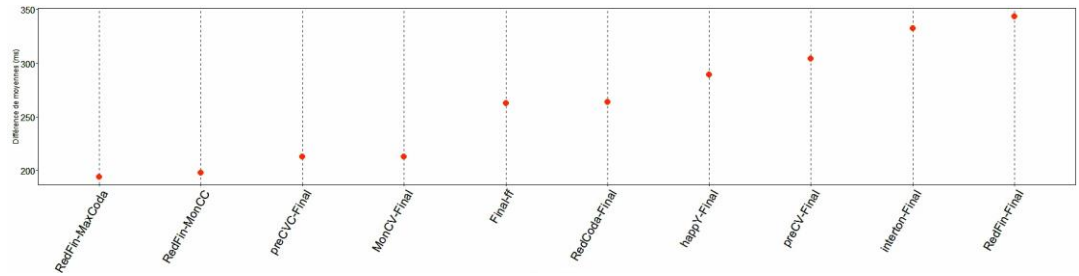


FIGURE 2 : Différences moyennes (ms) des 10 types de syllabes significativement différentes

Pour des questions de lisibilité, la figure 2 ne représente que les 10 premières valeurs significatives (en valeurs absolues) du test de comparaisons multiples sur les durées moyennes par type de syllabe. L'axe des abscisses représente les couples de syllabes significatifs par ordre croissant de pertinence. L'axe des ordonnées représente la différence moyenne entre type de syllabes (en millisecondes). Les différences les plus significatives entre les types de syllabes chez les anglophones opposent bien des syllabes inaccentuées à des syllabes accentuées ou finales. La durée des syllabes sous focus ne montre pas *a posteriori* la nécessité de bien distinguer cette catégorie dans notre annotation des types de syllabes et surtout de mettre cette propriété en tête dans nos critères d'annotation (voir section 3.2), elle est significativement différente de durée des monosyllabes en syllabe ouverte (monCV), mais pas des syllabes finales.

La position ne semble pas jouer entre les syllabes inaccentuées pré-toniques ou post-toniques. Les déformations privilégiées sont l'allongement des voyelles réduites et l'allongement plus important pour les syllabes ouvertes (syllabation en CV des langues romanes). La structure syllabique ne peut s'apprécier uniformément sur l'ensemble des types de syllabe considérés (la distinction n'est par exemple pas codée pour focus et Final) mais semble pertinente pour les syllabes accentuées.

Le statut de la position de la syllabe réduite dans le mot ne semble pas intervenir : la classification hiérarchique ascendante (fig. 3) des trois groupes en fonction des durées moyennes des types de syllabe montre l'indistinction pour les trois groupes de locuteurs entre preCV, ff et happyY (syllabe inaccentuée avant accent, monosyllabe dans la chaîne parlée, ou syllabe après accent).

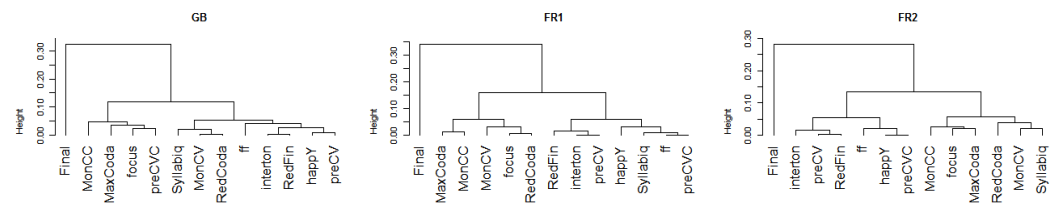


FIGURE 3 : classification ascendante des types de syllabe pour les natifs (GB), les FR1 et les FR2

Les voyelles réduites ont un comportement identique, qu'il s'agisse des finales ouvertes (happY ou des monosyllabes en forme faible). Les voyelles réduites intertoniques ne sont pas significativement différentes des voyelles prétoniques. Les syllabes les plus fortement accentuées (MaxCoda, focus) se rapprochent des monosyllabes non-réduites en syllabes fermées (MonCC). Les rares syllabes de fin d'énoncé (Final) sont les plus différenciées dans tous les groupes. Les syllabes qui font l'objet d'un focus sont réalisées comme des accentuées par les natifs et comme des syllabes réduites par les francophones.

5. Discussion et conclusion

5.1. Perspectives et prolongements

La méthode suivie ne suppose pas d'alignement préalable (mais n'a été testée que sur des enregistrements en chambre sourde). Elle n'est pas complètement automatique. Passée l'innovation technique, rien ne la distingue d'une annotation manuelle de l'ensemble du corpus qui extrairait par scripts l'ensemble des données. La différence notable avec Herment et al. (2014) est que la comparaison se fait effectivement sur les mêmes séquences de phones, alors que la syllabation peut varier.

Avantage de la méthode : l'aligneur s'affranchit de la structure de la syllabe phonétique (Meynadier 2001; Ridouane et al. 2011). Si l'on est ainsi privé de l'impression résultante (*comfortable* est réalisé en quatre syllabes par trois locuteurs francophones), la comparaison n'en reste pas moins fondée sur un patron comparable : l'intervalle segmental de la syllabe du modèle. La méthode ne permet pas de prédire les syllabations retenues par les locuteurs francophones (*comfortable* en 3 ou 4 syllabes). L'alignement sur la portion du spectre ne prédit pas la syllabe phonétique dans laquelle elle se trouve. Toutefois, le repérage des durées signale potentiellement des resyllabifications (transferts gabaritiques au sens de Ballier & Martin 2015).

Une analyse par classifieurs tels que TiMBL pourrait chercher à identifier les types de syllabes, voire les syllabes permettant le mieux de discriminer entre apprenants et natifs. La méthode de classification obtenue sur la base des métriques d'intervalles intervocaliques et interconsonantiques restant en dessous de 70% d'identifications correctes (Tortel 2009).

5.2 Conclusion

Nous avons privilégié la partie du corpus où les polysyllabes sont les plus nombreux, la différence entre les passages lus s'apprécie en fonction de la structure morpho-phonologique des mots : dans d'autres parties du corpus, les monosyllabes à syllabe fermée (monCVC) et ouverte (monCV) seraient surreprésentés.

Cette approche du discours des non-natifs est guidée malgré tout par un modèle, en l'occurrence, une certaine conception du découpage syllabique en anglais, qui n'est pas consensuelle. Il aurait été possible de procéder à un découpage ambisyllabique (Kahn 1976) de *terrified*, même si les dictionnaires du monde de l'édition ne suivent pas cette possibilité. Reste que l'importance accordée aux constituants prosodiques permet d'affiner la recherche de traits critériés (Hawkins & Filipović 2012) pour l'établissement de niveaux d'apprenants et de strates d'interlangue.

On pourrait étendre la comparaison des fragments de spectrogrammes à des unités prosodiques. En cas de consignes bien spécifiques, la méthode pourrait être étendue à des configurations prosodiques (ainsi, il se trouve que *'for one thing'* est réalisé avec un contour descendant, là où les francophones produisent plutôt une continuative mineure ascendante, sans que pour autant une montée soit *a priori* exclue chez les natifs). Typiquement, la réalisation du contour prosodique de *on* n'est pas identique entre la particule adverbiale et la préposition dans *'I didn't bother to switch the light on'* vs. *'tripped on a loose step in the dark'*. WinPitch LTL permet l'analyse en corpus du maintien ou non de la distinctivité des réalisations. Au sein de la variation interlocuteur, dans une perspective d'interlangue,

on cherche à dissocier le bon grain de la grammaire de l'ivraie de la variation phonostylistique. Cette approche centrée sur les durées pourrait être étendue aux événements prosodiques. Deux contours apparemment constants chez les anglophones pourraient être retenus : le *do* emphatique et l'incise parenthétique *worse still* en contour montant-descendant.

Remerciements

Nous remercions vivement Anne Tortel pour l'accès aux données de son corpus de thèse ANGLISH (Tortel 2009) ainsi que, pour leurs commentaires, les participants du workshop du 30 mars (Paris Diderot) ainsi que les relecteurs anonymes des JEP.

Références

- ADAMS C. (1979). *English Speech Rhythm and the Foreign Learner*. Berlin: de Gruyter.
- ARVANITI, A. (2012). The usefulness of metrics in the quantification of speech rhythm. *Journal of Phonetics*, 40(3), 351-373.
- BALLIER, N. DELAIS-ROUSSARIE, E. HERMENT S. TORTEL A. (2014). Modélisation de l'intonation interlangue : le cas des questions. Actes des *JEP2014*
- BALLIER, N. & MARTIN, Ph. (2015). Speech annotation of learner corpora. in GRANGER, S., MEUNIER, F. & GILQUIN, G. (eds) 2015 *Handbook of Learner Corpus Research*, Cambridge: CUP, 107-134.
- BALLIER, N. (2016). La modélisation statistique du rythme et la dissolution de la structure syllabique, à paraître in BLANCKAERT, Cl., LÉON, J. & SAMAIN, D. (eds.), *Modèles et modélisations en sciences du langage, de l'homme et de la société. Perspectives historiques et épistémologiques*, Paris: L'Harmattan, 10 pages.
- BELLMAN, R. (1957). *Dynamic Programming*. Princeton : Princeton University Press.
- BIGI, B. (2012). SPPAS: a tool for the phonetic segmentation of speech. In *LREC* Vol. 8, 1748-1754.
- CRUTTENDEN, A. (2015). *Gimson's Pronunciation of English*, Londres : Routledge.
- CRYSTAL, D. (1996). The past, present and future of English rhythm. *Speak Out!* 18: 8-13.
- DAUER, R. (1983). Stress-timing and syllable-timing reanalysed. *Journal of Phonetics* 11, 51-62.
- DÍAZ-NEGRILLO, A., BALLIER, N., THOMPSON, P. (eds.). (2013). *Automatic treatment and analysis of learner corpus data*. (Studies in Corpus Linguistics 59). Amsterdam: John Benjamins Publishing Co.
- GUT, U. (2003). Non-native speech rhythm in German. Proceedings of 15th International Congress of Phonetic Sciences, Barcelona. 2437-2440.
- HAWKINS, J., FILIPOVIC, L. (2012). *Criterial features in L2 English: Specifying the reference levels of the Common European Framework* (Vol. 1). Cambridge : Cambridge University Press.
- HERMENT, S., DELAIS-ROUSSARIE, E., HERMENT S., TORTEL, A. (2014). Modelling interlanguage intonation: the case of questions, *Proceedings of the 7th International Conference on Speech Prosody*, 20-23 mai 2014, Dublin, Irlande : 492-496
- HUART, R. (2013) *Grammaire de l'anglais oral*, Paris : Ophrys.
- KAHN, D. (1976). *Syllable-based generalizations in English phonology*. Ph.D. MIT.
- Klatt, D. (1987). "Review of Text-to-Speech Conversion for English." *The Journal of the Acoustical Society of America* 82 (3), 737-93.
- LOUKINA, A. KOCHANSKI, G. ROSNER, B. (2010). Rhythm measures and dimensions of durational variation in speech). *The Journal of the Acoustical Society of America*, 2011, vol. 129, no 5, 3258-3270.

- MENNEN, I. (2007). Phonological and phonetic influences in non-native intonation, in TROUVAIN, J. & GUT, U. (eds.), *Non-native Prosody: Phonetic Descriptions and Teaching Practice*, 53–76, Mouton De Gruyter.
- MENNEN, I. (2015). Beyond segments: towards an L2 intonation learning theory (LILT), in DELAIS-ROUSSARIE, E., AVANZI, M. & HERMENT, S. (eds.), *Prosody and languages in contact: L2 acquisition, attrition, languages in multilingual situations*, Springer Verlag, 176-188.
- MEYNADIER, Y. (2001). La syllabe phonétique et phonologique: une introduction. *Travaux Interdisciplinaires du Laboratoire Parole et Langage d'Aix-en-Provence (TIPA)*, 20, 91-148.
- RAMUS, F., NESPOR, M., MEHLER, J. (1999). Correlates of linguistic rhythm in the speech signal. *Cognition* 73, 265–292.
- R Core Team (2014). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>
- RIDOUANE, R., MEYNADIER, Y., FOUGERON, C. (2011). La syllabe: objet théorique et réalité physique. *Faits de langue* 37, 225-246.
- ROACH, P. (1983). *English Phonetics and Phonology*, Cambridge: CUP.
- TORTEL, A. (2009). *Evaluation qualitative de la prosodie d'apprenants français: apport de paramétrisations prosodiques*. Thèse de doctorat non publiée. Aix-Marseille University.
- TORTEL, A. HIRST D. (2010). Rhythm metrics and the production of English L1/L2, *Proceedings of Speech Prosody*,
- WELLS, J. (1990). *Longman Pronouncing Dictionary*, Londres: Longman.
- WINPITCH (2016). WinPitch, www.winpitch.com
- XU, Y., XU, C. X. (2005). Phonetic realization of focus in English declarative intonation. *Journal of Phonetics*, 33:159-197.
- XU, Y. (2013). ProsodyPro, A Tool for Large-scale Systematic Prosody Analysis, *Proceedings of the TRASP conference*, Aix-en-Provence.