Méthode d'analyse des pauses pour l'évaluation de troubles cognitifs subtils appliquée au Cancer-Related Cognitive Impairment.

Auteurs :
Amélie Richard[1,2]
Fabrice Hirsch[1]
Sophie Jacquin-Courtois[2,3]

Affiliations :
[1]Université Montpellier 3, Praxiling, CNRS UMR 5267, Montpellier, France.
[2] Université de Lyon, Centre de Recherche en Neurosciences de Lyon, CNRS UMR 5292, INSERM U1028, Lyon, France.
[3] Hôpital Henry Gabrielle, Hospices Civils de Lyon, Lyon, France.

Autrice de correspondance :
Amélie Richard
amelie.richard@inserm.fr

Dates :
Soumission : 24/07/2024
Acceptation : 25/11/2024
Publication : 28/12/2024

Comment citer cet article :
Richard, A., Hirsch, F. & Jacquin-Courtois, S. (2024).Méthode d'analyse des pauses pour l'évaluation de troubles cognitifs subtils appliquée au Cancer-Related Cognitive Impairment. *Glossa*, 142, 49-64. https://doi.org/10.61989/qp2vb532

e-ISSN : 2117-7155

Licence :
© Copyright Amélie Richard, Fabrice Hirsch et Sophie Jacquin-Courtois, 2024
Ce travail est disponible sous licence Creative Commons Attribution 4.0 International.

Contexte. L'analyse de la parole permet de repérer des troubles cognitifs subtils, notamment car la prosodie contient des éléments fins, comme les pauses, qui peuvent être des marqueurs comportementaux de Troubles NeuroCognitifs. Cependant, l'absence de méthodes simples et détaillées compromet la faisabilité d'une telle analyse en clinique. Les Troubles NeuroCognitifs mineurs (TNCm) désignent un changement cognitif rapporté par un individu pour lequel l'autonomie est préservée. Cette appellation recouvre de nombreuses physiopathologies sous-jacentes, tel que le Cancer-Related Cognitive Impairment (CRCI). Ce trouble cognitif induit par un cancer et ses traitements, est un TNCm principalement caractérisé par une plainte mnésique (« j'oublie ce qu'on me dit ») et linguistique (« je cherche mes mots ») dont la fréquence et l'intensité ne sont pas corrélées aux scores des tests orthophoniques ou neuropsychologiques. Le manque d'outil d'évaluation suffisamment sensible pour déceler ce trouble subtil conduit souvent à un sous-diagnostic. De nouvelles méthodes, comme l'analyse de la parole, sont donc souhaitables pour évaluer le CRCI.

Objectifs. Les objectifs de cette étude sont (i) de proposer une méthode d'analyse des pauses applicable en clinique, (ii) d'identifier les personnes porteuses d'un CRCI grâce à cette méthode.

Méthode. Treize participantes post-cancer du sein et treize participantes contrôles saines ont été incluses. Toutes ont eu pour instruction de raconter une histoire à partir d'une séquence d'images qui leur était présentée. Leur production orale a été enregistrée, puis transcrite automatiquement avec Whisper et analysée sur les logiciels SPPAS et Praat. Les pauses silencieuses, pauses remplies (« euh ») et allongements vocaliques (« un petiiit garçon ») ont été annotés, puis ont fait l'objet d'une analyse statistique sur JASP.

Résultats. La durée des pauses silencieuses des participantes post-cancer du sein était significativement plus longue que celle des contrôles. En revanche, la durée des pauses remplies et des allongements vocaliques n'a pas montré de différence significative entre les deux groupes. De même, le taux de pauses (nombre d'occurrences / durée totale du discours) ne montre pas de différence significative entre les deux groupes.

Conclusions. Cette étude décrit en détails les étapes d'analyse des pauses en vue de son applicabilité clinique. Les résultats suggèrent que la durée des pauses silencieuses permet de différencier les participantes post-cancer ayant une plainte cognitive des participantes contrôles.

Mots-clefs : Troubles NeuroCognitifs mineurs ; Cancer-Related Cognitive Impairment ; pauses ; transcription automatique ; parole ; prosodie.

Method for the analysis of pauses for assessing subtle cognitive impairment applied to Cancer-Related Cognitive Impairment.

Background. Speech analysis can detect subtle cognitive impairment, particularly because prosody contains fine elements, such as pauses, which might be behavioral markers of NeuroCognitive Disorders. However, the absence of simple, detailed methods compromises the feasibility of such an analysis in clinics. Mild Neurocognitive Disorders (mNCD) refer to a cognitive change reported by an individual whose autonomy is preserved. This terminology covers many underlying pathophysiologies, such as Cancer-Related Cognitive Impairment (CRCI). CRCI is an mNCD characterized by a memory complaint (e.g., "I forget what I'm told") and a language complaint (e.g., "I search for my words") for which the frequency and intensity exceed the scores of speech-language tests or neuropsychological tests. The lack of sensitive tools to detect this subtle impairment often leads to its underdiagnosis. New methods such as speech analysis are needed to assess CRCI.

Objectives. The study aims are (i) to propose a method for analyzing pauses which is practical in clinical context, (ii) to identify participants with CRCI using this method.

Methods. Thirteen participants post breast cancer and thirteen healthy controls were included in the study. The participants were instructed to tell a picture-based story. Their narratives were recorded, then automatically transcribed with Whisper and analyzed using SPPAS and Praat software. Silent pauses, filled pauses (e.g., "uh"), and sustained vowels (e.g., "a smaall boy") were annotated, then examined on JASP for a statistical analysis.

Results. The duration of silent pauses in post-cancer participants was significantly longer than that of the controls. However, the duration of filled pauses and sustained vowels did not show a significant difference between the two groups. Similarly, the rate of pauses (i.e., number of occurrences/total speech duration) did not show a significant difference between the two groups.

Conclusions. This study provides a well-described method for pause analysis designed for the purpose of clinical context. The results suggest that the duration of silent pauses is a good marker for differentiating post-cancer participants from controls.

Key-words: Mild NeuroCognitive Disorders ; Cancer-Related Cognitive Impairment ; pauses ; automatic transcription ; speech ; prosody.

CONTEXTE

Cet article propose un protocole permettant de conduire une analyse de la prosodie chez des patients ayant des troubles cognitifs subtils. Cette méthode se veut une aide au diagnostic de troubles cognitifs subtils. Elle s'adresse aux orthophonistes diplômés, aux étudiants en orthophonie et aux chercheurs ou cliniciens s'intéressant aux questions relatives à la fluence.

Marqueurs linguistiques de troubles cognitifs

La littérature en aphasiologie, vasculaire ou neurodégénérative, a montré l'intérêt de l'analyse de la parole et de la voix des patients pour révéler les troubles cognitifs. En effet, son caractère non invasif, sa sensibilité aux changements cognitifs subtils et sa haute validité écologique en font un outil de choix pour évaluer la cognition des patients (Lanzi et al., 2023). La parole peut être étudiée à travers le prisme de la phonétique, c'est-à-dire des éléments segmentaux de la parole (les phonèmes), et celui de la prosodie (He et al., 2023), autrement dit des éléments supra-segmentaux de la parole (fréquence fondamentale (Hz), intensité (dB) et durée (ms)). La prosodie se révèle particulièrement pertinente pour investiguer les Troubles NeuroCognitifs mineurs (TNCm) car elle contient des éléments fins signalant une modification de la cognition d'un locuteur (Ivanova et al., 2023). Ces éléments prosodiques comprennent des paramètres liés à la qualité de la voix, tels que des variations d'amplitude intonative (Themistocleous et al., 2020), ainsi que des unités plus larges comme les pauses (Vincze et al., 2021). Parjane et al. (2021) ont comparé la production orale de discours descriptifs de patients ayant une Aphasie Progressive Primaire non-fluente agrammatique, à celle de patients ayant une Démence à Corps de Lewy et de participants contrôles sains. Les résultats montrent des pauses plus longues, plus fréquentes et une réduction de la fréquence fondamentale dans les deux groupes de patients par rapport aux locuteurs contrôles.

Une des problématiques soulevées par ces recherches est liée à la variabilité des méthodologies employées (type de discours, variables linguistiques, outils d'analyse), rendant les résultats entre études difficilement comparables. Dans un effort d'harmonisation, Angelopoulou et al. (2024) ont proposé une méthode d'analyse de la parole comparant deux types d'élicitation de discours descriptifs (une description d'images et une description autobiographique) chez une population saine. L'intérêt de leur étude réside principalement sur la description des mesures de dix-neuf variables de parole, bien que certains concepts comme « mot » ou « pause » ne soient pas explicités (les auteurs ne différencient pas les pauses dues à des contraintes physiologiques des pauses ayant une fonction démarcative ou d'hésitation).

Pour autant, la faisabilité de leur méthodologie en pratique clinique est questionnable. En effet, la méthode d'analyse proposée par cette équipe est entièrement manuelle. Or, les étapes de transcription et d'annotation sont chronophages et exigent une rigueur pour être réplicables, généralisables ou simplement interprétables, les rendant difficiles à appliquer en routine clinique. Une méthode détaillée et facile à exécuter dans l'exercice de la clinique serait donc souhaitable.

Analyse (semi-)automatique de la parole

Le choix des outils utilisés détermine la qualité d'une analyse de la prosodie. Cette section argumente en faveur de l'utilisation d'outils informatiques automatisés, hors-ligne et *open source*.

Importance des outils automatisés

L'analyse de la parole est une tâche longue et fastidieuse. Après avoir enregistré la production orale d'un patient, il est souvent utile de la transcrire soit de manière orthographique, soit de manière phonétique. La transcription manuelle est particulièrement chronophage. En effet, la transcription d'une minute de parole peut prendre jusqu'à douze minutes (Bryant et al., 2017). Cette étape est également coûteuse en termes de concentration puisqu'elle demande plusieurs écoutes de l'enregistrement afin de ne pas omettre de mots ou de disfluences produites par le locuteur. Par exemple, il est difficile de connaître le nombre exact de répétitions à la première écoute. Le processus d'écoutes multiples entraîne des biais liés à la fatigabilité auditive, des biais de subjectivité et d'habituation, augmentant ainsi les risques d'erreurs de transcription (comme un ajout de mots par effet d'amorçage).

L'utilisation d'outils dotés d'Intelligence Artificielle (outils informatisés qui automatisent une tâche cognitive) permet de réduire à la fois le temps consacré à la tâche de transcription et à ses

biais en apportant par exemple une première transcription « neutre ». Ces outils sont issus de technologies plus ou moins complexes, de la simple tâche automatisée (détection automatique des pauses silencieuses) aux modèles de réseaux neuronaux (transcription automatique) et apportent un gain de temps considérable pour les analyses de la parole. Pour autant, les outils d'IA peuvent montrer des performances variables, notamment selon la qualité audio de l'enregistrement. Il est donc indispensable d'effectuer une vérification manuelle afin de corriger les éventuelles erreurs commises par ces outils.

Importance des outils hors-ligne

L'enregistrement de la voix de patients ou de participants constitue une donnée identifiante qui doit être protégée à un haut niveau de sécurité (Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés, 2016). C'est pourquoi le choix d'outils transparents en matière de gestion des données est crucial. Pour autant, les ressources disponibles sur internet ont parfois des politiques de confidentialité obscures, ce qui accroît le risque de fuite des données. Les outils hors-ligne décrits dans cette étude répondent aux critères de sécurité requis pour l'analyse de la parole au sens que les données sont traitées depuis leur lieu de stockage.

Importance des outils open source

Les logiciels *open source* sont des logiciels gratuits dont les codes de programmation sont accessibles à tout utilisateur. Ce type d'outil collaboratif non seulement garantit une totale transparence en matière de gestion des données, mais favorise également la reproductibilité scientifique et la fiabilité des résultats.

Troubles NeuroCognitifs mineurs

Les troubles neurocognitifs désignent une modification des performances cognitives constatée par l'individu ou ses proches, et sont dits mineurs lorsque l'autonomie de l'individu est préservée (American Psychiatric Association, 2022). Les TNCm couvrent un large éventail de physiopathologies sous-jacentes telles que les pathologies neurodégénératives (maladie d'Alzheimer à un stade précoce, Démence à Corps de Lewy, etc.), les pathologies vasculaires (comme les accidents vasculaires cérébraux) ou traumatiques (traumatisme crânien léger) et les contextes infectieux ou oncologiques (séquelles de Covid-19, VIH, troubles cognitifs liés au cancer, etc.). L'appellation TNCm recouvre également les syndromes comportementaux ou cognitifs tels que le Mild Cognitive Impairment, pour lesquels le diagnostic d'une étiologie n'est pas établi.

La prévalence des TNCm est difficile à estimer du fait de la diversité des possibles étiologies et physiopathologies sous-jacentes. Il est donc possible que ces chiffres soient sous-estimés. Dans le cadre du traumatisme crânien léger, 10 à 15% des patients peuvent développer un syndrome post-commotionnel persistant incluant des troubles cognitifs (Groupe de travail Traumatisme Crânio-Cérébral Léger -TCCL- en Ile-de-France, 2021). Dans une étude menée par Hommel et al. (2009) auprès de soixante-quatorze patients post-AVC mineur ayant un score au *Mini Mental State Examination* (MMSE, Folstein et al., 1975) dans la norme (> 27/30), 70% des patients (soit 52/74 patients) rapportaient des difficultés de fonctionnement social corrélées à un déficit en mémoire de travail. Ce résultat semble indiquer la présence élevée de possibles troubles cognitifs après un AVC mineur. Par ailleurs, les auteurs suggèrent que les tests de dépistage cognitif usuels manqueraient de sensibilité à repérer ces troubles fins.

Lors de consultations cliniques, les patients ou leur entourage peuvent rapporter l'apparition de difficultés cognitives discrètes mais invalidantes. Cependant, leur plainte est rarement corrélée aux scores des tests de repérage cognitif tels que le MMSE ou le *Montreal Cognitive Assessment* (MoCA, Nasreddine et al., 2005). De fait, les TNCm restent souvent sous-diagnostiqués et il est rappelé par la Haute Autorité de Santé que toute plainte cognitive inquiétante, en particulier chez le sujet âgé, doit faire l'objet d'une investigation approfondie (Haute Autorité de Santé, 2018). Néanmoins, cette même vigilance se doit d'être appliquée avec la même rigueur à une population possiblement plus jeune dans d'autres contextes (AVC mineur, traumatisme crânien léger, Cancer-Related Cognitive Impairment, etc.) dont l'enjeu sanitaire et médico-économique est important.

Cancer-Related Cognitive Impairment

Parmi les TNCm les plus fréquents, le Cancer-Related Cognitive Impairment (désormais CRCI) tient une place singulière qualitative et quantitative. En effet, il s'agit d'un trouble cognitif subtil induit

par un cancer (hors cancer du système nerveux central) et/ou ses traitements, qui peut concerner jusqu'à 75% des patients en oncologie (Janelsins et al., 2011). Outre son incidence élevée, il altère la qualité de vie des patients. Pour certains, la symptomatologie est durable, pouvant persister plus de deux ans après l'arrêt des traitements oncologiques. La permanence du trouble peut entraîner une limitation de la participation aux activités sociales et entraver la reprise professionnelle d'une population possiblement jeune. Le caractère subtil de l'expression de ses troubles en fait un handicap invisible souvent sous-diagnostiqué, alors même que des possibilités d'évaluation appropriée et de prises en charge existent.

Le CRCI est caractérisé par une plainte cognitive touchant plusieurs aspects de la cognition (mémoire, fonctions exécutives, attention, vitesse de traitement, langage) pouvant être objectivée par des questionnaires standardisés (comme le FACT-Cog de Wagner et al., 2009). Une des plaintes les plus fréquentes est le manque du mot. Malgré l'intensité de la plainte, les tests orthophoniques et neuropsychologiques actuels, généralement conçus pour évaluer des troubles plus sévères, peinent à révéler pleinement les difficultés rapportées par les patients. Des études comparant des patientes ayant reçu un traitement par chimiothérapie pour un cancer du sein et des participantes contrôles saines montrent une différence significative pour les compétences verbales (Amani et al., 2024 ; Jim et al., 2012). Toutefois, la taille d'effet de cette différence est relativement petite, ce qui signifie que les scores des patientes sont proches de ceux des contrôles. Dès lors, il est possible que les scores obtenus notamment aux épreuves de fluence verbale et de dénomination administrées en clinique, soient souvent dans les normes. De nouvelles approches et/ou de nouveaux outils sont donc à développer pour détecter ces troubles cognitifs subtils.

OBJECTIF ET HYPOTHÈSES

Concernant les marqueurs prosodiques du CRCI, les études pilotes menées par notre équipe ont montré l'intérêt de l'analyse des disfluences (Richard et al., 2022) et particulièrement des pauses dans la production discursive de patientes ayant eu un cancer du sein qui ont une plainte cognitive (Richard et al., 2023). L'analyse des pauses d'hésitation produites lors d'une tâche de narration élicitée par des images se révèle suffisamment sensible pour différencier des patientes post-cancer du sein ayant une plainte cognitive de participantes contrôles (Richard et al., 2024).

Les objectifs de la présente étude sont (i) de proposer une méthode d'analyse prosodique applicable en clinique, (ii) d'appliquer cette méthode à l'analyse des pauses chez des femmes ayant une plainte cognitive des suites d'un cancer du sein.

Nous émettons l'hypothèse que la méthode d'analyse que nous proposons permettrait de mettre en évidence un CRCI chez des patientes ayant eu un cancer du sein. Les pauses d'hésitation seraient plus fréquentes (en nombre/durée de discours) et plus longues (en ms) pour les participantes ayant une plainte cognitive liée au cancer que pour les participantes contrôles saines.

MÉTHODE

Démarches éthiques

La présente étude est issue de deux projets plus larges. Le premier a pour objectif d'évaluer l'efficacité d'un programme de réadaptation physique proposé à des femmes ayant eu un cancer du sein à l'issue de la phase principale de leurs traitements (ActiCog) et a été approuvé par le comité éthique des Hospices Civils de Lyon (n°22-5009). Le second projet porte sur le trouble cognitif induit par un cancer et ses traitements chez des femmes ayant eu un cancer du sein (DisCCo) et a été validé par le Comité de Protection des Personnes Est-III en août 2023. L'étude est enregistrée au numéro national 2023-A00267-38.

Population

Treize participantes ayant eu un cancer du sein (six participantes issues de l'étude ActiCog et sept participantes issues de l'étude DisCCo) et treize participantes contrôles saines (étude DisCCo) appariées en âge et en niveau de scolarisation ont été éligibles pour cette étude.

Critères d'inclusion

Les critères d'inclusion des participantes ayant eu un cancer (groupe Breast Cancer, désormais BC) étaient (i) d'avoir terminé les traitements curatifs (chirurgie, chimiothérapie, radiothérapie) depuis plus de quatre semaines et moins d'un an, hors hormonothérapie, (ii) d'avoir une vue et une

audition normales ou corrigées, (iii) d'avoir un score à la sous-échelle *Perceived Cognitive Impairment* (PCI) du questionnaire FACT-Cog inférieur ou égal à 55/72. Le questionnaire FACT-Cog (Wagner et al., 2009) est un questionnaire standardisé d'évaluation de la plainte cognitive des patients en oncologie pour lequel un seuil inférieur ou égal à 55/72 à la sous-échelle PCI indique la présence d'une plainte cognitive significative (Van Dyk et al., 2020).

Les critères d'inclusion des participantes contrôles (groupe Healthy Controls, désormais HC) étaient les mêmes que les participantes ayant eu un cancer du sein, excepté pour le score PCI du FACT-Cog (score > 55/72).

Critères d'exclusion

Les critères d'exclusion des participantes BC étaient (i) la présence de métastases, (ii) des antécédents de troubles du langage oral, (iii) des antécédents neurologiques ou psychiatriques, (iv) la prise de médicaments susceptibles d'entraîner une modification de la cognition.

En plus des critères d'exclusion énoncés ci-dessus, les participantes HC devaient ne jamais avoir eu de cancer.

Tâche de narration

Il était demandé aux participantes de produire une tâche de discours narratif à partir d'une séquence de cinq images (Bézy et al., 2016). Les images racontent l'histoire d'une famille qui arrive à la plage. Le père fait de la planche à voile pendant que son fils et sa femme sont sur le rivage. Soudain, le vent se lève et le père tombe à l'eau. La dernière image dépeint la mère et le fils alarmés, la mère appelant les secours au téléphone. Les participantes ont pour consigne de retracer l'histoire en images qu'elles voient, sans limite de temps.

Matériel et conditions d'enregistrement

Les productions discursives des participantes à l'étude ActiCog ont été enregistrées dans une pièce calme de l'hôpital de rééducation Henry Gabrielle (Hospices Civils de Lyon, Saint Genis Laval, France) avec un micro-cravate omnidirectionnel Rode Lavalier Go® relié à un ordinateur. Le micro était placé à quinze centimètres de la bouche des participantes.

Les productions discursives des participantes à l'étude DisCCo ont été enregistrées dans une cabine anéchoïque du Centre de Recherche en Neurosciences de Lyon (Bron, France) avec un micro-cravate omnidirectionnel Shure® relié à une carte son de marque M-Audio® et branché à un ordinateur. Le micro était placé à quinze centimètres de la bouche des participantes.

Paramètres linguistiques

Nous avons analysé les pauses silencieuses ainsi que les pauses remplies et allongements vocaliques liés à l'hésitation. Nous avons analysé les pauses égales ou supérieures à 200 ms. Ce seuil tient en effet compte de paramètres liés à la production de la parole, comme la durée des silences acoustiques des consonnes occlusives qui est inférieure à cette valeur. Il correspond également à une limite perceptive à partir de laquelle la pause est significativement perçue (Candea, 2000 ; Goldman et al., 2010). Toutes les pauses silencieuses au-dessus de ce seuil ont été incluses. Pour être considérés comme des pauses remplies et des allongements vocaliques, les phonèmes de plus de 200 ms devaient avoir une courbe intonative plate (Campione & Véronis, 2002 ; Duez, 2001). Suivant ces critères, nous avons identifié trois types de pauses :

- Les pauses silencieuses : segments caractérisés par l'absence de parole, de toux ou de bâillement d'une durée supérieure ou égale à 200 ms,

- Les pauses remplies : segments voisés de type « euh », « hum » d'une durée supérieure ou égale à 200 ms ayant une courbe intonative (F0) plate,

- Les allongements vocaliques : tenue d'un phonème vocalique d'une durée supérieure ou égale à 200 ms dont la courbe intonative (F0) est plate.

Pour chaque type de pauses, nous avons extrait la durée moyenne, médiane et totale, ainsi que la fréquence totale pour calculer le taux de pauses (nombre d'occurrence/durée totale du discours, pauses silencieuses incluses).

Analyse des pauses

La section suivante décrit les différentes étapes de l'analyse prosodique réalisée à partir du signal acoustique. Les différentes phases de la chaîne de traitement peuvent être conduites indépendamment pour adapter l'analyse aux besoins cliniques ou au focus d'une étude. Le temps de réalisation de cette procédure dépend largement de la durée et du nombre d'extraits

audio analysés, ainsi que du niveau de profondeur de l'analyse. Pour cette étude, l'analyse des vingt-six enregistrements représentant trente-cinq minutes de parole a duré environ deux heures dont quatre-vingts minutes de transcription automatique.

Nous avons rédigé un tutoriel complet détaillant chaque étape de notre analyse, disponible sur la plateforme OSF, fichier Protocole_annotation_pauses[1].

Les tutoriels que nous proposons se veulent accessibles à tous et ne requièrent pas de compétences particulières en informatique.

Pré-traitement du signal acoustique

Avant de commencer nos analyses prosodiques, nous avons segmenté l'enregistrement audio pour ne conserver que la production narrative en supprimant les parties qui ne seront pas étudiées (comme l'intervention de l'examinateur). Cette étape a été effectuée avec le logiciel libre Audacity (Audacity Team, 1999). Cette étape a duré environ cinq minutes.

Transcription

Nous avons réalisé les transcriptions automatiquement avec le modèle large V3 du code Whisper (Radford et al., 2022). Whisper est une commande *open source* dédiée à la reconnaissance automatique de la parole. Une de ses fonctions consiste à transcrire un discours oral en texte rédigé à partir du signal acoustique. Une description de l'installation et de l'utilisation de Whisper (testée avec deux volontaires naïfs de la programmation informatique) est disponible sur la plateforme OSF, fichier Installation_Whisper_SPPAS_Praat[2].

Nous avons vérifié chaque texte afin de corriger les erreurs de transcription. Les erreurs étaient peu nombreuses et concernaient surtout les noms propres et les troncatures de mots pour les enregistrements de qualité moyenne. Nous avons ensuite ajouté manuellement les pauses silencieuses (#) et les pauses remplies (euh). Il est important de noter que Whisper supprime par défaut toutes les disfluences (pauses, répétition, faux-départ, etc.).

Enfin, nous avons automatiquement nettoyé les données en supprimant par exemple les marques de ponctuation ou en remplaçant les chiffres par leur équivalent en lettres, grâce à un code Python développé pour cette étude. Ce code est disponible sur la plateforme OSF, fichier transcript_cleaner.py[3].

Cette étape a duré environ une heure et demie dont quatre-vingts minutes de transcription automatique.

Annotation des pauses

Nous avons annoté les pauses en utilisant le logiciel SPPAS (Bigi, 2015). SPPAS est un logiciel *open source* spécifiquement développé pour l'analyse de la parole. Il fournit de nombreuses analyses automatiques telles que la détection des pauses silencieuses, la conversion graphème-phonème ou encore la syllabation de la transcription alignée sur le signal acoustique. Son interface graphique et son caractère interopérable (possibilité de fonctionner avec d'autres logiciels) en font un outil autant applicable en recherche qu'en clinique. Pour affiner nos analyses, nous avons également utilisé le logiciel libre Praat (Boersma & Weenink, 2024). Celui-ci a été conçu pour l'analyse du signal acoustique et permet de visualiser avec précision le signal pour en extraire de nombreuses variables prosodiques (la fréquence fondamentale p. ex.).

Le paragraphe suivant décrit les étapes que nous avons réalisées pour la phase d'annotation du corpus. L'ensemble de ces étapes a duré environ trente minutes.

Nous avons d'abord chargé les enregistrements (format `.wav`) et les transcriptions (format `.txt`) dans SPPAS. Depuis l'onglet « Annotation », nous avons recherché les unités inter-pausales (*Inter Pausal Units*, IPUs), puis lancé la complétion automatique de la transcription. La première fonction, « Search for IPUs », détecte automatiquement les pauses silencieuses et la seconde, « Fill in IPUs », complète les espaces vides par la transcription des segments de parole. Ces fonctions sont accessibles via le bouton « STANDALONE ». Nous avons choisi le format de sortie « `.TextGrid` », format traité par Praat.

Nous avons ensuite procédé à une étape de vérification en ouvrant les fichiers `.TextGrid` dans Praat. Nous avons réajusté les frontières des pauses silencieuses quand celles-ci ne correspondaient pas au signal acoustique (cf. figure 1). Les erreurs d'alignement étaient nombreuses pour les enregistrements de qualité moyenne (avec bruit de fond) et rares pour les enregistrements de bonne qualité.

[1,2,3] https://osf.io/sqwnz/?view_only=8947f20e707f476c9cf44a35ca9d7c32

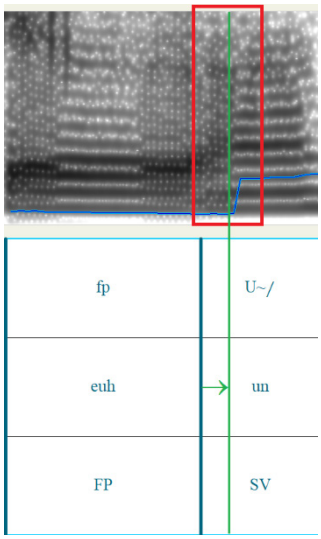


FIGURE 1 : Exemple d'erreur d'alignement. La pause « fp » (filled pause, pause remplie) est partiellement tronquée et la frontière (barre bleue) doit être tirée vers la droite jusqu'à la fin de l'émission du phonème (barre verte).

Dans l'onglet « Annotation » de SPPAS, nous avons lancé les fonctions « Text Normalization », « Phonetization » et « Alignment » simultanément. Cette étape permet de segmenter l'audio en phonèmes à partir du texte et d'aligner temporellement les phonèmes sur le signal acoustique. De cette manière, les allongements vocaliques et les pauses remplies sont facilement repérables par leur durée égale ou supérieure à 200 ms.

Nous avons effectué une nouvelle vérification dans Praat en ouvrant les fichiers `.TextGrid` nommés *-palign* pour nous assurer que les phonèmes étaient correctement alignés avec le signal acoustique.

Dans SPPAS, onglet « Analyze », nous avons ouvert les fichiers `.TextGrid` intitulés *-palign*, et nous avons sélectionné la ligne d'annotation (ou *tier*) « TokenAlign ». Nous avons appliqué un filtre (*single filter*) pour créer un nouveau *tier* nommé « pauses ». Ce *tier* contient les phonèmes vocaliques et les pauses `(U~/, A/, O/, @, i, E, e, j, H, a~, O~, y, 2, 9, u, fp, #` selon les conventions de SPPAS) d'une durée égale ou supérieure à 200 ms. Dans Praat, nous avons uniquement conservé les annotations des allongements vocaliques dont la courbe intonative est plate.

Enfin, nous avons harmonisé l'ensemble des annotations en remplaçant les annotations déjà existantes du *tier* « pauses » par les étiquettes suivantes : **SP** pour les pauses silencieuses (*Silent Pauses*), **FP** pour les pauses remplies (*Filled Pauses*) et **SV** pour les allongements vocaliques (*Sustained Vowels*). Pour cela, nous avons lancé le script de remplacement de texte développé par DiCanio (2011) dans Praat.

Accord inter-annotateur

L'accord inter-annotateur consiste à donner un certain pourcentage des données (environ 20%) ainsi que son protocole d'annotation (un descriptif des éléments à annoter) à une ou plusieurs personnes n'ayant pas de connaissances du corpus afin de vérifier la validité et la fiabilité du processus d'annotation. Il se calcule à l'aide du coefficient κ de Cohen, dont le score s'échelonne de 0 à 1. Un score égal ou supérieur à .81 atteste la validité et la fiabilité des annotations. En clinique, cette étape permet d'assurer une annotation comportant le moins de biais de subjectivité possible. En effet, la connaissance du patient et de ses troubles peut conduire à surestimer ou sous-estimer le nombre de pauses. Il est vrai cependant que l'accord inter-annotateur peut être difficile à réaliser en clinique (par manque de disponibilité de ses collègues p. ex.), aussi cette étape peut être optionnelle.

Nous avons confié 20% de nos données à deux annotatrices cliniciennes non-orthophonistes, naïves de l'analyse de la parole, pour comparer nos annotations des pauses. Nous leur avons fourni en amont un document détaillé de notre système d'annotation. Notre accord inter-annotateur a atteint 98,71% d'accord pour l'annotation des pauses silencieuses, soit un agrément presque parfait (κ = .97), 90,98% pour l'annotation des pauses remplies, soit un agrément presque

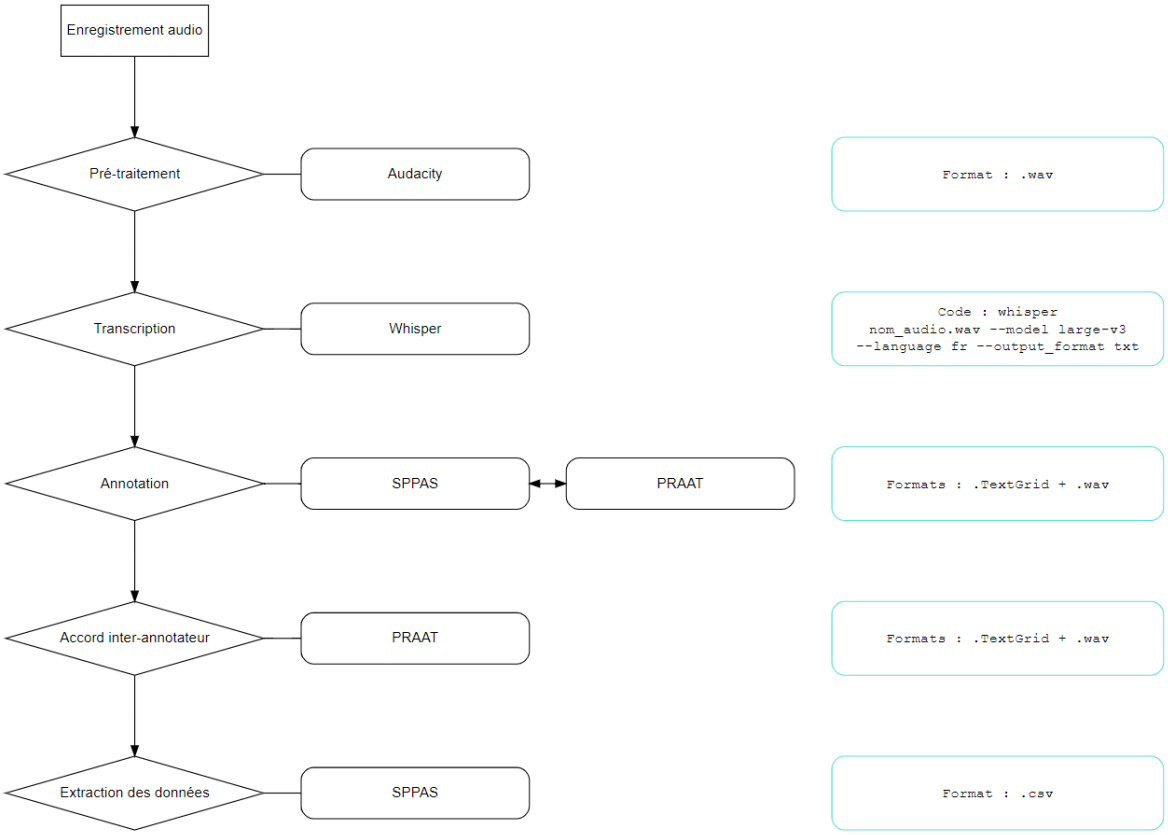


FIGURE 2 : Diagramme des étapes et des logiciels utilisés pour l'annotation de la parole.

parfait (κ = .81), et 86,88% pour l'annotation des allongements vocaliques, soit un agrément substantiel (κ = .74).

La figure 2 synthétise les différentes étapes que nous avons réalisées pour annoter la parole des participantes.

Extraction des données prosodiques

Nous avons extrait le nombre, la durée totale, moyenne, médiane et l'écart-type des trois types de pauses pour chaque échantillon audio à partir de SPPAS. Dans l'onglet « Analyze », nous avons sélectionné toutes les *tiers* « pauses », puis ouvert l'option « Statistics » pour accéder aux données sous forme de tableur. Cette étape a duré deux minutes.

Évaluation psychologique et cognitive

L'ensemble des participantes a bénéficié d'une évaluation psychologique et cognitive afin de contrôler les variables confondantes susceptibles d'influencer la production de pauses.

Elles ont également complété la version française du questionnaire FACT-Cog v3 (Costa et al., 2018 ; Joly et al., 2012) pour évaluer la présence d'une plainte cognitive significative (score inférieur ou égal à 55/72 à la sous-échelle *Perceived Cognitive Impairment*, PCI).

Les femmes ayant pris part à l'étude ont complété l'échelle *Hospital Anxiety Depression* (HAD, Zigmond & Snaith, 1983). Ce questionnaire comprend deux sous-échelles destinées à évaluer l'anxiété (HAD-A) et la dépression (HAD-D). Un score supérieur à 11/21 à l'une de ces sous-échelles atteste de la présence d'anxiété ou de dépression.

Elles ont ensuite complété le *Functional Assessment of Chronic Illness Therapy – Fatigue* (FACIT-F, Bonomi et al., 1996 ; Cella et al., 1993). Ce questionnaire est spécialement conçu pour évaluer la fatigue globale liée au cancer. Plus le score est élevé, moins la fatigue est importante. Il est à noter qu'il n'existe pas de seuil standardisé pour cette batterie de questions.

Enfin les participantes ont passé le test de repérage cognitif MoCA (Nasreddine et al., 2005). Ce test rapide à administrer est conçu pour détecter des troubles de la cognition en évaluant plusieurs

	id	site	group	age	complaint	anxiety	depression	cognition	FP_mean	SP_mean	SV_mean	FP_median
1	AL04	hospital	BC	41	38	0	2	26	0.464137214	1.259361109	0.464098824	0.25
2	AL08	hospital	BC	38	39	4	3	26	0.505	0.767647059	0.429166667	0.505
3	AL10	hospital	BC	38	31	11	4	30	0.568072969	0.756917516	0.318287043	0.48893414
4	AL13	hospital	BC	45	29	9	13	21	0.639166667	1.425927875	0.401111111	0.64
5	AL14	hospital	BC	39	49	6	11	29	0.626744848	0.799075957	0.393893653	0.5225

FIGURE 3 : Rangement des données de cinq participantes dans JASP.

domaines cognitifs (mémoire, capacités visuo-spatiales, langage, etc.). Un score supérieur ou égal à 26/30 est considéré comme normal.

Analyses statistiques

Les analyses statistiques de cette étude ont été réalisées avec le logiciel JASP (JASP Team, 2023). Ce logiciel présente l'avantage d'être gratuit, hors ligne, *open source* et simple d'utilisation. Son interface graphique rend accessibles plusieurs modèles de statistiques fréquentistes paramétriques et non paramétriques, ainsi que leurs équivalents Bayésiens (cf. https://jasp-stats.org/how-to-use-jasp/ pour une introduction à JASP). Nos données sont rangées dans un tableur au format .csv. Chaque colonne correspond à une variable et chaque ligne à une participante. La figure 3 montre le rangement des données après importation dans JASP.

L'effectif de notre étude est petit, raison pour laquelle nous avons choisi des tests non-paramétriques pour nos analyses statistiques. Nous avons effectué des tests U de Mann-Whitney (Mann & Whitney, 1947) pour comparer (1) l'âge, les scores au test de repérage cognitif et aux questionnaires des participantes BC par rapport aux participantes HC, ainsi que (2) les variables prosodiques des deux groupes. Enfin, nous avons effectué une corrélation de Spearman (Spearman, 1904) pour vérifier la possibilité d'un effet des variables psychologiques (anxiété, dépression, fatigue) sur les variables prosodiques.

L'ensemble des graphiques a été réalisé sur R studio (RStudio, BPC, 2020) avec les packages ggplot2 (Wickham et al., 2016) et GridExtra (Kassambara, 2016).

RÉSULTATS

Caractéristiques du corpus

Notre corpus est composé de 26 échantillons de parole pour une durée totale de 35 minutes (moyenne par échantillon = 82 s ± 41s). Au total, nous avons annoté 1222 pauses d'hésitation.

Données démographiques

Le tableau 1 montre les résultats du test U de Mann-Whitney réalisé pour la comparaison des variables démographiques et psychologiques entre les groupes. Comme attendu l'âge (p = .456) et le score MoCA ne révèlent pas de différence significative (p = .407), contrairement au score PCI du FACT-Cog (p < .001). Les participantes BC ont des scores significativement plus élevés que les contrôles aux questionnaires d'anxiété (p = .031) et de dépression (p = .009). Ces scores restent toutefois en-deçà des seuils pathologiques. Les participantes BC ont un score significativement

TABLEAU 1 : Comparaison des variables démographiques et des scores au test cognitif et aux questionnaires.

Variable	BC *moyenne (ET)*	HC *moyenne (ET)*	*p*-value
Âge	46 (9.9)	44 (10.6)	0.456
MoCA (/30)	27 (2.6)	27 (2.3)	0.407
FACT-Cog PCI (/72)	31 (10.7)	67 (4.8)	**< .001***
HAD-A (/24)	10 (5.0)	6 (4.2)	**0.031***
HAD-D (/24	7 (4.5)	3 (3.3)	**0.009***
FACIT-F (/52)	25 (8.6)	44 (7.1)	**< .001***

* = différence significative.

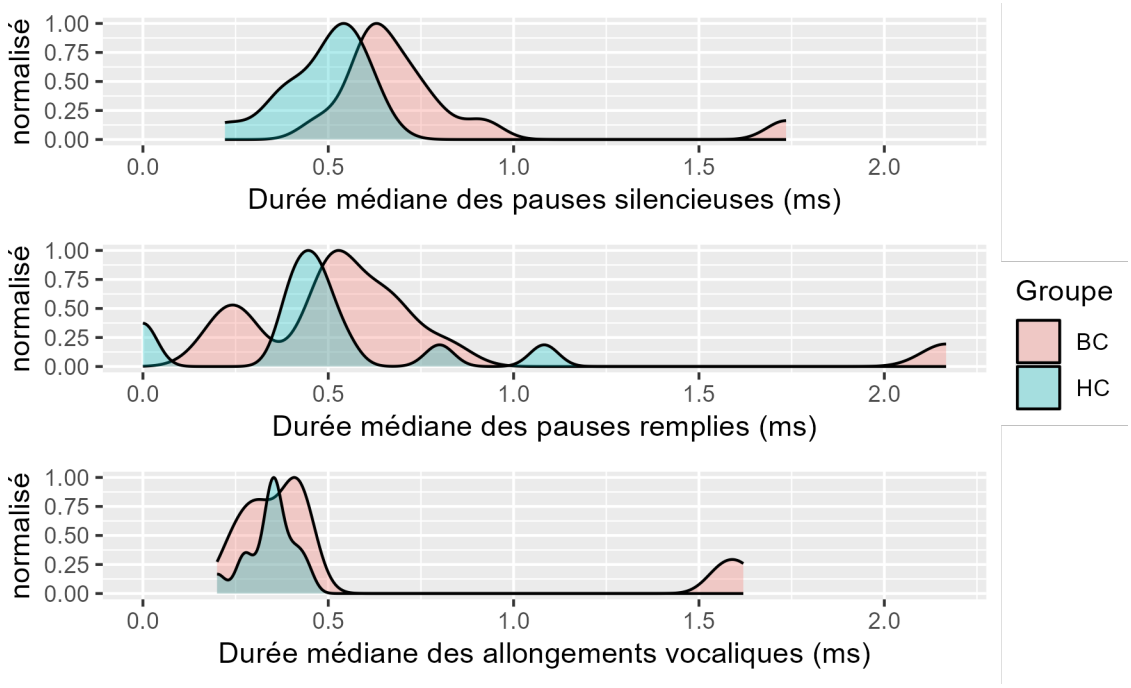


FIGURE 4 : Distribution de la durée médiane des pauses.

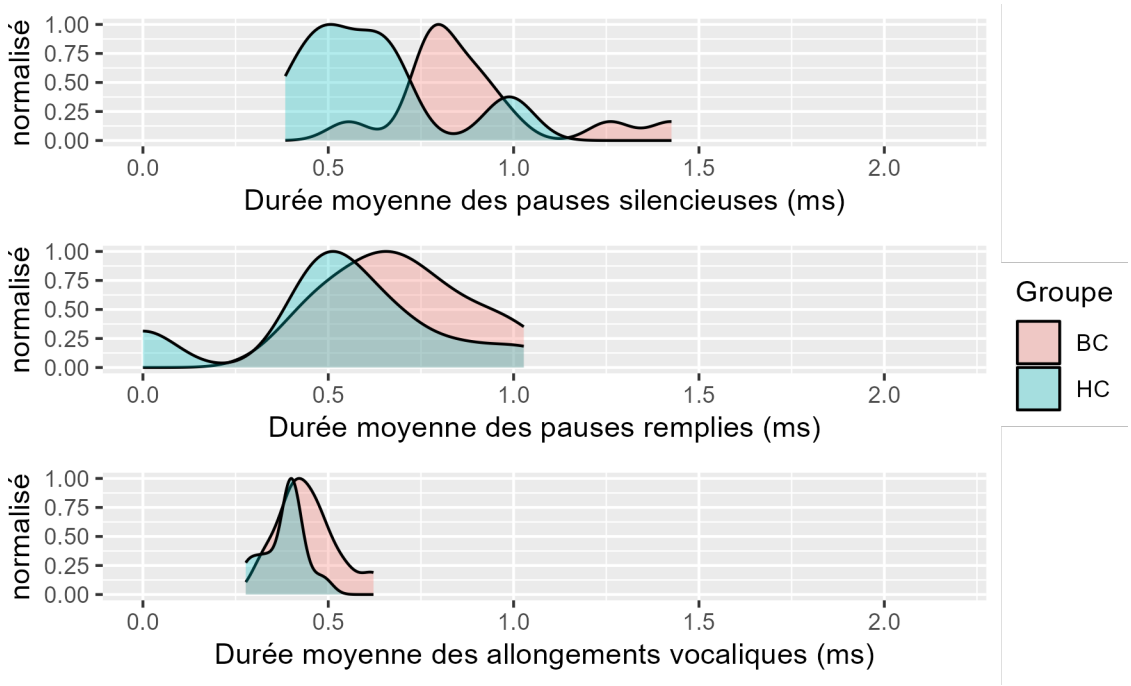


FIGURE 5 : Distribution de la durée moyenne des pauses.

plus faible au questionnaire de fatigue ($p < .001$), ce qui suggère la possible présence de fatigue chez cette population.

Résultats de l'analyse des pauses

La distribution des pauses est asymétrique avec une densité plus élevée chez les deux groupes pour les pauses de courte durée (~500 ms). La figure 4 montre la distribution de la durée médiane des pauses pour chaque type de pause.

La figure 5 montre la distribution de la durée moyenne des pauses pour chaque type de pause.

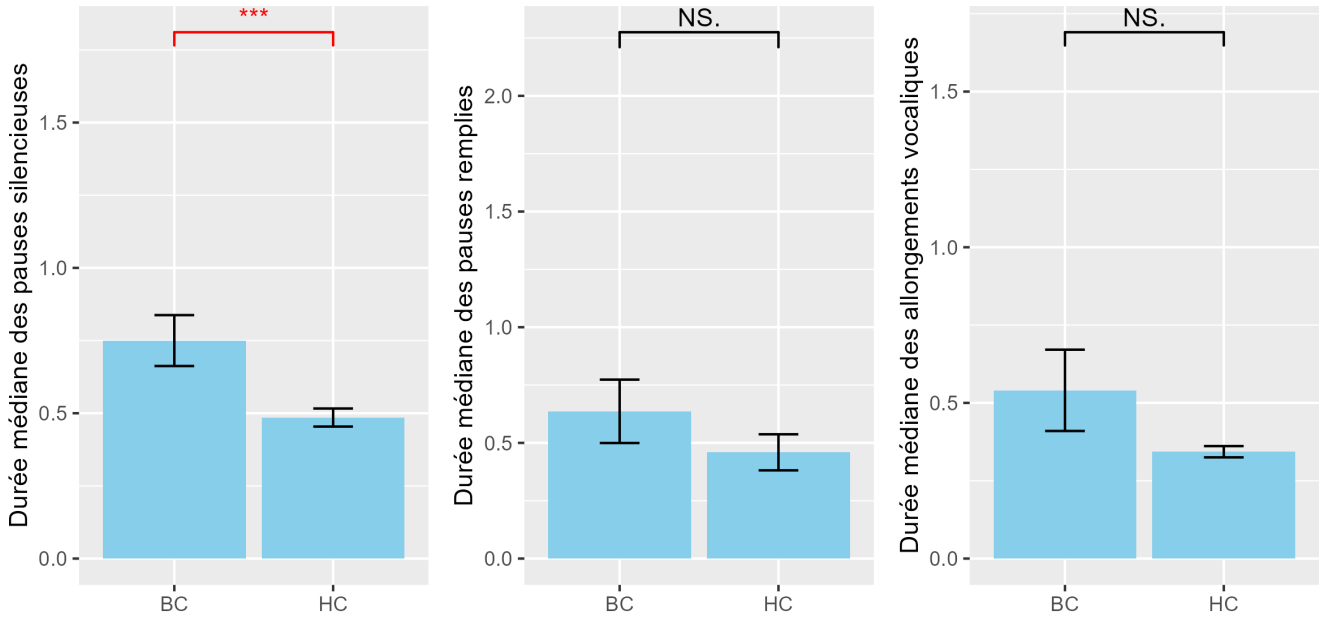


FIGURE 6 : Diagramme en barres de la durée médiane des pauses silencieuses, pauses remplies et allongements vocaliques pour les groupes Breast Cancer (BC) et Healthy Controls (HC). Les barres indiquent l'erreur-type. Les étoiles indiquent une différence significative entre les deux groupes.

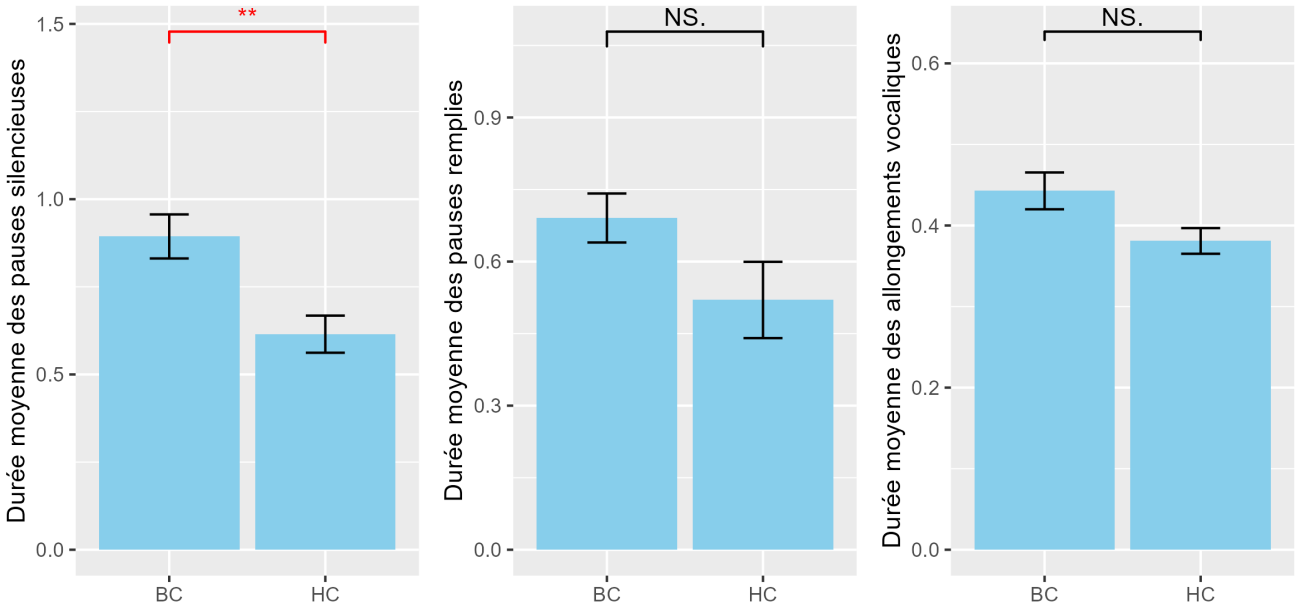


FIGURE 7 : Diagramme en barres de la durée moyenne des pauses silencieuses, pauses remplies et allongements vocaliques pour les groupes Breast Cancer (BC) et Healthy Controls (HC). Les barres indiquent l'erreur-type. Les étoiles indiquent une différence significative entre les deux groupes.

Durées médiane et moyenne des variables prosodiques

Nous avons réalisé un test U de Mann-Whitney pour comparer les durées médiane et moyenne des pauses silencieuses, des pauses remplies et des allongements vocaliques des participantes BC à celles des participantes HC. Les résultats indiquent des durées médiane et moyenne des pauses silencieuses significativement plus longues pour les participantes BC que pour les participantes HC (respectivement p = <.001 et p = .002). En revanche, les résultats ne montrent

pas de différence significative pour les durées médiane et moyenne des pauses remplies et des allongements vocaliques.

La figure 6 et la figure 7 montrent respectivement les durées médiane et moyenne des pauses silencieuses, pauses remplies et allongements vocaliques pour les groupes BC et HC.

Taux de pauses et d'allongements vocaliques

Les taux de pauses et d'allongements vocaliques par échantillon ont été calculés en divisant le nombre d'occurrences par la durée totale des échantillons.

Le tableau 2 résume les moyennes des taux de chaque variable prosodique. Nous avons réalisé un test U de Mann-Whitney pour comparer les taux des pauses silencieuses, des pauses remplies et des allongements vocaliques des participantes BC à ceux des participantes HC. Les résultats ne montrent pas de différence significative entre les groupes pour ces variables prosodiques.

Contrôle des co-facteurs

Certains facteurs psychologiques ou états comme la fatigue peuvent influencer la production d'un discours. Nous avons réalisé une corrélation de Spearman pour examiner la relation entre les scores d'anxiété, de dépression et de fatigue et la durée des pauses silencieuses.

Les résultats ne montrent pas de corrélation significative entre les durées médiane et moyenne des pauses silencieuses et le score d'anxiété ($r(24) = .317$, $p = .114$, et $r(24) = .264$, $p = .192$), ni entre la durée médiane des pauses silencieuses et le score de dépression ($r(24) = .346$, $p = .084$). En revanche, les résultats suggèrent une corrélation significative entre les durées médiane et moyenne des pauses silencieuses et le score de fatigue ($r(24) = -.446$, $p = .022$ et $r(24) = - 473$, $p = .015$), ainsi que la durée moyenne des pauses silencieuses et le score de dépression ($r(24) = .458$, $p = .019$). Toutefois, aucun score n'ayant été considéré pathologique, ces résultats doivent être interprétés avec précaution.

DISCUSSION ET CONCLUSION

Ce travail décrit les différentes étapes nécessaires à la réalisation d'une analyse de la prosodie à travers une application concrète chez des participantes ayant eu un cancer du sein. La production de parole de treize participantes post-cancer du sein ayant un trouble cognitif induit par un cancer et ses traitements et celle de treize participantes contrôles saines appariées a été obtenue au moyen d'une tâche de narration élicitée par des images. Le corpus final, composé de vingt-six échantillons de parole pour une durée totale de trente-cinq minutes, a ensuite été analysé grâce à une méthode spécifiquement développée pour les besoins de l'étude.

La méthode employée utilise des outils informatiques automatisés, hors ligne et *open source*. Outre le gain de temps procuré par ces outils, leur utilisation protège le contrôle des données et de leur traitement. L'alternance entre SPPAS et Praat constitue toutefois une limite de cette méthode. En effet, elle nécessite la maîtrise de deux logiciels et peut allonger le temps d'analyse. Il est possible de réaliser l'ensemble de l'analyse prosodique sur SPPAS. Cependant, la visualisation du spectrogramme fourni par Praat rend l'ajustement des frontières plus aisé. De futures études veilleront à développer un outil combinant les fonctionnalités de SPPAS et la précision de Praat afin d'alléger davantage la procédure.

Cette méthode peut s'adapter à d'autres pathologies ou syndromes. Son application clinique peut être multiple. Elle permet par exemple d'établir une ligne de base et d'évaluer l'évolution des patients, de confirmer ou d'infirmer une intuition clinique en comparant la production d'un patient à des données normatives issues de la littérature, et/ou de proposer une analyse détaillée

TABLEAU 2 : Taux des pauses silencieuses, des pauses remplies et des allongements vocaliques.

Taux des variables prosodiques	BC *moyenne (ET)*	HC *moyenne (ET)*	*p*-value
Pauses silencieuses	0.270 (0.056)	0.224 (0.072)	0.101 ns
Pauses remplies	0.149 (0.062)	0.130 (0.072)	0.573 ns
Allongements vocaliques	0.172 (0.073)	0.161 (0.079)	0.880 ns

* = différence significative, ns = différence non-significative.

des difficultés linguistiques (recherche lexicale, programmation syntaxique, erreurs phonétiques, etc.).

Concernant l'application clinique que nous avons réalisée pour illustrer cette méthode, nos principaux résultats suggèrent que la durée des pauses d'hésitation silencieuses permet de différencier le groupe de participantes ayant eu un cancer du sein avec plainte cognitive des participantes contrôles, contrairement aux pauses remplies et aux allongements vocaliques. Ce résultat est similaire à ceux obtenus par Bóna (2024) qui a comparé les pauses dans le discours de personnes ayant des troubles cognitifs liés à une sclérose en plaques (SEP) à celles de participants sains lors de tâches de narration. Les pauses silencieuses des patients avec SEP sont plus fréquentes et plus longues que chez les contrôles. En revanche, les pauses remplies ne présentent pas de différence entre les deux groupes. Il est intéressant de noter que, bien que les pathologies sous-jacentes des deux populations (cancer et sclérose en plaques) diffèrent, les pauses silencieuses permettent d'identifier un TNCm chez des populations jeunes. Une explication possible serait que les pauses silencieuses, plus que les pauses remplies, soient le reflet d'une charge cognitive élevée.

Angelopoulou et al. (2024) soulignent la nécessité d'examiner séparément les types de pauses. En effet, chaque type de pauses répond à un besoin différent tel que des besoins linguistiques, interactionnels ou cognitifs. Par conséquent, elles peuvent refléter divers processus cognitifs. Il est donc nécessaire d'analyser isolément les pauses jouant un rôle de marqueur linguistique des TNCm.

Une des limites de notre étude est le petit effectif de participantes. Nos résultats sont donc à confirmer par une cohorte plus importante. Afin d'enrichir les connaissances sur les marqueurs de troubles cognitifs subtils en contexte de TNCm, de futures études pourront inclure d'autres paramètres prosodiques tels que la variabilité de F0 ou le débit de parole.

Pour conclure, notre étude montre l'intérêt des outils informatisés semi-automatiques pour l'évaluation de patients ayant un TNCm grâce au gain de temps et d'objectivité qu'ils procurent. Si l'utilisation de ces outils peut sembler à première vue fastidieuse, notre méthode détaillée assure la faisabilité technique d'une telle analyse prosodique en clinique.

Enfin, notre étude participe de l'évolution de la profession d'orthophoniste grâce à l'utilisation d'outils d'analyse automatisés ou d'intelligence artificielle qu'elle propose.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient Farha Gheurbi et Marion Buchy d'avoir réalisé l'accord inter-annotateur de cette étude.

DÉCLARATION D'INTÉRETS

Les auteurs ont déclaré n'avoir aucun lien d'intérêt en relation avec cet article.

FINANCEMENTS

Amélie B. Richard est financée par une bourse doctorale attribuée par l'Université Montpellier Paul-Valéry et allouée par le ministère de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche et de l'Innovation (MESRI).

RÉFÉRENCES

Amani, O., Mazaheri, M. A., Moghani, M. M., Zarani, F., & Choolabi, R. H. (2024). Chemotherapy-induced cognitive impairment in breast cancer survivors: A systematic review of studies from 2000 to 2021. *Cancer Reports, 7*(2), e1989. https://doi.org/10.1002/cnr2.1989

American Psychiatric Association. (2022). *Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders* (DSM-5-TR). https://doi.org/10.1176/appi.books.9780890425787

Angelopoulou, G., Kasselimis, D., Goutsos, D., & Potagas, C. (2024). A methodological approach to quantifying silent pauses, speech rate, and articulation rate across distinct narrative tasks: Introducing the Connected Speech Analysis Protocol (CSAP). *Brain Sciences, 14*(5), 466. https://doi.org/10.3390/brainsci14050466

Audacity Team (1999). *Audacity* (version 3.0) [logiciel informatique]. https://www.audacityteam.org/

Bézy, C., Renard, A., & Pariente, J. (dir.) (2016). *GRÉMOTS : batterie d'évaluation des troubles du langage dans les maladies neurodégénératives du GRECO*. De Boeck Supérieur.

Bigi, B. (2015). SPPAS - Multi-lingual approaches to the automatic annotation of speech. *The Phonetician. Journal of the International Society of Phonetic Sciences*, 111–112, 54–69. https://hal.science/hal-01417876

Boersma, P., & Weenink, D. (2024). *Praat: Doing phonetics by computer* (Version 6.1.55) [logiciel informatique]. https://www.fon.hum.uva.nl/praat/

Bóna, J. (2024). Pausing and fluency in speech of patients with relapsing-remitting multiple sclerosis. *Clinical Linguistics & Phonetics, 38*(4), 332–344. https://doi.org/10.1080/02699206.2023.2223347

Bonomi, A. E., Cella, D. F., Hahn, E. A., Bjordal, K., Sperner-Unterweger, B., Gangeri, L., Bergman, B., Willems-Groot, J., Hanquet, P., & Zittoun, R. (1996). Multilingual translation of the Functional Assessment of Cancer Therapy (FACT) quality of life measurement system. *Quality of Life Research, 5*(3), 309–320. https://doi.org/10.1007/BF00433915

Bryant, L., Spencer, E., & Ferguson, A. (2017). Clinical use of linguistic discourse analysis for the assessment of language in aphasia. *Aphasiology, 31*(10), 1105–1126. https://doi.org/10.1080/02687038.2016.1239013

Campione, E., & Véronis, J. (2002). *A large-scale multilingual study of silent pause duration.* Speech Prosody 2002, 11-13 avril. Aix-En-Provence. https://doi.org/10.21437/SpeechProsody.2002-35

Candea, M. (2000). *Contribution à l'étude des pauses silencieuses et des phénomènes dits "d'hésitation" en français oral spontané. Etude sur un corpus de récits en classe de français.* [thèse de doctorat, Université de la Sorbonne nouvelle - Paris III]. HAL. https://theses.hal.science/tel-00290143v1

Cella, D. F., Tulsky, D. S., Gray, G., Sarafian, B., Linn, E., Bonomi, A., Silberman, M., Yellen, S. B., Winicour, P., & Brannon, J. (1993). The Functional Assessment of Cancer Therapy scale: Development and validation of the general measure. *Journal of Clinical Oncology, 11*(3), 570–579. https://doi.org/10.1200/JCO.1993.11.3.570

Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés - CNIL. (2016). *Le règlement général sur la protection des données—RGPD*. https://www.cnil.fr/fr/reglement-europeen-protection-donnees

Costa, D. S. J., Loh, V., Birney, D. P., Dhillon, H. M., Fardell, J. E., Gessler, D., & Vardy, J. L. (2018). The Structure of the FACT-Cog v3 in cancer patients, students, and older adults. *Journal of Pain and Symptom Management, 55*(4), 1173–1178. https://doi.org/10.1016/j.jpainsymman.2017.12.486

DiCanio, C. (2011). *Text replacement script for Praat* [logiciel informatique]. https://www.acsu.buffalo.edu/~cdicanio/scripts.html

Duez, D. (2001). Caractéristiques acoustiques et phonétiques des pauses remplies dans la conversation en français. *Travaux Interdisciplinaires du Laboratoire Parole et Langage (TIPA)*, 20, 31-48. https://hal.science/hal-00285404v1

Folstein, M. F., Folstein, S. E., & McHugh, P. R. (1975). "Mini-mental state". A practical method for grading the cognitive state of patients for the clinician. *Journal of Psychiatric Research, 12*(3), 189–198. https://doi.org/10.1016/0022-3956(75)90026-6

Goldman, J.-P., Thomas, F., Roekhaut, S., & Simon, A.-C. (2010). Étude statistique de la durée pausale dans différents styles de parole. *Actes des 28e Journées d'Étude sur la Parole (JEP)*, 161–164. http:// hdl.handle.net/2078.1/81909

Groupe de travail Traumatisme Crânio-Cérébral Léger (TCCL) en Île-de-France (2021). *Rapport du groupe de travail TCCL*. Agence Régionale de Santé Île-de-France. https://www.iledefrance.ars.sante.fr/traumatisme-cranio-cerebral-leger-tccl-en-ile-de-france-rapport-du-groupe-de-travail

Haute Autorité de Santé. (2018). *Patients présentant un trouble neurocognitif associé à la maladie d'Alzheimer ou à une maladie apparentée. Guide parcours de soins.* https://www.has-sante.fr/jcms/c_2906096/en/patients-presentant-un-trouble-neurocognitif-associe-a-la-maladie-d-alzheimer-ou-a-une-maladie-apparentee

He, R., Chapin, K., Al-Tamimi, J., Bel, N., Marquié, M., Rosende-Roca, M., Pytel, V., Tartari, J. P., Alegret, M., Sanabria, A., Ruiz, A., Boada, M., Valero, S., & Hinzen, W. (2023). Automated classification of cognitive decline and probable Alzheimer's dementia across multiple speech and language domains. *American Journal of Speech-Language Pathology, 32*(5), 2075–2086. https://doi.org/10.1044/2023_AJSLP-22-00403

Hommel, M., Miguel, S. T., Naegele, B., Gonnet, N., & Jaillard, A. (2009). Cognitive determinants of social functioning after a first ever mild to moderate stroke at vocational age. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry, 80*(8), 876–880. https://doi.org/10.1136/jnnp.2008.169672

Ivanova, O., Martínez-Nicolás, I., & Meilán, J. J. G. (2023). Speech changes in old age: Methodological considerations for speech-based discrimination of healthy ageing and Alzheimer's disease. *International Journal of Language & Communication Disorders, 59*(1), 13–37. https://doi.org/10.1111/1460-6984.12888

Janelsins, M. C., Kohli, S., Mohile, S. G., Usuki, K., Ahles, T. A., & Morrow, G. R. (2011). An update on cancer- and chemotherapy-related cognitive dysfunction: Current status. *Seminars in Oncology, 38*(3), 431–438. https://doi.org/doi:10.1053/j.seminoncol.2011.03.014

JASP Team. (2023). *JASP* (version 0.17.3) [logiciel informatique]. https://jasp-stats.org/team/

Jim, H. S. L., Phillips, K. M., Chait, S., Faul, L. A., Popa, M. A., Lee, Y.-H., Hussin, M. G., Jacobsen, P. B., & Small, B. J. (2012). Meta-analysis of cognitive functioning in breast cancer survivors previously treated with standard-dose chemotherapy. *Journal of Clinical Oncology, 30*(29), 3578–3587. https://doi.org/10.1200/JCO.2011.39.5640

Joly, F., Lange, M., Rigal, O., Correia, H., Giffard, B., Beaumont, J. L., Clisant, S., & Wagner, L. (2012). French version of the Functional Assessment of Cancer Therapy–Cognitive function (FACT-Cog) version 3. *Supportive Care in Cancer, 20*, 3297–3305. https://doi.org/10.1007/s00520-012-1439-2

Kassambara, A. (2016). *ggpubr: "ggplot2" Based publication ready plots* (version 0.6.0) [fichier de données]. https://doi.org/10.32614/CRAN.package.ggpubr

Lanzi, A. M., Saylor, A. K., Fromm, D., Liu, H., MacWhinney, B., & Cohen, M. L. (2023). DementiaBank: Theoretical rationale, protocol, and illustrative analyses. American *Journal of Speech-Language Pathology, 32*(2), 426–438. https://doi.org/10.1044/2022_AJSLP-22-00281

Mann, H. B., & Whitney, D. R. (1947). On a test of whether one of two random variables is stochastically larger than the other. *Annals of Mathematical Statistics, 18*(1), 50–60. https://doi.org/10.1214/aoms/1177730491

Nasreddine, Z. S., Phillips, N. A., Bédirian, V., Charbonneau, S., Whitehead, V., Collin, I., Cummings, J. L., & Chertkow, H. (2005). The Montreal Cognitive Assessment, MoCA: A brief screening tool for mild cognitive impairment. *Journal of the American Geriatrics Society, 53*(4), 695–699. https://doi.org/10.1111/j.1532-5415.2005.53221.x

OSF (2011). Plateforme open source de soutien à la recherche. Center for Open Science. https://osf.io/sqwnz/?view_only=8947f20e707f476c9cf44a35ca9d7c32

Parjane, N., Cho, S., Ash, S., Cousins, K. A. Q., Shellikeri, S., Liberman, M., Shaw, L. M., Irwin, D. J., Grossman, M., & Nevler, N. (2021). Digital speech analysis in progressive supranuclear palsy and corticobasal syndromes. *Journal of Alzheimer's Disease, 82*(1), 33–45. Embase. https://doi.org/10.3233/jad-201132

Radford, A., Kim, J. W., Xu, T., Brockman, G., McLeavey, C., & Sutskever, I. (2022). Robust speech recognition via large-scale weak supervision. *arXiv: 2212.04356[*eess.AS*]*. https://doi.org/10.48550/ARXIV.2212.04356

Richard, A. B., Reilly, K. T., & Jacquin-Courtois, S. (2022, 17 juin). Que révèlent les disfluences sur le manque du mot rapporté par les patientes ayant un cancer du sein. *Actes des 34e Journées d'Etudes sur la Parole (JEP)*, 357-365. https://doi.org/10.21437/JEP.2022-38

Richard, A. B., Hirsch, F., Jacquin-Courtois, S., & Reilly, K. T. (2023). Self-interruptions in breast cancer patients who complain of anomia. Dans R. Skarnitzl & J. Volín (dir.), *Proceedings of the 20th International Congress of Phonetic Sciences* (p. 4012–4016). https://hal.science/hal-04195993v1

Richard, A. B., Foncelle, A., Hirsch, F., Jacquin-Courtois, S., Reilly, K., & Lelandais, M. (2024). *Speech markers of Cancer-Related Cognitive Impairment: A pilot study.* Speech Prosody 2024, 2-5 juillet. Leiden. https://doi.org/10.31219/osf.io/xz46h

RStudio, BPC. (2020). *RStudio: Integrated development for R* [logiciel informatique]. https://support.posit.co/hc/en-us/articles/206212048-Citing-RStudio

Spearman, C. (1904). The proof and measurement of association between two things. *The American Journal of Psychology, 15*(1), 72-101. https://doi.org/10.2307/1412159

Themistocleous, C., Eckerström, M., & Kokkinakis, D. (2020). Voice quality and speech fluency distinguish individuals with Mild Cognitive Impairment from healthy controls. *PLOS ONE, 15*(7), e0236009. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0236009

Van Dyk, K., Crespi, C. M., Petersen, L., & Ganz, P. A. (2020). Identifying Cancer-Related Cognitive Impairment using the FACT-Cog perceived cognitive impairment. *JNCI Cancer Spectrum, 4*(1), pkz099. https://doi.org/10.1093/jncics/pkz099

Vincze, V., Szatlóczki, G., Tóth, L., Gosztolya, G., Pákáski, M., Hoffmann, I., & Kálmán, J. (2021). Telltale silence: Temporal speech parameters discriminate between prodromal dementia and mild Alzheimer's disease. *Clinical Linguistics & Phonetics, 35*(8), 727–742. https://doi.org/10.1080/02699206.2020.1827043

Wagner, L. I., Sweet, J., Butt, Z., Lai, J. S., & Cella, D. (2009). Measuring patient self-reported cognitive function: Development of the Functional Assessment of Cancer Therapy–cognitive function instrument. *The Journal of Supportive Oncology, 7*(6), W32–W39.

Wickham, H., Chang, W., Henry, L., Pedersen, T. L., Takahashi, K., Wilke, C., Woo, K., Yutani, H., Dunnington, D., & van den Brand, T. (2016). *ggplot2: Create elegant data visusalisations using the grammar of graphics*. https://ggplot2.tidyverse.org

Zigmond, A. S., & Snaith, R. P. (1983). The Hospital Anxiety and Depression scale. *Acta Psychiatrica Scandinavica, 67*(6), 361–370. https://doi.org/10.1111/j.1600-0447.1983.tb09716.x