

DEPARTEMENT ORTHOPHONIE
FACULTE DE MEDECINE
Pôle Formation
59045 LILLE CEDEX
Tél : 03 20 62 76 18
departement-orthophonie@univ-lille.fr



 Université
de Lille

 **ufr35**
faculté
de médecine

MEMOIRE

En vue de l'obtention du
Certificat de Capacité d'Orthophoniste
présenté par

Solenn HAMEURY

soutenu publiquement le 13 juin 2022

**L'aspect rhéologique de l'adaptation des textures
alimentaires dans le domaine de la dysphagie
Revue systématique de la littérature**

MEMOIRE dirigé par

Marie ARNOLDI, Orthophoniste et enseignante, Hôpital Huriez, Lille
François MOUAWAD, chirurgien ORL et enseignant, Hôpital Huriez, Lille

Lille – 2022

Remerciements

Je tiens à remercier mes directeurs de mémoire pour leur aide précieuse tout au long de ce projet. Un grand merci à Madame Arnoldi pour m'avoir guidée jusqu'à ce sujet et pour avoir cheminé avec moi jusqu'à sa construction. Merci au Docteur Mouawad, pour sa disponibilité et ses conseils rédactionnels.

Un grand merci à Frédéric Zeggwagh pour m'avoir aidée à comprendre les concepts de mécanique des fluides utiles à la rédaction de ce travail.

Je remercie sincèrement tous les maîtres de stage que j'ai rencontrés, pour m'avoir partagé leur expérience avec tant de bienveillance. Merci tout particulièrement à ceux de cette dernière année, Clémence Lietar, Emilie Faye et Laurie Charpenet, pour votre accompagnement et tout ce que vous m'avez apporté. J'adresse une reconnaissance particulière à Alexia Le Deuff, Lucie Marot et Catherine d'Andréa pour m'avoir tant appris en neurologie et m'avoir donné goût à ce champ d'intervention orthophonique. Merci à Grégoire Vialatte de Pémille pour m'avoir partagé son expérience en cancérologie ORL.

J'adresse mes remerciements les plus tendres à ma famille, mes parents, ma sœur et mes grands-parents pour leurs soutien inestimable lors de ces cinq dernières années, pour leur amour inconditionnel et leurs encouragements.

Je remercie affectueusement les amis de promo et d'ailleurs, notamment Alexia, Alexandru, Rostane, Valentine et Jade d'avoir été là pour moi. Et enfin, un merci des plus doux à Nico, pour sa patience, sa bienveillance et sa présence à mes côtés.

Résumé :

La modification des textures est une intervention orthophonique courante dans le domaine de la dysphagie pour éviter les fausses routes et permettre une déglutition efficace. Cependant, l'orthophoniste n'est pas formé lors de son cursus initial à la physique de l'écoulement du bolus à travers les structures anatomiques. L'objectif de ce mémoire est donc d'identifier les données rhéologiques principales, dans le domaine de la déglutition qui seraient utiles en clinique aux praticiens.

Pour répondre à cette problématique, nous avons effectué une revue systématique de la littérature sur les bases de données informatisées Lillocat, Pubmed et Science Direct. Onze articles ont été sélectionnés pour revue à l'issue du processus de sélection. Ces études étaient hétérogènes quant aux paramètres rhéologiques étudiés et aux méthodologies appliquées. Seules des études expérimentales ont été obtenues.

Les résultats de notre revue systématique montrent l'importance de la connaissance des notions rhéologiques et de leurs liens avec la physiologie et la perception sensorielle du patient. Il semblerait qu'une étude de ce domaine contribuerait à encourager une pratique fondée sur les preuves.

Mots-clés :

Déglutition ; Rhéologie ; Modification de la texture ; Aliment modifié ; Fluide.

Abstract :

Texture modification is a common speech-language pathology intervention in dysphagia field to avoid penetration of the bolus into the airway and to allow efficient swallowing. However, the speech-language pathologist is not trained in the physics of bolus flow through anatomical structures during their initial course. This study aims to identify the main rheological data in the field of swallowing that would be clinically useful to practitioners.

To explore this point, we performed a systematic review of the literature on the computerized databases Lillocat, Pubmed and Science Direct. Eleven articles were selected for review after the screening process. These studies were heterogeneous in terms of the rheological parameters studied and the methodologies applied. Only experimental studies were obtained.

The results of our systematic review show the importance of knowledge of rheological concepts and their relationship with the physiology and sensory perception of the patient. It would seem that a study of this area would help to encourage evidence-based practice.

Keywords:

Swallowing ; Rheology ; Texture modification ; Modified Food ; Fluid.

<u>Introduction</u>	1
<u>Contexte théorique, buts et hypothèses</u>	2
<u>.1. La dysphagie et l'intervention sur les textures</u>	2
<u>.1.1. Les mécanismes physiopathologiques en fonction des temps de la déglutition et l'intervention recommandée sur les textures</u>	2
<u>.1.1.1. Phase préparatoire</u>	2
<u>.1.1.2. Phase orale ou temps de transport</u>	2
<u>.1.1.3. Phase pharyngée</u>	3
<u>.1.1.4. Phase œsophagienne</u>	4
<u>Temps de la déglutition</u>	5
<u>Impact physiopathologique</u>	5
<u>Textures adaptatives</u>	5
<u>Phase préparatoire</u>	5
<u>Phase orale</u>	5
<u>Phase pharyngée</u>	5
<u>Phase œsophagienne</u>	5
<u>.1.2. Impact des troubles de la déglutition sur la qualité de vie</u>	5
<u>.1.2.1. Le vécu du patient dysphagique</u>	5
<u>.1.2.2. Acceptabilité des textures modifiées</u>	5
<u>.2.1. Définitions</u>	6
<u>.2.1.1. La texture</u>	6
<u>.2.1.2. Les propriétés texturales des aliments à textures modifiées</u>	6
<u>.2.1.3. Les propriétés texturales des fluides</u>	7
<u>.2.2. Les caractéristiques rhéologiques des fluides et des aliments à texture modifiée</u>	7
<u>.2.2.1. L'élasticité</u>	7
<u>.2.2.2. La viscosité</u>	7
<u>.2.3. Un manque de consensus</u>	9
<u>.2.3.1. Les deux aspects de la texture : instrumental et sensoriel</u>	9
<u>.2.3.2. Besoin d'un consensus international sur la terminologie des textures</u>	9
<u>.2.4. Vers un consensus : l'International Dysphagia Diet Standardisation Initiative (IDDSI)</u>	10
<u>.2.4.1. Création d'une terminologie internationale (Figure 3)</u>	10
<u>.2.4.2. Mise à jour des définitions des textures du cadre IDDSI en 2020</u>	11
<u>.2.4.3. Les méthodes cliniques de mesure pour évaluation des textures proposées par l'IDDSI</u>	12
<u>.2.4.4. Les limites persistantes justifiant un besoin théorique des professionnels en rhéologie des textures alimentaires</u>	13
<u>.3. Objectifs de la revue systématique</u>	14
<u>Matériels et méthodes</u>	14

.1. Guide PRISMA de rédaction	14
.2. Bases de données utilisées	14
.3. Equation de recherche	14
.4. Les critères d'inclusion et d'exclusion de l'étude	15
.4.1. Les critères d'inclusion	15
.4.2. Les critères d'exclusion	15
.5. Processus d'extraction des données	16
.5.1. Arbre décisionnel pour la sélection des articles	16
.5.2. La grille de lecture des articles	16
.5.3. Tableau d'extraction des données	16
Résultats	16
.1. Résultats des études instrumentales : rhéologie des fluides	18
.1.1. Etude de la qualité des études sélectionnées	18
.1.2. Les instruments de mesure des fluides épaissis	18
.1.3. Résultats des mesures rhéologiques effectuées en lien avec la dysphagie	19
.1.3.1. La viscosité d'extension : un critère de cohésion	20
.1.3.2. Les propriétés viscoélastiques : comportement élastique ou visqueux du fluide	20
.2. Résultats des études rhéologiques et cliniques	21
.2.1. Etude de la qualité des études sélectionnées	21
.2.2. Les méthodes de mesure rhéologiques	22
.2.3. Liens entre les paramètres rhéologiques et les paramètres sensoriels	22
.2.4. Liens entre les paramètres rhéologiques et les mesures fonctionnelles	22
Discussion	23
.1. Discussion des résultats à la lumière des objectifs	23
.1.1. Quel est l'état des connaissances actuelles sur la rhéologie des textures ?	23
.1.2. Comment les textures sont-elles mesurées de manière fiable ?	24
.1.3. Quelles sont les limites existantes dans ce domaine de connaissance ?	25
.2. Discussion des résultats à la lumière de l'EBP	26
.2.1. Intervention sur les textures : une utilité clinique empirique	26
.2.2. La place de l'EBP dans la thérapeutique de la dysphagie	27
.3. Les limites de notre étude	27
.3.1. Les mesures sensorielles de la texture	28
.3.2. Les mesures fonctionnelles de la déglutition des textures	28
.3.3. L'influence du volume	29
Conclusion	29
Bibliographie	31
Sitographie et documents pdf en ligne	39

<u>Liste des annexes</u>	41
<u>Annexe n°1 : Tableau récapitulatif des notions relatives à la texture.</u>	41
<u>Annexe n°2 : Grille PRISMA.</u>	41
<u>Annexe n°3 : Grille de lecture des articles.</u>	41
<u>Annexe n°4 : Tableau de présentation des études.</u>	41
<u>Annexe n°5 : Tableau de résultat des études instrumentales.</u>	41
<u>Annexe n°6 : Tableau de résultat des études cliniques et instrumentales.</u>	41
<u>Annexe n°7 : Photo d'un rhéomètre.</u>	41
<u>Annexe n°8 : Exemple de rhéogramme.</u>	41
<u>Annexe n°9 : Illustration des résultats de mesure de la rupture des filaments.</u>	41
<u>Annexe n°10 : Illustration des résultats d'un test de balayage fréquentiel en fonction des concentrations d'épaississants.</u>	41
<u>Annexe n°11 : Illustration de la région viscoélastique linéaire (LVR) et non-linéaire.</u>	41
<u>Annexe n°12 : Illustration de la pratique fondée sur les preuves (EBP) selon ses trois axes.</u>	41
<u>Annexe n°13 : Tableau récapitulatif des textures à utiliser en fonction de la localisation pathologique, des recommandations IDDSI, et des paramètres rhéologiques à favoriser.</u> ..	41

Introduction

La déglutition est le processus physiologique permettant l'acheminement des aliments, des liquides, de la salive et des sécrétions de la cavité buccale jusqu'à l'estomac tout en assurant la protection des voies aériennes (Woisard-Bassols & Puech, 2011). Elle présente ainsi une fonction motrice double de nutrition, d'hydratation par voie orale et de préservation des voies respiratoires en permettant l'orientation du bolus alimentaire vers les voies digestives (Guatterie, 2007). La déglutition est une des fonctions les plus complexes de l'organisme, et se produit près de 1000 fois par jour (Dodds, 1989 ; Matsuo & Palmer, 2008). De par cette fonction d'alimentation, elle sous-tend également un enjeu social d'importance, notamment en France où la majorité des repas s'effectue en collectivité, et où le partage de ce moment est associé à la notion de plaisir (de Saint Pol, 2017).

Les troubles de la déglutition touchent environ 8% de la population mondiale, soit approximativement 590 millions de personnes (Cichero et al., 2017). La dysphagie peut entraîner une dénutrition, un isolement social et a de fortes répercussions psychologiques chez le patient (Merrot et al., 2011). L'orthophoniste évalue et rééduque la déglutition notamment en proposant au patient un traitement symptomatique par des stratégies compensatoires. Parmi ces stratégies : l'adaptation des textures, des températures et des volumes des aliments (Amberger et Dulguerov, 1995) sont principalement utilisées. Le but de la modification des textures par l'ajout de divers épaississants et hydrocolloïdes est de ralentir l'écoulement du bolus à travers le pharynx afin de permettre un temps supplémentaire pour la fermeture des voies aériennes (Steele et al., 2015). L'adaptation texturale optimale est rendue complexe par les nombreux changements dynamiques auxquels est soumis le bolus alimentaire du fait des contraintes appliquées dans la cavité buccale et à son passage dans le pharynx. Pour étudier l'écoulement du bolus en fonction de sa consistance sans prendre de risque pour le patient dysphagique, de nombreux travaux récents explorent la déglutition à travers des modèles *in vitro* imitant les structures anatomiques humaines (Marconati & Ramaioli, 2020 ; Patel et al., 2020 ; Qazi et al., 2019).

Afin d'être au plus près des besoins du patient, comprendre les changements de la texture au cours du processus de déglutition semble essentiel. Pour cela, il apparaît nécessaire d'étudier la rhéologie des textures alimentaires et ses effets sur la physiologie du patient. La rhéologie est la science qui étudie « les déformations et l'écoulement de la matière » en fonction des contraintes de déformation appliquées (Roudot, 2001, p. 3). Elle est à mettre en lien avec l'étude sensorielle des textures pour comprendre le rapport entre la dégradation de la structure de l'aliment, les transformations induites par le milieu, et les forces auxquelles il est soumis une fois en bouche (Joyner (Melito), 2018).

Nous avons réalisé une revue systématique de la littérature sur les concepts physiques existant derrière la terminologie des textures modifiées, dans le but de préciser pour les orthophonistes mais également pour les patients les conseils que nous dispensons.

Contexte théorique, buts et hypothèses

.1. La dysphagie et l'intervention sur les textures

.1.1. Les mécanismes physiopathologiques en fonction des temps de la déglutition et l'intervention recommandée sur les textures

Les troubles de la déglutition sont multiples, et leur manifestation dépend majoritairement de la cause et de la localisation de l'atteinte. Ainsi, l'adaptation texturale est à effectuer en fonction de la phase de déglutition identifiée comme dysfonctionnelle.

.1.1.1. Phase préparatoire

La phase préparatoire de la déglutition est un temps cortical volontaire qui comprend la préhension de l'aliment, l'introduction du contenu de la fourchette dans la cavité buccale, la mastication, l'insalivation du bolus et sa contention. Ces actions relèvent sur le plan neurologique d'un apprentissage praxique (Woisard-Bassols & Puech, 2011).

Durant cette phase, il est possible de retrouver un défaut de contention antérieure, c'est-à-dire que le bolus n'est pas maintenu dans la cavité buccale. En effet, une incontinence labiale, se manifestant par un écoulement du contenu de la cavité buccale pendant la phase de préparation du bolus, surtout avec les aliments liquides peut exister (Matsuo & Palmer, 2008).

Un défaut de contention postérieure correspondant à une fermeture défectueuse oropharyngée peut conduire quant à lui au passage précoce de particules alimentaires dans le pharynx, sans que les manœuvres de protection des voies aériennes n'aient eu le temps de se mettre en place (Woisard-Bassols & Puech, 2011).

Selon l'atteinte, une fermeture inefficace du rhinopharynx résultant d'une force altérée de l'occlusion vélopharyngée peut être observée et se manifester par un reflux nasal avec des résidus alimentaires ou des régurgitations lors du temps pharyngé, surtout avec les textures liquides (Matsuo & Palmer, 2008).

Des troubles de l'insalivation peuvent également altérer cette phase, rendant l'homogénéisation du bolus difficile, et créant un risque d'aspiration avec les aliments friables. Enfin, des troubles de la mastication sont parfois observés et compromettent l'ingestion d'aliments durs (Woisard-Bassols & Puech, 2011).

.1.1.2. Phase orale ou temps de transport

Il s'agit d'un temps de transport du bol alimentaire au cours duquel la langue forme une dépression à l'intérieur de la cavité buccale fermée, en se positionnant et en se contractant progressivement sur le palais d'avant en arrière. Ainsi, le bolus glisse vers la cavité oropharyngée, créant une force de propulsion au niveau de l'arrière de la langue. Le dos lingual occlut l'oropharynx et la continence labiale est maintenue (Matsuo & Palmer, 2008). L'élévation de la base de langue entraîne le déclenchement du réflexe pharyngé (Woisard-Bassols & Puech, 2011).

Durant cette phase, des troubles de l'initiation du temps oral peuvent être observés chez les patients. L'enchaînement moteur de propulsion du bol alimentaire d'avant en arrière est alors retardé ou absent une fois l'aliment en bouche. Le contenu de la cavité buccale reste positionné

en avant (Matsuo & Palmer, 2008).

Un défaut de contrôle du bolus peut être présenté par un patient. Des difficultés de mobilisation des structures de la cavité buccale empêchent ainsi la formation d'un bol alimentaire homogène et entraînent la stagnation de particules dans la bouche. Les particules restantes peuvent être soit avalées grâce à une deuxième déglutition, soit passer directement dans le larynx.

Avec les aliments pâteux et liquides surtout, des stases peuvent s'observer dans le cadre de troubles du transport oral du bolus. Ceux-ci sont dus à un affaiblissement de la pression antéropostérieure exercée par la langue sur le bolus. Le contenu de la cavité buccale n'est pas orienté vers l'oropharynx.

Dans le cas où le bolus est orienté vers l'oropharynx mais que la base de langue ne s'élève pas, n'entraînant pas l'élévation du voile du palais associée, le bolus n'est pas projeté dans le pharynx (Matsuo & Palmer, 2008). On parle alors de défaut d'initiation du réflexe pharyngé (Woisard-Bassols & Puech, 2011).

Enfin, le défaut de déclenchement du temps pharyngé est diagnostiqué lorsque le bolus entre dans l'oropharynx alors que l'enchaînement moteur du temps pharyngé ne s'est pas enclenché, ou s'est déclenché en retard. Le risque de pénétration laryngée est entre autres évalué selon « la consistance et la viscosité du bol alimentaire » (Woisard-Bassols & Puech, 2011, p. 78). Les auteurs précisent qu'une épaisseur augmentée du bolus ralentit sa progression, laissant le temps au réflexe pharyngé de se déclencher.

.1.1.3. Phase pharyngée

Le temps pharyngé correspond au moment où le mécanisme de déglutition devient réflexe. Cette étape de la déglutition présente un rôle double : la protection des voies aériennes, et l'acheminement du bol alimentaire jusqu'au sphincter supérieur de l'œsophage (Matsuo & Palmer, 2008). La littérature rapporte un temps de transit pharyngé normal de 0,2 seconde pour les jeunes adultes. Avec l'âge, celui-ci augmente jusqu'à 0,5 seconde chez les personnes âgées sans trouble spécifique de la déglutition (Nikhil et al., 2014).

Un trouble touchant cette phase induit donc un défaut de protection des voies aériennes. En effet, un défaut de fermeture laryngée peut concerner la fermeture dite sus-glottique c'est-à-dire au-dessus du plan des cordes vocales, ou glottique, au niveau des cordes vocales. Une fermeture sus-glottique défectueuse est la conséquence d'un retard ou d'une absence de fermeture du vestibule et/ou de la margelle laryngée lorsque le bolus s'introduit dans l'oropharynx.

Un défaut de recul de la base de langue lors de l'ascension laryngée peut également entraîner une fausse route par manque de protection des voies respiratoires. Une fermeture glottique absente, insuffisante ou retardée, peut provoquer des pénétrations dans le larynx de résidus alimentaires ou de liquides. Un épaississement des liquides est recommandé afin de freiner leur écoulement (Woisard Bassols & Puech, 2011). Cela permet un délai supplémentaire pour la fermeture des voies aériennes mais aussi pour le déclenchement du réflexe pharyngé.

Un défaut de propulsion pharyngée est quant à lui diagnostiqué lorsque les muscles pharyngés, assurant le péristaltisme qui oriente le bolus vers l'œsophage, sont affaiblis. Il est conseillé dans ce cas d'éviter les textures épaisses qui collent aux parois pharyngées, favorisant la formation de stases (Woisard-Bassols & Puech, 2011).

.1.1.4. Phase œsophagienne

La bouche œsophagienne s'ouvre avec l'arrivée du bolus qui progresse dans le pharynx. Elle est en continuité anatomique avec le péristaltisme pharyngé (Matsuo & Palmer, 2008). Après la déglutition, le sphincter supérieur de l'œsophage (SSO) reprend son tonus de repos afin de rendre impossible un retour du bolus dans le pharynx à la reprise inspiratoire (Guatterie, 2007). Les ondes musculaires péristaltiques ouvrent ensuite le sphincter inférieur de l'œsophage, normalement toujours fermé pour éviter les reflux acides. Cette ouverture permet au bolus d'entrer dans l'estomac. Ce temps dure 2 à 10 secondes en fonction de la texture ingérée (Woisard-Bassols & Puech, 2011). Un dysfonctionnement du SSO entraîne généralement une stase alimentaire au-dessus de la bouche œsophagienne ou dans les sinus piriformes, surtout si les aliments ingérés ont des textures pâteuses ou solides (Woisard-Bassols & Puech, 2011). Ces troubles sont observés si le SSO s'ouvre avec une amplitude non adéquate au bolus ou s'il existe un défaut de coordination entre l'ouverture du sphincter et l'arrivée du bolus à son entrée (Woisard-Bassols & Puech, 2011).

L'écoulement du bolus au cours de la déglutition est représenté ci-dessous (Figure 1). Un tableau récapitulatif a été choisi pour montrer les textures indiquées en fonction du trouble diagnostiqué (cf. Tableau 1).

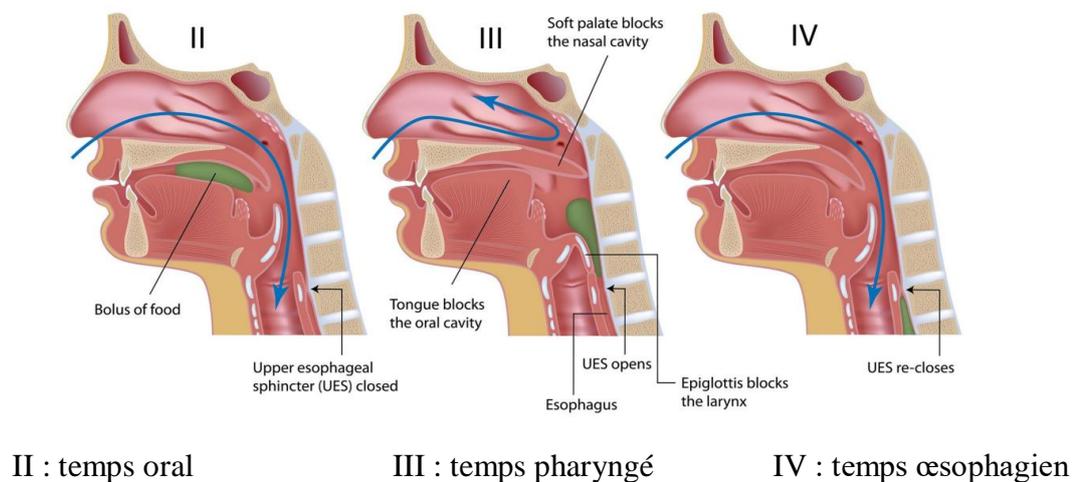


Figure 1 : Schéma des phases II à IV de la déglutition. Reproduit à partir de “Swall-E: A robotic in-vitro simulation of human swallowing”, par Fujiso, Y. et al., 2018, *PlosOne*, 13, p.2.

Tableau 1 : synthèse des adaptations texturales en fonction du trouble de la déglutition.

Temps de la déglutition	Impact physiopathologique	Textures adaptatives
Phase préparatoire	Incontinence labiale	Liquides épaissis
	Défaut de fermeture oro-pharyngée	Liquides épaissis et textures épaisses
	Défaut de fermeture du rhinopharynx	Textures épaisses
	Trouble de l'insalivation	Textures humides, liquides
Phase orale	Défaut de propulsion	Liquides épaissis, température froide
	Défaut de contrôle du bolus	Liquides épaissis et textures épaisses
	Défaut d'initiation du réflexe pharyngé	Textures épaisses et liquides épaissis
	Stases	Liquides épaissis
Phase pharyngée	Défaut de fermeture laryngée	Textures semi-solides et liquides épaissis
	Défaut de recul de la base de langue	Textures semi-solides
	Défaut de propulsion pharyngée	Textures liquides
Phase œsophagienne	Défaut d'ouverture du SSO ou défaut de synchronisation entre l'ouverture du SSO et l'arrivée du bolus	Textures liquides

.1.2. Impact des troubles de la déglutition sur la qualité de vie

.1.2.1. Le vécu du patient dysphagique

Dans une étude suédoise sur la dysphagie oropharyngée post-Accident Vasculaire Cérébral (AVC), les auteurs présentent les expériences de vie des patients dysphagiques et l'impact de leur trouble sur leur quotidien. Des complications corporelles comme la perte de poids sont évoquées, mais également des changements au niveau du ressenti des goûts. Des évitements de situations sociales dus à l'imprévisibilité des troubles, un maintien difficile des relations sociales, ainsi qu'une perte de plaisir à aller au restaurant ou à voyager sont également décrits par les participants dysphagiques (Helldén et al., 2018). Une perte de confiance en soi et d'estime de soi sont également relevées chez les patients souffrant de cancers ORL (Nguyen et al., 2005).

.1.2.2. Acceptabilité des textures modifiées

La modification des consistances des aliments est perçue comme difficile par les patients et impacte négativement leur qualité de vie (Helldén et al., 2018 ; Swan et al., 2015). Dans une revue systématique de la littérature sur les effets de la modification du bolus alimentaire sur la qualité de vie liée à la santé (Swan et al., 2015), les auteurs montrent que de manière générale, les patients auxquels d'importantes modifications texturales ont été prescrites ont éprouvé plus de répercussions que ceux auxquels des changements plus légers ont été recommandés. D'après

les travaux de McCurtin et al. (2017), les patients post-AVC souffrant de dysphagie oropharyngée ayant été traités par épaississement des liquides rapportent une expérience déplaisante entravant le plaisir de boire. Les participants de l'étude pointent également une utilisation parfois inadaptée de l'épaississement, les liquides présentés étant devenus trop épais, difficiles à ingérer. Ainsi, le traitement est vécu comme une charge et cela entraîne une non-observance des recommandations, au sujet des textures, par les patients. Cela a un effet délétère sur leur état de santé car des aspirations et des pneumopathies sont rapportées lorsque le traitement n'est pas suivi.

L'acceptabilité du traitement est également contrainte par une difficulté à comprendre les adaptations proposées (McCurtin et al., 2017). En effet, les participants de l'étude rapportent être très peu actifs dans la décision de traitement et sa mise en œuvre. Une meilleure éducation du patient avec une approche plus individuelle, sur le long terme (Helldén et al., 2018), centrée sur les goûts du patient (Simmons et al., 2001) est recommandée.

.2. Terminologie des textures

La texture est un concept réunissant de nombreuses notions nécessaires à définir pour comprendre son lien avec la déglutition.

.2.1. Définitions

.2.1.1. La texture

La texture est définie comme étant "la manifestation sensorielle de la structure de l'aliment et la manière dont cette structure réagit aux forces appliquées et aux différents sens impliqués : la vision, la kinesthésie et l'ouïe" (Szczeniak, 1991, p. 77). Cette définition décrit la texture comme étant multiparamétrique, c'est-à-dire possédant diverses caractéristiques. La texture regroupe des propriétés physiques qui relèvent de la structure des aliments, mais aussi des propriétés mécaniques et rhéologiques (Roudot, 2001). La modification des textures est devenue l'intervention la plus commune dans la prise en charge de la dysphagie (Steele et al., 2015). La dysphagie est définie comme la condition médicale qui affecte la sécurité, l'efficacité et / ou la qualité de l'alimentation et de la boisson (Whelan, 2001). Il s'agit alors de déterminer et de définir quels sont les paramètres utiles pour décrire les liquides épaissis et les aliments à texture modifiée qui sont l'objet du traitement de la dysphagie. Selon Steele et al. (2015), la dureté, la cohésion et le caractère glissant sont les principales propriétés à prendre en compte pour les aliments à texture modifiée.

.2.1.2. Les propriétés texturales des aliments à textures modifiées

Les aliments à texture modifiée sont des aliments dont les propriétés physico-chimiques ont changé lorsqu'ils ont été soumis à des traitements industriels ou culinaires (Vickers et al., 2015). Ces traitements ont modifié la texture initiale de l'aliment. Les caractéristiques importantes de ces produits ont été définies dans la littérature. La dureté correspond à la force nécessaire pour atteindre une déformation donnée de l'aliment lors de la première morsure (Nishinari et al., 2019). La cohésion est définie par Szczeniak (1991) comme la "force des liaisons internes constituant le corps du produit" (p. 79). Elle est en lien avec le comportement d'écoulement et la capacité de l'aliment à conserver sa forme. Le caractère glissant est défini comme le degré de glissement du bolus au niveau de l'oropharynx (Seo et al., 2007, p. 707).

.2.1.3. Les propriétés texturales des fluides

De la même manière, les propriétés texturales propres aux fluides sont décrites dans la littérature. La viscosité d'un fluide est relative à l'épaisseur de celui-ci, à son comportement d'écoulement et sa vitesse de déformation. Le caractère glissant et la cohésion sont aussi relevés pour décrire les fluides, et pas uniquement les aliments. Le paramètre d'adhésivité est également un critère de description des liquides et des aliments relevé dans la littérature. Il s'agit de l'énergie nécessaire pour retirer le matériau qui adhère à la muqueuse orale lors de l'alimentation (Szczeniak, 2002, p. 217). L'adhésivité correspond donc au caractère collant d'un matériau. Ainsi, il est à noter que les liquides et les solides partagent des caractéristiques communes, et que les définitions des auteurs sont à la fois sensorielles et mécaniques, ce qui rend l'appréhension du domaine complexe. Un tableau récapitulatif des différentes notions relatives à la texture est disponible en Annexe 1.

.2.2. Les caractéristiques rhéologiques des fluides et des aliments à texture modifiée

Les caractéristiques rhéologiques des aliments et des liquides choisis pour le traitement des troubles de la déglutition sont des éléments importants, à la fois pour la perception sensorielle de la texture, et pour leur contribution à la biomécanique de la déglutition.

.2.2.1. L'élasticité

L'élasticité concerne les solides ainsi que les liquides, qui peuvent présenter une contribution élastique. Il s'agit du « comportement du ressort », qui retrouve sa position première quand la force qui le comprime est supprimée (Roudot, 2001, p. 31). Une contrainte est appliquée (une force sur une surface), entraînant une déformation du matériau.

.2.2.2. La viscosité

La viscosité est le comportement prédominant rencontré chez les fluides (Roudot, 2001). Il s'agit de la résistance d'un fluide à l'écoulement. La viscosité est mesurée traditionnellement en Pascal seconde. Si l'on considère un fluide positionné entre deux parois de grandes dimensions comparées à la distance les séparant, dont l'une présente un déplacement de vitesse V et l'autre est immobile, les couches fluides proches de la paroi immobile le sont aussi, alors que les couches proches de la paroi mobile se déplacent à la même vitesse que cette paroi. Les couches intermédiaires présentent des vitesses évoluant de façon continue entre ces deux valeurs. On parle d'écoulement en cisaillement : les couches de fluide se déplacent les unes par rapport aux autres sous l'application d'une force tangente de cisaillement, appelée contrainte de cisaillement. La viscosité est sensible à la température : l'augmentation de celle-ci réduit la viscosité des fluides, leur écoulement devient plus rapide (Roudot, 2001, p. 32).

Dans le domaine de l'alimentation, il existe des fluides newtoniens et non newtoniens, répondant chacun à des comportements visqueux différents. Un fluide newtonien « s'écoule et se déforme, lorsqu'il est soumis à une force de cisaillement, à une vitesse qui croît en même temps que la force de cisaillement » (Roudot, 2001, p. 55). Ainsi, ces fluides présentent une relation de proportionnalité entre la contrainte de cisaillement et le taux de cisaillement qui est un gradient de vitesse. C'est le cas de l'eau et des huiles alimentaires par exemple. Les fluides non newtoniens peuvent présenter différents comportements. Certains ont besoin d'une contrainte de cisaillement minimale pour que l'écoulement ait lieu, il s'agit des fluides

plastiques (Roudot, 2001). Les plus courants sont les fluides pseudo-plastiques ou rhéofluidifiants, dont la courbe de viscosité est convexe. Les fluides obtenus grâce aux hydrocolloïdes ou aux épaississants comme ceux à base d'amidon ou de gommes utilisés pour la prise en charge de la dysphagie présentent ce comportement. Les fluides dilatants présentent un comportement rhéologique rare, ils s'épaississent à mesure que la contrainte est appliquée : c'est le cas de la Maïzena. Leur courbe de viscosité est concave (Figure 2A).

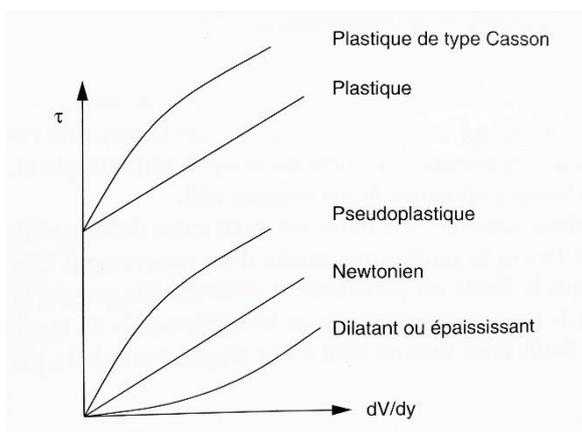


Figure 2A : Les courbes de viscosité des fluides non newtoniens. Reproduit à partir de « Rhéologie et analyse de texture des aliments » par Roudot, A.C., 2001, p. 56.

Avec τ = contrainte de cisaillement ; et dv/dy le taux de déformation.

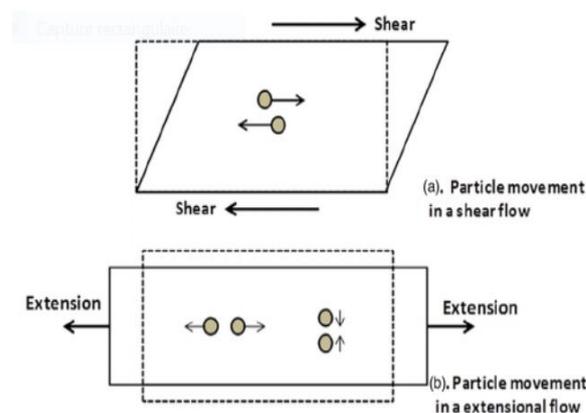


Figure 2 B : Mouvement des éléments fluides dans un tube avec écoulement en cisaillement (a) et écoulement en extension (b). Reproduit à partir de “Texture and texture assessment of thickened fluids and texture modified food for dysphagia management” par E. K. Hadde & Chen, 2021, *Journal of Texture Studies*, 52(1), p.6.

Le comportement rhéologique des fluides épaissis peut-être présenté selon deux types de déformation : la déformation en cisaillement et la déformation en extension (E. K. Hadde & Chen, 2020) (Figure 2B). La déformation en cisaillement est fréquemment mesurée en viscosité de cisaillement décrivant l'épaisseur du fluide, et particulièrement sa résistance à l'écoulement de cisaillement selon Rao (cité dans E. K. Hadde & Chen, 2020). La mesure de viscosité par cisaillement, à un taux de cisaillement de 50 s^{-1} , et à 25°C a été recommandée par le National Dysphagia Diet ou NDD (National Dysphagia Diet Task Force et al., 2002) comme une mesure précise des catégories d'épaisseur. Le NDD propose une catégorisation des textures selon quatre niveaux de viscosité : fin (0-50 mPa s), nectar (51-350 mPa s), miel (351-1750 mPa s) et pudding ($>1750 \text{ mPa s}$), Cichero et al. (2013). Dans le domaine de la dysphagie il est considéré qu'une viscosité de cisaillement élevée ralentit l'écoulement du bolus dans le pharynx (Steele et al., 2015). Ce ralentissement permet un meilleur contrôle du bolus pendant la phase orale de la déglutition et réduit le risque de pénétration-aspiration en laissant plus de temps aux structures pour protéger les voies respiratoires avant l'entrée du bolus dans la zone laryngée (Curran & Groher, 1990 ; Logemann et al., 2008). La littérature soutient que la rhéologie de cisaillement domine la déformation à l'intérieur de la cavité buccale, notamment entre la langue et le palais dur (E. K. Hadde & Chen, 2020). Celle-ci peut être mesurée avec un rhéomètre, un test d'étalement de ligne, le consistomètre de Botswick, ou le test du débit d'écoulement de la

seringue de l'International Dysphagia Diet Standardisation Initiative (IDDSI). La déformation extensionnelle est mesurée en viscosité extensionnelle (Pa) et décrit la résistance du fluide à l'étirement (E. K. Hadde & Chen, 2020). La déformation du bolus dans la région du pharynx serait dominée par l'extension du fait de la géométrie de l'anatomie pharyngée (E. K. Hadde & Chen, 2020). La viscosité d'extension du bolus est associée à la cohésion de l'aliment ou du fluide. Elle peut être mesurée avec un rhéomètre d'extension ou avec le test d'extrusion de la seringue.

.2.3. Un manque de consensus

Comme montré précédemment, la texture est un paramètre composé de différents attributs, à la fois sensoriels et mécaniques. Cela entraîne une utilisation de mots et de méthodologies de mesure en lien avec le domaine de la texture diverses.

.2.3.1. Les deux aspects de la texture : instrumental et sensoriel

Dans un article de 2007, Daniel et Roudot présentent les difficultés terminologiques rencontrées par le domaine de la texture alimentaire. Ces dernières proviennent de la nécessité de traduire à la fois l'aspect sensoriel et l'aspect rhéologique des aliments. Si le premier domaine relève de la mise en mots de l'analyse d'un produit par nos différents sens, la rhéologie est une science rattachée à la physique avec un vocabulaire qui lui est propre.

.2.3.2. Besoin d'un consensus international sur la terminologie des textures

L'utilisation thérapeutique de la modification de l'épaisseur des liquides et de la texture des aliments a pour but de réduire le risque chez les personnes dysphagiques de décès par étouffement ou par asphyxie (Cichero et al., 2013). En fonction du type de dysphagie présentée par le patient, différentes textures sont recommandées pour lui permettre un apport oral sûr de nutriments.

La terminologie internationale représente donc un enjeu de sécurité pour le patient : les mêmes mots doivent recouvrir les mêmes concepts à travers le monde pour que les recommandations soient appliquées de manière adaptée. Or, avant la publication de la terminologie normalisée de l'International Dysphagia Diet Standardisation Initiative (IDDSI), de nombreux pays comme l'Australie, l'Irlande, le Japon et le Royaume-Uni avaient déjà publié des descriptions nationales guidant l'utilisation des textures modifiées par les professionnels de santé et les patients dysphagiques. Ces guides ont conduit à l'élaboration de niveaux d'aliments à textures modifiées et d'épaississement des liquides variables en fonction des pays, en se basant sur des critères très différents. Par exemple, certains pays comme le Royaume-Uni et l'Australie assoient leur démarche d'élaboration des niveaux de textures sur la taille des particules présentes dans les aliments, alors que d'autres comme le Japon associent les informations texturales aux informations nutritionnelles (Cichero et al., 2013). De plus, la littérature montre que l'absence de nomenclature standardisée entrave l'évolution du domaine de la dysphagie (Cichero et al., 2013).

.2.4. Vers un consensus : l'International Dysphagia Diet Standardisation Initiative (IDDSI)

.2.4.1. Création d'une terminologie internationale (Figure 3)

L'IDDSI a été créée en 2013 par un groupe international de différents professionnels bénévoles ayant des connaissances dans le domaine de la dysphagie. L'objectif de l'IDDSI est la mise au point d'une terminologie normalisée pour décrire les aliments à texture modifiée ainsi que les liquides épaissis à destination des personnes atteintes de dysphagie et des professionnels qui les encadrent (Cichero et al., 2013). Cette démarche s'inscrit dans un objectif d'innovation dans la pratique orientée vers la sécurité du patient. Elle est fondée sur la prise en compte des preuves de la recherche, de la pratique clinique actuelle, et des commentaires des parties prenantes (Cichero et al., 2013). Tout d'abord, une évaluation des terminologies et des définitions associées a été menée. Ensuite, les preuves de l'utilisation des textures modifiées, leurs définitions, les différentes recommandations ont été analysées et synthétisées dans une revue systématique de la littérature. Dans un troisième temps, une fusion des données techniques, des résultats de la recherche et des besoins cliniques et culturels a été réalisée pour ébaucher une terminologie internationale. Enfin, d'autres enquêtes ont été construites pour permettre un retour de la part des experts au sujet des projets de normes internationales (Cichero et al., 2013).

En 2017, le comité IDDSI publie une classification internationale des aliments et des liquides utilisée auprès des patients dysphagiques. Celle-ci se présente sous la forme d'un continuum de 8 niveaux (0-7) où les boissons sont mesurées du niveau 0 au niveau 4 et les aliments du niveau 3 au niveau 7. Les niveaux sont identifiés par des chiffres, des couleurs, des définitions et des méthodes de mesure dont l'objectivité et la fiabilité ont été évaluées par les participants (Cichero et al., 2013).

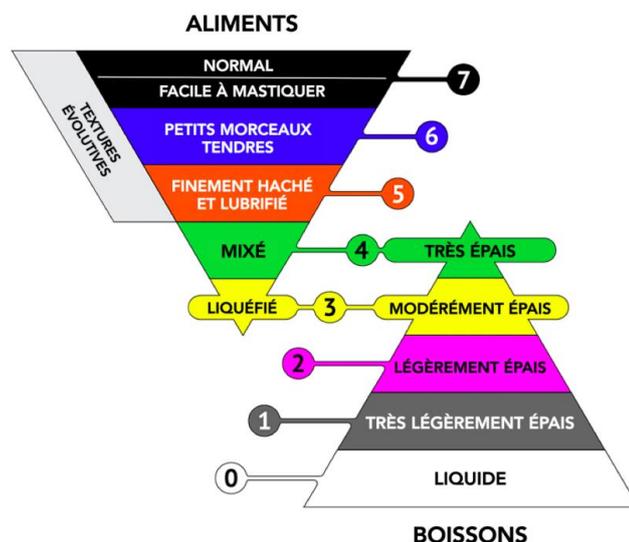


Figure 3 : Pyramide des niveaux de textures. © The International Dysphagia Diet Standardisation Initiative 2019 @ <https://iddsi.org/framework>. Licensed under the Creative Commons Attribution Sharealike 4.0 License <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode>.

.2.4.2. Mise à jour des définitions des textures du cadre IDDSI en 2020

Les liquides de niveau 0 sont caractérisés comme s'écoulant d'une façon similaire à celle de l'eau, avec un débit d'écoulement rapide. Ils peuvent être bus avec les instruments suivants : une tétine, une paille ou de tasse (Lam et al., 2019a).

Les liquides « très légèrement épais » (niveau 1) sont définis comme étant plus épais que l'eau. Ils nécessitent un effort supplémentaire pour être ingérés, en comparaison aux liquides du niveau 0. Ils s'écoulent à travers une paille, une seringue ou une tétine (Lam et al., 2019a).

Les liquides « légèrement épais » (niveau 2) sont ceux qui s'écoulent rapidement d'une cuillère, mais plus lentement que les boissons « minces ». Ils peuvent être sirotés. Avec une paille de diamètre standard, soit 5,3 millimètres de diamètre, un effort léger est requis pour aspirer jusqu'à la bouche une boisson épaissie à ce niveau (Lam et al., 2019a).

Les « aliments liquéfiés » ou les « liquides modérément épais » (niveau 3) peuvent être bus dans une tasse. L'individu doit fournir un effort modéré pour aspirer à travers une paille standard ou large (diamètre de 6,9 millimètres). La texture ne peut pas être disposée sur une assiette car elle ne conservera pas sa forme. Elle ne peut pas non plus être mangée à l'aide d'une fourchette car elle s'écoulera entre les dents de l'instrument. La cuillère peut en revanche être utilisée pour contenir la texture. Ces aliments ou liquides ne demandent pas de traitement oral ou de mastication, ils peuvent être déglutis directement. La texture doit être lisse, sans « morceaux (grumeaux, fibres, morceaux de coquille ou de peau, enveloppe, particules de cartilage ou d'os) » (Lam et al., 2019a).

Les aliments « mixés » ou les liquides « très épais » (niveau 4) sont caractérisés comme pouvant se manger à l'aide d'une cuillère ou d'une fourchette. Ils ne peuvent, ni être bus dans une tasse à cause de leur écoulement très lent, ni être aspirés avec une paille. La mastication du matériau n'est pas nécessaire pour pouvoir ingérer la texture mise en bouche. La texture peut être saupoudrée, déposée sur un autre aliment ou moulée grâce à la force de ses liaisons internes permettant une conservation de sa forme. L'effet de la gravité induit un mouvement très lent de la texture, mais ne permet pas de la verser. Elle est également décrite comme se détachant d'un bloc d'une cuillère inclinée et comme pouvant maintenir sa forme sur l'assiette. La texture est sans grumeau, non adhésive et aucun liquide ne doit se séparer de la partie solide de l'aliment sous l'application d'une déformation (Lam et al., 2019a).

Les aliments « hachés et lubrifiés » (niveau 5) peuvent être mis en bouche avec une cuillère, une fourchette, ou des baguettes. La texture peut prendre la forme que l'on souhaite lui donner. L'aliment est mou et humide, ne laisse pas échapper de liquide. De petits grumeaux peuvent être visibles dans l'aliment, mais doivent être faciles à broyer avec la pression appliquée par la langue (Lam et al., 2019a).

Les aliments « petits morceaux tendres » (niveau 6) peuvent être mis en bouche avec les mêmes instruments que ceux du niveau précédent. Ils sont définis comme pouvant être réduits en purée ou en miettes avec l'application de la pression de l'ustensile utilisé. La texture est souple et humide, mais sans qu'un liquide ne s'en écoule. La mastication est nécessaire pour pouvoir déglutir la texture.

Les aliments « faciles à mastiquer » (niveau 7) sont les aliments normaux, de tous les jours, caractérisés par des textures variées : les aliments peuvent être durs et croustillants ou naturellement mous. Ce niveau inclut les aliments difficiles à mâcher, fibreux, filandreux, croquants ou friables ainsi que les pépins, les graines et les aliments à « double consistance »

(Lam et al., 2019a). Ces définitions sont très utiles sur le plan clinique mais ne permettent pas au clinicien de comprendre les éléments théoriques qui sous-tendent les conseils qu'il dispense au patient dysphagique.

.2.4.3. Les méthodes cliniques de mesure pour évaluation des textures proposées par l'IDDSI

A chaque niveau de texture, correspond un test simple pouvant être pratiqué par les cliniciens et les patients. Pour les textures liquides et les aliments liquéfiés (niveaux 0, 1, 2 et 3), l'IDDSI propose un test d'écoulement par gravité à l'aide d'une seringue de 10 mL (Figure 4). La longueur de la seringue jusqu'à la graduation d'intérêt doit être de 61,5 mm. La démarche consiste à retirer le piston, couvrir l'embout de la seringue avec le doigt, et filtrer 10 mL. Ensuite, le chronomètre doit être lancé en même temps que l'on retire le doigt de l'embout afin de laisser le liquide s'écouler. S'il reste moins d'1 mL dans la seringue après 10 secondes d'écoulement, le liquide est de niveau 0. S'il reste entre 1 et 4 mL, alors la texture peut être classée de niveau 1. De la même manière, s'il reste entre 4 et 8 mL la texture sera classée de niveau 2 et de niveau 3 si après 10 secondes d'écoulement, la seringue contient entre 8 et 10 mL de matière. Passé 10 mL, il est conseillé d'utiliser le test d'inclinaison à la cuillère (niveau de texture 4).

Instructions pour le test d'écoulement à la seringue IDDSI

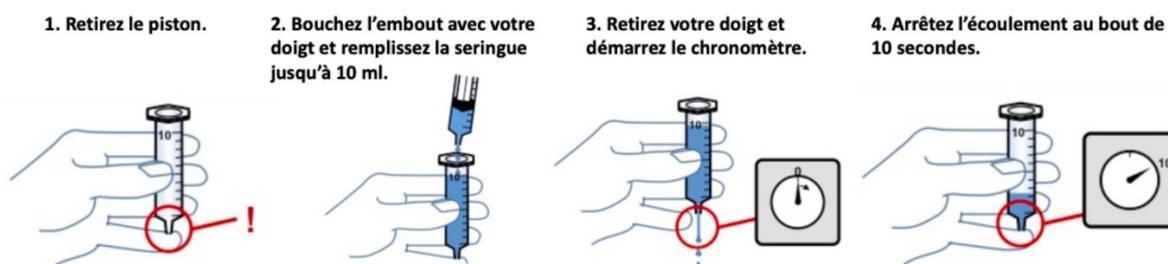


Figure 4 : Instructions pour le test d'écoulement à la seringue IDDSI © The International Dysphagia Diet Standardisation Initiative 2019 @ <https://iddsi.org/framework>. Licensed under the Creative Commons Attribution Sharealike 4.0 License <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode>.

D'autres tests sont utilisés pour analyser la texture des aliments dans le but de les classer en différents niveaux. Le test d'égouttement de la fourchette est utilisé pour les niveaux 3 à 5 (Lam et al., 2019b). Il évalue l'épaisseur et la cohésion des aliments à travers la manière dont ceux-ci se détachent des dents de l'ustensile. Pour chacun de ces trois niveaux, des résultats détaillés sont attendus : pour le niveau 3, la texture doit s'écouler lentement goutte à goutte des dents de la fourchette ; pour le niveau 4, la texture prélevée doit former un amas au-dessus des dents de la fourchette tenue à l'horizontal. Il est précisé qu'une petite quantité peut s'écouler en formant une courte tige sous les dents, mais qu'il ne doit pas être observé d'écoulement continu. Pour le niveau 5, le même amas doit être retrouvé sur l'ustensile quand la texture est prélevée. Il n'y a pas d'écoulement de texture ou extrêmement peu entre les dents de la fourchette, et il n'y a pas non plus de chute de texture (Lam et al., 2019b).

Le test d'écoulement de la cuillère est également proposé par l'IDDSI (Lam et al., 2019a). Le test consiste à prélever une cuillerée de texture et à incliner l'ustensile pour observer la façon dont le contenu s'en détache. L'adhésivité et la cohésion de l'aliment sont évaluées.

Pour le niveau 3, il est attendu que la texture tombe facilement de l'ustensile et ne colle pas. Pour le niveau 4, la texture doit être assez cohésive pour garder sa forme initiale sur la cuillère tenue à l'horizontal. L'entièreté de la cuillère doit tomber si l'ustensile est incliné. Une très légère aide du doigt peut être nécessaire pour faire tomber la texture, mais celle-ci devrait se détacher sans difficulté, en laissant une très petite quantité de texture sur la cuillère. La quantité résiduelle doit être assez minime pour que l'observateur puisse voir l'ustensile à travers. L'échantillon de texture ne doit pas être ferme ni collant, et il peut légèrement s'affaisser sur une surface plane (Lam et al., 2019b). Une texture de niveau 5 est caractérisée comme étant assez cohésive pour conserver sa structure dans la cuillère. Si l'ustensile est incliné ou secoué, le contenu doit se déverser aisément en laissant peu de résidus sur l'ustensile. La texture ne doit pas être adhésive et elle peut s'affaisser légèrement sur une surface plane (Lam et al., 2019b).

Le test de pression de la fourchette ou de la cuillère permet d'évaluer la dureté de la texture. Il peut être appliqué pour les niveaux 4, 5, 6 et 7. Une texture de niveau 4 est lisse, sans grumeaux, et l'application de la pression des dents de la fourchette fait apparaître des traces sur la surface de l'aliment et/ou il conserve une trace de l'empreinte de l'ustensile. L'application du test sur une texture de niveau 5 doit permettre d'observer une séparation facile des particules de l'aliment entre les dents de la fourchette. La texture peut être facilement écrasée avec une pression légère, sans faire blanchir l'ongle du pouce de la personne qui exerce la pression. Les textures de niveaux 5 et 6 peuvent être coupées ou brisées en petits morceaux si on applique la pression de la fourchette positionnée sur le côté. Quand un échantillon de 1,5 x 1,5 cm est pressé avec les dents de l'ustensile et que l'ongle du pouce de l'expérimentateur blanchit, la texture s'écrase, change de forme et ne revient pas à sa forme initiale lorsque l'on retire la pression. De même pour le niveau 7 comme montré ci-dessous en Figure 5 (Lam et al., 2019b).

Le test de pression de la cuillère est appliqué pour les niveaux 6 et 7, et doit montrer les mêmes résultats que ceux obtenus au test de pression de la fourchette aux niveaux 6 et 7 (Lam et al., 2019b).

Des tests au doigt ou aux baguettes sont également proposés pour certains niveaux de texture dans les cultures où les fourchettes sont peu utilisées (Lam et al., 2019b).



Figure 5 : Illustration du test de pression à la fourchette. Reproduit à partir de © The International Dysphagia Diet Standardisation Initiative 2019 @ <https://iddsi.org/framework>. Licensed under the Creative Commons Attribution Sharealike 4.0 License <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode>.

.2.4.4. Les limites persistantes justifiant un besoin théorique des professionnels en rhéologie des textures alimentaires

Tout d'abord, il résulte de l'analyse systématique de la littérature préalable au projet IDDSI que les données existantes sont insuffisantes pour élaborer la délimitation de limites

spécifiques de viscosité ou d'autres propriétés matérielles quantifiables liées aux résultats cliniques (Cichero et al., 2017). Cet article mentionne que les meilleures preuves en ce qui concerne le choix des consistances alimentaires dans la prise en charge de la dysphagie résultent d'un examen complet et minutieux de la déglutition du patient, et de sa tolérance à différents aliments. Ceci implique que l'orthophoniste doit mener une évaluation précise et exhaustive de la déglutition pour effectuer les meilleurs choix d'adaptation des textures et des liquides pour le patient. La littérature montre également qu'il est nécessaire de pouvoir expliciter le projet au patient afin d'obtenir une adhésion aux recommandations (McCurtin et al., 2017 ; Helldén et al., 2018). Pour que ce choix soit d'autant plus étayé, et à défaut de disposer pour le moment de données quantitatives précises au sujet des textures et des liquides adaptés, il s'avère nécessaire d'exposer quelles sont les propriétés mécaniques derrière les terminologies qui tendent à s'homogénéiser, et comment elles peuvent être mesurées de façon objective.

.3. Objectifs de la revue systématique

La revue systématique de la littérature réalisée a pour objectifs de répondre aux questions i) quel est l'état des connaissances actuelles sur la rhéologie des textures alimentaires et des liquides en lien avec le domaine de la dysphagie, ii) comment ces caractéristiques sont-elles mesurées de façon fiable aux niveaux physiologique et instrumental et enfin iii) quelles sont les limites existantes dans ce domaine de connaissance.

Matériels et méthodes

.1. Guide PRISMA de rédaction

La revue systématique de la littérature a été réalisée à l'aide du guide anglophone PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic reviews, 2020). Le guide permet de relever les étapes nécessaires à la rédaction et leur contenu, notamment au travers d'une liste de contrôle. Les 36 items qu'elle contient sont répartis en sept sections, et peuvent être consultés en Annexe 2.

.2. Bases de données utilisées

La recherche des articles a été effectuée sur trois bases de données informatisées :

- Lillocat (moteur de recherche documentaire de l'Université de Lille), consulté le 02 novembre 2021.
- Science direct (Scopus), consulté le 07 novembre 2021.
- Pubmed (base internationale de référence d'articles biomédicaux), consulté le 9 novembre 2021.

.3. Equation de recherche

Les mots-clefs ont été sélectionnés en anglais afin d'obtenir un nombre de résultats le plus conséquent possible. Les mots de l'équation de recherche couplent la notion de rhéologie à celle de dysphagie, et plus précisément de l'alimentation modifiée. L'équation est

volontairement large, de manière à couvrir les études instrumentales et les recherches cliniques. Aucune population n'a été spécifiée dans l'équation de recherche, car cela aurait probablement écarté des études instrumentales d'intérêt. La recherche sur les bases de données a été effectuée avec l'équation de recherche suivante : « bolus rheolog* modif* food* dysphagi* ».

.4. Les critères d'inclusion et d'exclusion de l'étude

Pour permettre d'obtenir un corpus d'articles répondant à la problématique ciblée, des critères d'inclusion et d'exclusion ont été appliqués afin de sélectionner les études.

.4.1. Les critères d'inclusion

- Un critère de langue : les articles rédigés en anglais uniquement ont été sélectionnés pour étude, afin de garantir leur compréhension et d'accroître le nombre de résultats d'articles revus par les pairs.
- Un critère de date : les articles rédigés entre 2011 et 2022 ont été sélectionnés pour garantir le caractère récent des informations recueillies.
- Un critère de pertinence clinique : un intérêt pour la clinique dans le domaine de la dysphagie devait être identifiable dans les études sélectionnées, pour que la revue systématique réalisée réponde au mieux aux besoins d'informations des cliniciens.
- Un critère de population : la revue systématique ne porte que sur la déglutition de l'adulte sain ou dysphagique. L'étude est également centrée exclusivement sur la mesure des textures alimentaires si une pertinence clinique était relevée dans l'article.
- Des critères de thèmes : les études devaient porter sur les aspects physiques, mécaniques et rhéologiques des textures. Les études portant sur l'impact physiologique de la modification des textures alimentaires ont également été sélectionnés pour étude.

.4.2. Les critères d'exclusion

- Un critère de date : exclusion des articles publiés avant 2011.
- Un critère de langue : exclusion des articles rédigés dans une langue autre que l'anglais.
- Exclusion des études comportant des méthodologies s'appuyant sur des modèles mathématiques et physiques complexes. Ce critère a été appliqué dans un souci de compréhension.
- Un critère de précision des mesures effectuées : exclusion des études où les outils de mesure n'étaient pas décrits, où la composition des épaississants utilisés n'était pas explicitée, où la méthode n'était pas clairement décrite.
- Un critère de qualité des définitions des textures a été appliqué afin d'écarter toute confusion sur ce qui était mesuré.
- Un critère de qualité des études selon la grille de recommandation de lecture de la Haute Autorité de Santé (HAS, 2013) pour les études cliniques : les études présentant des biais importants ont été exclues. Pour évaluer la qualité des études instrumentales, des éléments permettant de garantir leur fidélité et leur reproductibilité ont été recherchés dans le corps de texte.
- Un critère de thème : exclusion des études ciblant uniquement l'aspect sensoriel des textures sans mesures rhéologiques identifiables.

.5. Processus d'extraction des données

.5.1. Arbre décisionnel pour la sélection des articles

Après avoir établi une bibliographie selon les critères d'inclusion et d'exclusion, une sélection plus fine des articles a été réalisée à l'aide d'un arbre décisionnel. Le processus a été le suivant : « l'article semble-t-il traiter de notre sujet ? » - si oui, celui-ci était conservé pour analyse du résumé, si non, il était exclu. Ensuite, lors de la lecture du résumé, la question a été la suivante « l'article semble-t-il répondre aux critères d'inclusion établis et les résultats semblent-ils utiles à notre recherche ? » - si oui, l'article était conservé pour lecture intégrale, si non, il était rejeté. Enfin, la lecture des articles restants a été effectuée à l'aide d'une grille de lecture. La question essentielle pour décider de la sélection finale ou non de l'article a été la suivante « la méthodologie est-elle fiable et quelles sont les conclusions en regard de nos objectifs ? »

.5.2. La grille de lecture des articles

Les articles sélectionnés pour lecture intégrale ont été soumis à une grille de lecture, (Annexe 3). La grille avait pour objectifs de répertorier les éléments clefs pour l'analyse des résultats. Ainsi, la grille a permis de relever :

- Le niveau de preuve de l'article selon les recommandations de l'HAS.
- Le type d'étude dont il s'agissait, à savoir clinique et instrumentale ou instrumentale.
- Les informations importantes sur la méthodologie appliquée.
- Les résultats pertinents pour les questions soulevées dans la revue de littérature effectuée.
- Les conclusions principales de l'article.

.5.3. Tableau d'extraction des données

Après avoir soumis les articles sélectionnés à la grille de lecture, les données extraites ont été synthétisées dans des tableaux afin de faciliter la compréhension des différents aspects des études. Les méthodes de mesure sont présentées, ainsi que les participants aux études, les variables mesurées, et les résultats significatifs accompagnés des conclusions.

Résultats

Le diagramme de flux ci-dessous (Figure 6) présente le résultat de la sélection des études issues des bases de données informatisées choisies, avec application des critères explicités dans la méthodologie. L'équation de recherche a permis d'identifier 306 résultats, dont 111 ont été jugés pertinents après lecture du titre. La lecture des résumés des études a permis d'écarter 69 articles dont le résumé comportait des critères d'exclusion, ou ne concernait pas notre sujet. Deux ressources ne faisant pas partie de la sélection initiale et issues de bibliographies ont été ajoutées car leur contenu semblait cohérent avec nos objectifs de recherche. La méthodologie appliquée à la lecture intégrale des articles a permis l'obtention d'une sélection finale de onze articles.

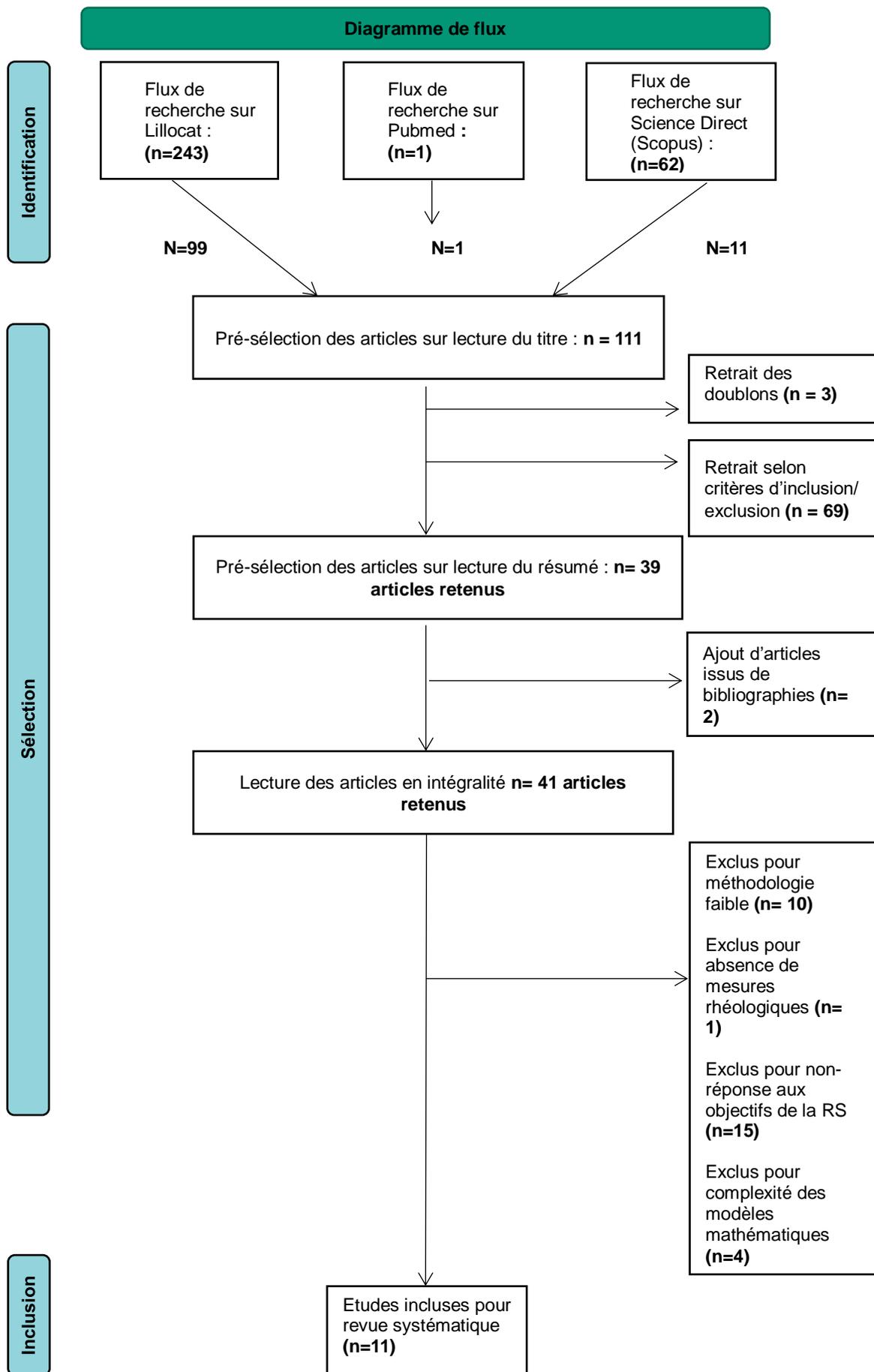


Figure 6 : Diagramme de flux présentant la sélection des articles.

Parmi ces études, quatre sont des études instrumentales (E. K. Hadde & Chen, 2019 ; Hadde, Nicholson et al., 2020 ; Kongjaroen et al., 2022 ; Talens et al., 2021) et sept sont des études à la fois cliniques incluant des participants, et instrumentales (E.K. Hadde, Cichero et al., 2019 ; Ishihara et al., 2011a ; Nyström et al., 2015 ; Ross et al., 2019 ; Sharma et al., 2017 ; Talens et al., 2021 ; Vickers et al., 2015). Une étude contenant uniquement des mesures physiologiques en fonction des niveaux 0 à 4 de l'IDDSI a été sélectionnée (Steele et al., 2019). Les résultats des études instrumentales et ceux des études cliniques et instrumentales seront présentés distinctement pour une meilleure compréhension du lecteur.

La majorité des études présente les mesures rhéologiques de liquides épaissis avec différents épaississants destinés au traitement de la dysphagie ou hydrocolloïdes (E. K. Hadde & Chen, 2019 ; E. K. Hadde, Nicholson et al., 2020 ; E. K. Hadde, Cichero et al., 2019 ; Kongjaroen et al., 2022 ; Nyström et al., 2015 ; Ross et al., 2019 ; Steele et al., 2019 ; Vickers et al., 2015). Une étude traite des mesures effectuées sur la purée de carotte (Sharma et al., 2017), une étude sur la crème de pois épaissie (Talens et al., 2021), un article rapporte les mesures réalisées sur un gel de polysaccharides (Ishihara et al., 2011a), (cf. Annexe 4).

.1. Résultats des études instrumentales : rhéologie des fluides

Les résultats des études instrumentales sont synthétisés dans un tableau présenté en Annexe 5. Seuls les résultats d'intérêt pour répondre à notre étude ont été sélectionnés.

.1.1. Etude de la qualité des études sélectionnées

Afin d'étudier la qualité des études instrumentales, le critère psychométrique de fidélité, soit la capacité d'un appareil à fournir un résultat unique dans des conditions similaires (ici, nombre de mesures effectuées, température) a été considéré. La présence de statistiques et de données chiffrées fournies par les auteurs a également été répertoriée dans le tableau ci-dessous.

Tableau 2. Niveau de preuve des études instrumentales.

Etudes	Nombre de répétition des mesures	Contrôle de la température	Données mesurées fournies	Niveau de preuve accordé / Grade (HAS)
E. K. Hadde & Chen al. (2019)	Mesures en triplicata	25°C	Oui	4.C
E. K. Hadde, Nicholson et al. (2020)	Mesures en triplicata	25°C	Oui	4.C
Talens et al. (2021)	Mesures en duplicata	25°C	Oui	4.C
Kongjaroen et al. (2022)	Mesures répliquées 10 fois pour la viscosité d'extension	25°C	Oui	4.C

.1.2. Les instruments de mesure des fluides épaissis

Dans le domaine de la rhéologie en lien avec la dysphagie, les rhéomètres (illustration en Annexe 7) sont les instruments utilisés pour effectuer les mesures sur le comportement d'écoulement des matériaux (E. K. Hadde & Chen, 2019 ; E. K. Hadde, Nicholson et al., 2020

; Talens et al., 2021 ; Kongjaroen et al., 2022). Dans les études mentionnées, des rhéomètres rotatifs ont permis des comparaisons de viscosités entre différents fluides à un taux de cisaillement de 50s⁻¹ (cf. Annexe 8).

Dans les études de Talens et al. (2021) et de Kongjaroen et al. (2022), les rhéomètres ont permis l'analyse de la viscoélasticité des matériaux, respectivement de la crème de pois épaissie et de l'eau épaissie à différentes concentrations, à l'aide de tests de cisaillement en oscillation. Les mouvements d'oscillation permettent, en contrôlant la fréquence d'oscillation (rad/s) ou l'amplitude de déformation (%) imposée au produit, d'obtenir les modules de perte (G'') et de stockage (G'), mesurés en Pascal comme illustré en Annexe 10. Ceux-ci sont des indices de la viscoélasticité du produit : lorsque la valeur G' est supérieure à la valeur G'' , l'échantillon est considéré comme ayant un comportement solide, la contribution élastique à la résistance à la déformation du matériau est importante. Ceci implique que quand une contrainte lui est appliquée, il va se déformer puis retrouver sa forme initiale. En revanche, lorsque G' est inférieur à G'' , le produit se comporte davantage comme un fluide, caractérisé par sa viscosité. Dans ce cas, le module visqueux contribue davantage à la résistance à la déformation du matériau, et lorsqu'il est déformé de façon importante, il ne retrouvera pas sa forme d'origine. L'angle de phase (δ , °) a également été utilisé pour indiquer si la résistance globale à la déformation du matériau est davantage due à la contribution élastique, dans ce cas l'angle est proche de 0° ; ou à la contribution visqueuse pour laquelle l'angle est proche de 90° (Talens et al., 2021). Les différentes valeurs de G' et G'' ont été obtenues en fonction de la contrainte appliquée. Les études analysaient la contrainte pour laquelle le matériau commençait à s'écouler, indiquant le « point d'écoulement » ($G'=G''$) du produit étudié (Talens et al., 2021 ; Kongjaroen et al., 2022). Le module complexe G^* a également été étudié comme indicateur de la rigidité du matériau dans l'étude de Talens et al. (2021).

Des rhéomètres spécifiques ont servi à mesurer la viscosité d'extension (CaBER). Cette mesure consistait à placer le fluide entre deux plaques (E. K. Hadde & Chen, 2019 ; Kongjaroen et al., 2022) ou pistons (E. K. Hadde, Nicholson et al., 2020) dont le diamètre est défini, ainsi que l'écart initial entre eux (mm). Le fluide était étiré selon une vitesse et jusqu'à un écart déterminé. Le diamètre du filament était mesuré ainsi que l'amincissement au milieu du filament provoqué par l'élongation du fluide (E. K. Hadde & Chen, 2019). L'évolution du diamètre du point central de l'échantillon permettait l'obtention de la viscosité d'extension (Pa). Cette mesure impliquait également un instrument de capture d'images (E. K. Hadde & Chen, 2019 ; E. K. Hadde, Nicholson et al., 2020 ; Kongjaroen et al., 2022), afin de montrer à quel moment et selon quelle contrainte le filament du fluide se rompait. La comparaison du moment de rupture des filaments permettait une mesure fiable et reproductible de la rupture du fluide au moment de son élongation dans le pharynx. Une illustration du phénomène de rupture est présentée en Annexe 9.

1.3. Résultats des mesures rhéologiques effectuées en lien avec la dysphagie

Les résultats des mesures effectuées dans les études instrumentales ont présenté des intérêts pour la clinique dans le cadre de la prise en charge de patients dysphagiques. Ces intérêts seront présentés selon la caractéristique rhéologique mesurée.

.1.3.1. La viscosité d'extension : un critère de cohésion

Trois études ont porté sur la mesure de la viscosité d'extension (E. K. Hadde & Chen, 2019 ; E. K. Hadde, Nicholson et al., 2020 ; Kongjaroen et al., 2022). Les résultats ont suggéré que les viscosités d'extension et les intervalles de temps avant la rupture des filaments des fluides différaient selon l'épaississant utilisé (E. K. Hadde & Chen, 2019 ; Kongjaroen et al., 2022) et la concentration de celui-ci (E. K. Hadde, Nicholson et al., 2020 ; Kongjaroen et al., 2022), même si la viscosité de cisaillement était identique à 50s⁻¹. Certains épaississants favorisaient une viscosité d'extension élevée, et cela se manifestait par une rupture plus tardive du filament (E. K. Hadde & Chen, 2019). Les épaississants à base de gomme de xanthane Resource ThickenUp Clear[®], Thick-It Advantage[®] et ThickenUp Clear[®] permettaient une rupture du filament la plus tardive dans les études sélectionnées, en comparaison aux épaississants à base d'amidon et aux autres gommes. De plus, E. K. Hadde, Nicholson et al. (2020) ont montré que la viscosité d'extension était également dépendante du milieu de dispersion de l'épaississant : les filaments d'eau épaissie étaient plus résistants à l'étirement que ceux du lait épaissi.

.1.3.2. Les propriétés viscoélastiques : comportement élastique ou visqueux du fluide

Les études présentant des mesures de la viscoélasticité des matériaux étaient celles de Talens et al. (2021) et de Kongjaroen et al. (2022). Celles-ci ont permis d'analyser les régions viscoélastiques linéaire (LVR) et non linéaire des échantillons. Ces régions renseignaient sur le comportement de l'échantillon en fonction de la contrainte appliquée : une déformation dans la LVR autorisait l'échantillon à revenir à sa forme initiale. En revanche, une déformation au-delà de cette région entraînait une déformation permanente. Les modules G' et G'' des échantillons, ainsi que leur point d'écoulement et leur dépendance à la contrainte appliquée ont également été étudiés. Une illustration de la LVR et des modules G' et G'' est disponible en Annexe 11.

Les tests de balayage fréquentiel ont montré que les liquides épaissis à base de gomme de xanthane avaient un comportement de gel ($G' > G''$) quelle que soit la contrainte appliquée, pour les niveaux IDDSI de 1 à 3 alors que ceux à base de gomme de guar et de tara présentaient un comportement visqueux à de faibles contraintes et un comportement plus solide à de fortes contraintes (Kongjaroen et al., 2022). Pour les crèmes de pois épaissies, il a été observé que certains hydrocolloïdes conféraient un comportement plus élastique que visqueux en fonction de la plage de viscosité étudiée. Ainsi, la carboxyméthylcellulose de sodium et la gomme de tara donnaient une faible élasticité sur les deux plages de viscosité (miel et pudding), alors que la gomme de gellane donnait une caractéristique aux crèmes épaissies proche de celle du niveau miel, et la gomme de konjac proche de celle du niveau pudding (Talens et al., 2021).

La mesure de l'angle de phase δ a montré des valeurs faibles pour les échantillons épaissis avec Nutavant[®], Nutilis[®], la carraghénane, les gommes de gellane et de xanthane, indiquant une élasticité moindre en comparaison aux autres échantillons (Talens et al., 2021). Le calcul de la tangente $\tan(\delta)$ (G'/G'') a montré des valeurs inférieures à 1 pour tous les échantillons.

Les résultats semblaient montrer que Nutavant[®] était l'épaississant permettant le point de rupture ($G' = G''$) de la structure interne le plus élevé pour tous les échantillons, mais des différences entre les épaississants selon les plages de viscosité ont également été observées pour cette caractéristique (Talens et al., 2021).

.2. Résultats des études rhéologiques et cliniques

Les résultats de ces études ont montré des relations entre les mesures effectuées sur les matériaux, le ressenti sensoriel des participants et des mesures physiologiques. Une synthèse des résultats est présentée sous forme de tableau en Annexe 6.

.2.1. Etude de la qualité des études sélectionnées

L'évaluation de la qualité de ces études est présentée dans le Tableau 3 ci-dessous.

Tableau 3 : Qualité des études instrumentales et cliniques.

Etude	Répétabilité des mesures rhéologiques	Type d'étude	Nombre de participants	Panel sensoriel expérimenté	Formation du panel sensoriel	Niveau de preuve accordé / Grade (HAS)
E. K. Hadde, Cichero et al. (2019)	Oui	Série de cas	8	/	/	4.C
Ishihara et al. (2011a)	Oui	Série de cas	9	Oui	Mention de formation, mais pas d'information	4.C
Nyström et al. (2015)	Oui	Etude comparative de groupes de faible puissance	12 participants dysphagiques 6 participants sains	Participants sains formés (norme ISO) Non formés	2 séances de formation /	4.C
Ross et al. (2019)	Oui	Série de cas	12	3 ans d'expérience	9 sessions d'entraînement de 2 heures, 3 tests de contrôle pour vérifier l'accord et la précision de leur évaluation	4.C
Sharma et al. (2017)	Oui	Série de cas	9	6/9 participants formés au moment du recrutement	Formation de 14 heures sur l'évaluation des 5 attributs texturaux choisis	4.C.
Steele et al. (2019)	Tests IDDSI pratiqués, reproductibles	Série de cas	38	/	/	4.C.
Vickers et al. (2015)	Oui	Série de cas	24	Non renseigné	1 session d'entraînement pour le lexique, 1 formation à une méthode standardisée d'évaluation	4.C.

Au total, 118 participants ont été comptabilisés dans les études cliniques, dont 106 étaient des participants sains et douze étaient des patients dysphagiques.

.2.2. Les méthodes de mesure rhéologiques

Des tests similaires à ceux utilisés dans les études instrumentales ont été pratiqués afin d'évaluer les viscosités de cisaillement et d'extension (E. K. Hadde, Cichero et al., 2019 ; Nyström et al., 2015) ainsi que les propriétés viscoélastiques des matériaux testés (Ishihara et al., 2011a ; Sharma et al., 2017). L'analyse de profil de la texture (TPA) a également été utilisée pour mimer la mastication humaine en comprimant à deux reprises l'échantillon (Sharma et al., 2017). Elle permettait la quantification des attributs texturaux en fonction de la force appliquée.

.2.3. Liens entre les paramètres rhéologiques et les paramètres sensoriels

Certaines des études cliniques effectuaient des corrélations entre la perception sensorielle des attributs texturaux et la rhéologie des fluides épaissis testés, en contrôlant leur viscosité (Ross et al., 2019 ; Sharma et al., 2017 ; Vickers et al., 2015), leurs propriétés viscoélastiques (Ishihara et al., 2011a), ou leur nature rhéologique (Nyström et al., 2015). Certains épaississants ont obtenu des résultats cohérents entre plusieurs études au niveau sensoriel : les fluides épaissis avec de la gomme étaient jugés glissants, cohésifs, peu épais en bouche alors que ceux à base d'amidon avaient une cohésion faible et étaient caractérisés comme étant plus adhésifs (Ross et al., 2019 ; Sharma et al., 2017). Cependant, la gomme de xanthane provoquait une sensation d'enrobage buccal huileux et d'adhésivité dans l'étude de Sharma et al. (2017), alors que l'analyse instrumentale au TPA la caractérisait comme peu adhésive.

Les résultats obtenus ont montré qu'en augmentant la concentration d'épaississant, certains attributs sensoriels étaient renforcés, et ce différemment en fonction des épaississants choisis (Ross et al., 2019). De plus, certains attributs sensoriels étaient corrélés entre eux (Vickers et al., 2015), impliquant qu'ils évoluaient de façon similaire lorsque qu'augmentait la concentration d'épaississant.

Les outils d'évaluation utilisés étaient des échelles d'intensité de la perception des attributs texturaux permettant l'obtention d'une description sensorielle. En revanche, le nombre de descripteurs et de bornes choisis pour graduer l'intensité perçue étaient hétérogènes entre les études. En effet, les bornes d'évaluation variaient de 0 à 5 pour les études de Nyström et al. (2015) et Ishihara et al. (2011a), à 0 à 100 pour l'étude de Ross et al. (2019) et pour le groupe de patients sains de Nyström et al. (2015). Les échantillons évalués par les participants étaient codés par trois chiffres aléatoires, de manière à ce que la consistance ne puisse pas être identifiée.

Le tableau de résultats montre les attributs perçus en fonction des épaississants utilisés ou de la nature rhéologique du fluide évalué (Nyström et al., 2015). Un résultat d'intérêt est que seuls les sujets dysphagiques ont pu juger de la facilité de déglutition du bolus, en comparaison aux sujets sains (Ishihara et al., 2011a ; Nyström et al., 2015).

.2.4. Liens entre les paramètres rhéologiques et les mesures fonctionnelles

Les études cliniques sélectionnées exploraient également les effets de la rhéologie des matériaux sur les réponses fonctionnelles observables lors de la déglutition du bolus (E. K. Hadde, Cichero et al., 2019 ; Ishihara et al., 2011a ; Nyström et al., 2015 ; Steele et al., 2019 ; Vickers et al., 2015). Ainsi, la vidéofluoroscopie était l'exploration fonctionnelle majoritairement utilisée et permettant l'obtention du plus d'informations sur la déglutition des

boli des sujets (E. K. Hadde, Cichero et al., 2019 ; Nyström et al., 2015 ; Steele et al., 2019). Toutes les études ont porté sur des sujets sains exclusivement, sauf celle de Nyström et al. (2015) où le temps de transit oral et le temps de transit pharyngé ont été étudiés chez des participants dysphagiques. Une étude (Ishihara et al., 2011a) présentait l'évolution du temps de traitement oral en fonction de la concentration d'épaississant agissant sur la force du gel de polysaccharides à l'aide de l'électromyographie (EMG). L'activité EMG était alors fortement corrélée à l'attribut sensoriel de dureté.

Discussion

Ce mémoire a permis de réaliser une revue systématique de la littérature sur la rhéologie des fluides et des aliments destinés à des sujets sains ou des patients dysphagiques. Notre objectif était de réaliser un état des lieux des connaissances disponibles dans ce domaine afin de fournir aux professionnels un corpus permettant d'étayer leur choix et leur argumentaire dans ce champ d'application. Pour répondre à cet objectif, les données de la littérature ont été analysées afin d'étudier les connaissances actuelles sur la rhéologie, mais également les données sur les caractéristiques rhéologiques mesurées de façon fiable et reproductible, et enfin les limites existantes dans ce domaine de connaissance.

Onze articles ont été sélectionnés pour étude après avoir été soumis aux critères d'inclusion et d'exclusion et à la grille de lecture. Toutes les études sélectionnées pour revue étaient des études expérimentales basées sur des séries de cas, prospectives, avec de faibles effectifs pour les études cliniques. Malgré l'absence d'articles de haut niveau de preuve scientifique, de nombreux résultats ont pu être extraits du corpus afin de fournir des réponses aux objectifs de notre travail.

.1. Discussion des résultats à la lumière des objectifs

.1.1. Quel est l'état des connaissances actuelles sur la rhéologie des textures ?

Les résultats ont montré des études hétérogènes s'intéressant à différentes mesures rhéologiques : les viscosités d'extension et de cisaillement, les propriétés viscoélastiques comme le module de stockage G' , le module de perte G'' , le point d'écoulement, la tangente Tan, l'angle de phase. Ces nombreuses valeurs chiffrées ont permis de quantifier les paramètres qui constituaient la texture. Cela correspond à ce qui était attendu selon la définition de la texture donnée par Szczesniak (2002) : la texture ne pouvant être décrite selon un seul attribut, plusieurs mesures sont nécessaires afin d'en appréhender la nature complexe.

Les différents éléments recueillis dans notre synthèse nous ont permis d'appréhender quelles seraient les caractéristiques optimales d'un fluide / aliment au niveau rhéologique pour un patient dysphagique. Les résultats ont montré que tous les fluides, purées et crèmes étudiés s'amincissaient par cisaillement en fonction des contraintes appliquées, comme illustré en Annexe 8. Les matériaux présentaient un comportement non-newtonien et donc des caractéristiques à la fois élastiques et visqueuses en fonction de la contrainte appliquée. Cela est souhaitable pour la thérapeutique de la dysphagie (O'Leary et al., 2010 ; Meng et al., 2005) puisqu'à l'inverse, un fluide newtonien présente un écoulement plus rapide associé à un risque de pénétration des voies aériennes. Cela est en accord avec l'étude de Nishinari et al. (2011) selon laquelle le risque d'aspiration est réduit si un fluide présente une viscosité élevée à des

taux de cisaillement faibles, autrement-dit un profil non-newtonien.

Un bolus avec une contribution élastique semble souhaitable, mais un module élastique (G') trop élevé pourrait nuire à la facilité de déglutition (Hayakawa et al., 2014) car le retour du bolus à sa forme initiale malgré l'application des déformations peut entraîner une fatigue musculaire, notamment au niveau de la pression linguale. Une étude menée par Ishihara et al. (2011b) a montré qu'une contribution intense du module élastique entraînait une hétérogénéité structurelle rendant le matériau difficile à avaler.

De plus, un bolus optimal aurait un point d'écoulement ou de rupture ($G'=G''$) peu élevé afin que des contraintes faibles ou un temps restreint d'application de la contrainte soit nécessaire à sa déformation et à son passage de solide à visqueux.

Une cohésion élevée semble particulièrement souhaitable pour les fluides et les aliments à destination des personnes dysphagiques : plus la viscosité d'extension est élevée et la rupture du filament tardive, plus le bolus est cohésif, c'est-à-dire peu enclin à se fracturer au cours du processus de déglutition. Le bolus cohésif se déplace dans le pharynx et jusqu'à l'œsophage sans former de gouttelettes ou de résidus. Cela présente un intérêt clinique, notamment pour un patient avec une déglutition peu efficace entraînant la formation de stases valléculaires, ou présentant un retard du réflexe de protection des voies aériennes. Si le bolus est peu cohésif, le patient présentera un risque accru de fausse route secondaire par inhalation des stases lors de la reprise inspiratoire, ou de fausse route directe si des fragments pénètrent les voies aériennes avant que celles-ci ne se soient fermées. Nous pouvons supposer qu'une cohésion élevée serait souhaitable pour les fluides à faible viscosité afin d'éviter les fausses routes secondaires (Molfenter & Steele, 2013). A contrario, une cohésion moindre serait à favoriser pour les fluides à haute viscosité afin d'éviter la fatigue musculaire provoquée par un besoin de déglutitions multiples et un temps buccal allongé en rapport avec une difficulté de déformation. Les épaississants permettant de favoriser cela semblent être ceux à base de gomme, notamment de gomme de xanthane.

Enfin, nous notons que la qualité d'un aliment ou d'un fluide devrait être évaluée en analysant toutes les mesures : un aliment avec un module G' élevé, donc avec une contribution élastique importante est souhaitable, mais si l'on ajoute un point d'écoulement peu élevé, l'aliment est susceptible de se fracturer et donc d'être peu cohésif, entraînant des risques pour la déglutition comme évoqué précédemment. La valeur de la tangente $\tan(G''/G')$ est décrite dans la littérature comme étant un prédicteur d'une déglutition sûre pour les patients dysphagiques (Ishihara et al., 2011b). Les auteurs montrent qu'une valeur \tan comprise entre 0,1 et 1 combinée à une valeur G'' de même ordre de grandeur ou légèrement inférieure à G' serait un indicateur de bolus sécurisant.

.1.2. Comment les textures sont-elles mesurées de manière fiable ?

Les méthodes employées pour mesurer la rhéologie des textures semblent relever davantage du domaine de la recherche que de celui de la clinique. En effet, la plupart des mesures sont réalisées avec des rhéomètres, instruments coûteux et dont l'utilisation nécessite une formation spécifique en mécanique des fluides et des milieux déformables. Les tests rhéologiques sont cependant reproductibles, précis, et nécessaires pour faire avancer la recherche dans le domaine de l'alimentation et de la déglutition. Dans un souci de comparabilité des études entre elles, le choix d'une même viscosité à un taux de cisaillement défini, souvent $50s^{-1}$ est observé. Cependant, Steele et al. (2015) encourageaient à utiliser plusieurs taux de

cisaillement pour comparer les fluides entre eux : 10s-1, 30s-1, 50s-1 et 100s-1. Si les comparaisons ne sont pas systématiquement effectuées à ces taux-là, les études sélectionnées évaluent le comportement d'écoulement des boli sur une grande plage de taux de cisaillement, ce qui est souhaitable au vu des recommandations issues de la littérature.

L'analyse descriptive sensorielle utilisée dans plusieurs études offre une évaluation dynamique des changements des propriétés physiques de la texture lorsque celle-ci est manipulée en bouche. En effet, Bourne (2002, pp. 257-280) explique que même un outil perfectionné ne peut reproduire la physiologie humaine lors de l'ingestion d'un aliment, ni le comportement de celui-ci lorsqu'il est soumis aux déformations dans la cavité orale. Selon van Vliet (2002), le test instrumental seul ne fournit que peu d'informations sur la texture et doit être couplé à une description sensorielle. Ainsi, les études effectuant des corrélations entre les deux types de mesure seraient d'importance pour offrir une vision complète de la dégradation de la structure pendant le traitement oral et le processus de déglutition.

Les corrélations effectuées entre les mesures rhéologiques et les mesures sensorielles permettent une vision plus complète de la texture. En effet, les résultats de l'étude de Vickers et al. (2015) suggèrent que plus les fluides s'amincissent par cisaillement, moins ils présentent de sensations de collage et d'adhésivité, et que peu de déglutitions sont nécessaires pour nettoyer le palais.

La vidéofluoroscopie permet l'étude dynamique du processus de déglutition du sujet en mélangeant le matériau à un produit de contraste afin que le bolus soit visible à l'imagerie. Elle a permis d'objectiver des différences physiologiques entre plusieurs consistances, et de comparer les effets de différents épaississants sur l'écoulement des fluides. Ainsi, l'épaississement des textures permet un temps de réaction à la déglutition plus long ainsi qu'une fermeture plus rapide du vestibule laryngé, et une contraction pharyngée maximale plus précoce (Steele et al., 2019) chez les adultes sains. Les résultats concernant la durée de transit pharyngé sont hétérogènes dans les études de Nyström et al. (2015) et de E. K. Hadde, Cichero et al. (2019), mais cela est probablement dû au fait que l'une évalue l'effet de différents épaississants alors que l'autre évalue l'effet de la nature rhéologique du fluide sur le comportement de déglutition.

1.3. Quelles sont les limites existantes dans ce domaine de connaissance ?

La limite principale identifiée dans le domaine liant la rhéologie à la dysphagie semble être un manque d'études cliniques pour obtenir des données robustes sur le plan scientifique. En effet, plusieurs des articles sélectionnés précisent que leurs résultats seraient à corroborer par des études sur des patients dysphagiques (E. K. Hadde, Cichero et al., 2019 ; Kongjaroen et al., 2022). En outre, peu d'articles de haut niveau de preuve scientifique ont été identifiés pendant le processus de sélection.

Notre problématique portait sur le domaine de la dysphagie, et seul un article étudiant la déglutition de patients dysphagiques (Nyström et al., 2015) a été identifié par notre processus de sélection. Les auteurs de l'étude déplorent la variabilité des troubles de leurs participants pour obtenir des résultats plus robustes. Davantage d'études sur des sujets atteints de trouble de la déglutition seraient souhaitables afin de mettre en lien leurs performances fonctionnelles et leurs perceptions sensorielles avec les mesures rhéologiques.

Un questionnement d'importance est porté sur la viscosité de cisaillement dans la littérature : le taux de cisaillement choisi pour comparaison de la viscosité des fluides est 50s-

1 mais aucune justification scientifique à cela n'est développée (Ong et al., 2018). Cette norme ne peut rendre compte des changements mécaniques produits lors des différentes phases de la déglutition. Actuellement, la littérature rapporte des taux de cisaillement lors du processus de déglutition variant entre 1 et 1000 s⁻¹ selon Brito-de la Fuente et al. (2017) cité dans Ross et al. (2019) : ils s'étendraient donc largement au-dessus de 50 s⁻¹. Steele et al. (2015) encouragent les cliniciens à considérer les comportements d'écoulement à des taux de cisaillement faibles (sous 50s⁻¹) car les patients dysphagiques présentent souvent un déficit des forces musculaires permettant de générer les taux de cisaillement. Ces questionnements scientifiques sur les taux de cisaillement relatifs à la déglutition se formulent également à travers des études visant à découvrir si des caractéristiques rhéologiques seraient à atteindre pour former un bolus « prêt à être avalé », permettant d'identifier un seuil universel de déglutition (Loret et al., 2011 ; Maeda et al., 2020 ; Peyron et al., 2011), mais les résultats des auteurs suggèrent que le seuil serait plutôt individuel.

Nos résultats révèlent que les attributs texturaux changent au niveau perceptif selon la plage de viscosité étudiée : cela implique que l'analyse sensorielle est dépendante des propriétés mécaniques/rhéologiques des matériaux, au moins en partie. Cela rend difficile la généralisation des connaissances : un produit réagit d'une certaine façon à la contrainte sur une plage de viscosité donnée, puis différemment sur une autre, et nous n'avons pas obtenu de données suffisantes pour obtenir des « règles générales » qui seraient un guide dans la gestion des produits pour les patients dysphagiques.

Le rôle de la salive sur les caractéristiques rhéologiques des aliments et des fluides épais n'a pas été exploré dans notre étude. Cependant, le caractère « glissant » défini comme un paramètre d'importance pour les aliments à destination des dysphagiques (Steele et al., 2015) devrait dépendre dans une certaine mesure de la capacité du bolus à devenir uniforme une fois mélangé à la salive. L'étude de la friction des matériaux sur des surfaces, notamment de la lubrification, relève de la tribologie et n'a donc pas été spécifiquement étudiée dans notre travail.

.2. Discussion des résultats à la lumière de l'EBP

.2.1. Intervention sur les textures : une utilité clinique empirique

L'«Evidence Based Practice» ou la pratique fondée sur les preuves est le modèle sur lequel s'appuie la mise en soins du patient. Le praticien doit fournir les possibilités thérapeutiques issues des meilleures preuves scientifiques disponibles (Mullen & Streiner, 2004, p. 114), tout en s'adaptant aux préférences et aux valeurs du soigné, et en s'appuyant sur son expertise clinique, cf. Annexe 12. Les revues de la littérature effectuées par Steele et al. (2015) et Newman et al. (2016) ont mis en exergue un manque de données disponibles sur la rhéologie des textures. Le travail réalisé a tenté de répondre à ce manque, et met en lumière les effets de l'action du clinicien, sur la texture et par conséquent sur la physiologie et la perception sensorielle du sujet lorsque la texture est modifiée. Ainsi, nous avons montré qu'incrémenter la concentration d'épaississant augmentait simultanément la viscosité de cisaillement (épaisseur) et la viscosité d'extension (cohésion) du bolus, selon l'épaississant choisi et le milieu de dispersion. Aucune indication concernant des mesures précises à atteindre ne sont actuellement disponibles. Le clinicien doit veiller à être dans la zone d'intérêt pour son patient en incrémentant l'épaisseur des textures, et en contrôlant leurs caractéristiques rhéologiques, à la

fois pour éviter les fausses routes directes relatives à une viscosité trop basse et les résidus créés en cas de viscosité trop élevée, pouvant mener à des fausses routes secondaires par inhalation. Ces résultats montrent qu'au vu de l'état actuel des connaissances, l'expertise du clinicien relative à ses savoirs et son expérience est d'une importance majeure.

.2.2. La place de l'EBP dans la thérapeutique de la dysphagie

La littérature montre un manque d'observance des traitements en lien avec l'adaptation des textures alimentaires pour le traitement de la dysphagie (McCurtin et al., 2018). La revue systématique effectuée propose des clefs aux cliniciens pour prendre des décisions avisées en fonction des différents types d'épaississants existants et des préférences des patients (cf. tableau récapitulatif en Annexe 13). Ainsi, si l'amidon est jugé moins sécurisant du fait d'une cohésion insuffisante, il est aussi caractérisé dans la littérature comme ayant un goût déplaisant pour les patients, présentant une texture granuleuse (Matta et al., 2006), susceptible de laisser des résidus pharyngés (Villardel et al., 2016). La gomme de xanthane est caractérisée comme plus sûre du fait de la résistance de sa structure à l'hydrolyse de l'amylase de la salive en comparaison aux épaississants à base d'amidon ou de gommes et d'amidon (Hanson et al., 2012). Les molécules présentes dans la gomme de xanthane et les hydrocolloïdes forment des réseaux stabilisant la viscosité dans le temps, alors que l'amidon est dégradé au cours de la phase orale, entraînant une baisse de la viscosité.

Il apparaît évident que les méthodes de mesure issues du domaine de la rhéologie ne sont pas utilisables en clinique. Les techniques formulées par l'IDDSI sont récentes, et ont été construites dans une démarche de pratique basée sur les données probantes. La revue systématique de Côté et al. (2021) analyse les qualités métrologiques des mesures proposées par l'IDDSI. Les résultats pointent un manque d'études explorant la fiabilité des tests élaborés, ainsi que peu d'informations sur l'efficacité de la mise en place de la terminologie internationale et des tests recommandés sur la qualité de vie des patients, et sur le risque de fausse route. Nous souhaitons rappeler que l'IDDSI est une démarche encore nouvelle, dont le recul est insuffisant pour juger des effets de sa mise en pratique. Au sein de notre travail, plusieurs études ont réalisé les tests proposés par l'IDDSI dans leur méthodologie (E. K. Hadde & Chen, 2019 ; E. K. Hadde, Cichero et al., 2019 ; Kongjaroen et al., 2022 ; Steele et al., 2019). Les autres travaux se réfèrent aux normes du NDD (National Dysphagia Diet Task Force et al., 2002). Au cours de notre processus de sélection, nous avons identifié de nombreuses études mentionnant l'IDDSI. Par exemple, l'étude de Stading (2021) avait pour objectif de caractériser les propriétés d'un ensemble d'aliments à texture modifiée selon les normes suédoises. Néanmoins, le système national utilisé était comparé à celui proposé par l'IDDSI, témoignant d'une intégration de ces nouvelles normes. De Villiers et al. (2019) ont essayé de déterminer comment les techniques de modification des textures alimentaires pouvaient être adaptées aux pays en développement, notamment en Afrique. Les auteurs ont eu pour objectif de créer des textures de niveau 2 et 4 selon l'IDDSI avec un aliment nutritif spécialisé. Cela montre que l'application des tests de mesure récents basés sur la pratique fondée sur les preuves tend à s'étendre.

.3. Les limites de notre étude

Notre revue systématique présente des limites, majoritairement liées à la nature expérimentale des études sélectionnées. Des méthodologies diverses menant à des résultats

hétérogènes sont observés, et seront discutés dans cette partie. Notre travail a également permis de dégager de futures pistes de recherches, celles-ci seront présentées.

.3.1. Les mesures sensorielles de la texture

La qualité de la description sensorielle des textures dépend des évaluateurs sélectionnés pour le produit étudié, et de la précision sémantique de ces termes (Roudot, 2001, p. 108). Cette description est présente dans toutes les études concernées par l'analyse sensorielle, mais l'entraînement des sujets est peu détaillé. De plus, les panélistes ne sont pas toujours expérimentés avant leur sélection, alors que des recherches antérieures dans une thèse de maîtrise (Thomas, 2016) mettent en avant l'importance clef de l'entraînement du panel, notamment à la description sensorielle en tant que telle, mais également à la pratique des échelles utilisées. L'étude de Sharma et al. (2017) montre que la purée épaissie avec de la gomme de xanthane serait plus adhésive que celles épaissies avec d'autres épaississants, ce qui va à l'encontre des résultats obtenus dans les autres études et dans la littérature en général (Methacanon et al., 2021). Les auteurs rapportent que leur panel sensoriel aurait bénéficié d'entraînement supplémentaire pour obtenir des données moins dispersées. Cela corrobore le fait que la fiabilité de l'évaluation sensorielle dépend de l'entraînement du panel au jugement des différents attributs sensoriels.

Le panel sensoriel de l'étude de Ross et al. (2019) a été formé à imiter la manipulation orale d'un sujet dysphagique avec une mobilité linguale réduite. Cette méthode non-invasive a permis d'interpréter certains attributs texturaux d'une manière proche de celle des patients dysphagiques, en demandant au panel de manipuler oralement le bolus de manière inhabituelle pour eux.

Strigler et al. (2009) cité dans Thomas (2016) rappelle également que le nombre de panélistes recommandés afin d'établir un profil sensoriel est de quinze participants minimum, nombre atteint par une seule des études sélectionnées pour la revue (Vickers et al., 2015).

Les évaluations sensorielles ne sont pas réalisées à un taux de cisaillement constant, comme rapporté dans l'étude de Shama et Sherman (1973). Les auteurs expliquent que le sujet adapte le taux de cisaillement dans sa cavité buccale à l'aliment consommé. Cela implique que des taux de cisaillement précis pourraient être indiqués pour évaluer spécifiquement différents attributs texturaux, comme rapportés dans l'étude de Ross et al. (2019) où de fortes corrélations sont effectuées entre la perception de la cohésion à 10s-1, de l'effort de propulsion à 50s-1 et du caractère collant à 100s-1. La fiabilité de la prédiction d'une perception sensorielle pour évaluer un paramètre dépendrait donc du taux de cisaillement choisi dans la mesure instrumentale.

Enfin, les sujets dysphagiques sont les seuls dans notre corpus à avoir pu quantifier la facilité de déglutition (Ishihara et al., 2011a ; Nyström et al., 2015). Nous supposons que la perte de l'aspect automatique du processus de déglutition a permis d'accroître la sensibilité à ce paramètre en comparaison aux participants sains, dont le mécanisme est automatique et inconscient. Des données supplémentaires sur la perception sensorielle des textures des patients seraient importantes pour l'élaboration de produits qui leur sont destinés.

.3.2. Les mesures fonctionnelles de la déglutition des textures

L'étude d'Ishihara et al. (2011a) a rapporté un temps oral plus long avec l'incrémentaire de la concentration d'épaississant en mesurant l'activité de la musculature supra hyoïdienne.

Seule une étude a présenté des mesures fonctionnelles de la déglutition des participants dysphagiques (Nyström et al., 2015) grâce à la vidéofluoroscopie de la déglutition. Celle-ci a montré un temps de transit oral (OTT) plus long chez les participants dysphagiques que chez les participants sains, phénomène corroboré dans la littérature notamment au sujet de la dysphagie du sujet âgé (Lesourd, 2006), ainsi qu'en cas d'altération du péristaltisme pharyngé ou de la phase volontaire de la déglutition. Cet aspect est primordial à prendre en compte pour les mesures texturales, notamment des fluides que l'on préfère servir froids (entre 10 et 20 °C) afin de favoriser le réflexe de déglutition (Watando et al., 2004). Effectivement, la viscosité diminue avec l'augmentation de la température. Roudot (2001) indique une variation de la viscosité de 2% par degré Celsius, ce qui n'est pas négligeable. Cela pourrait entraîner une fluidification trop importante de l'aliment ou du liquide proposé du fait du temps allongé de traitement dans la cavité buccale, où la température moyenne est de $36,8 \pm 0,4^\circ\text{C}$ (Mari et al., 1997). Ainsi, la durée du temps oral serait importante à évaluer afin de prendre une décision sur le niveau d'épaississement à adopter pour ce patient.

Un fluide élastique serait plus sécurisant à avaler selon Nyström et al. (2015), mais cela reste non significatif, probablement du fait de la diversité des troubles de la déglutition présentés par les participants de l'étude. Ce résultat est à nuancer au regard d'autres études (Ishihara et al., 2011b) montrant qu'un fluide trop élastique serait difficile à déglutir.

Deux études utilisent le baryum comme produit radio-opaque (E. K. Hadde, Cichero et al., 2019 ; Steele et al., 2019) et une étude utilise l'iode afin d'obtenir des images lors de la vidéofluoroscopie de déglutition (Nyström et al., 2015). Cependant, l'influence du produit de contraste dans la solution ingérée par le participant devrait être une préoccupation. En effet, il est prouvé que le baryum augmente l'épaisseur, la densité et la limite d'élasticité (Cichero et al., 2000) du matériau étudié, donc change sa rhéologie. De plus, la viscosité des fluides diagnostiques radio-opaques est mesurée à 30s^{-1} (Steele et al., 2015), alors que celle des produits non diagnostiques est mesurée généralement à 50s^{-1} . Cela interroge sur l'adéquation entre ce qui est évalué et les solutions apportées par la suite, basées sur des études mesurant la viscosité à 50s^{-1} .

.3.3. L'influence du volume

Différents volumes ont été utilisés pour évaluer l'effet de la consistance du matériau sur la physiologie du participant (E. K. Hadde, Cichero et al., 2019 ; Steele et al., 2019) et sur sa perception sensorielle (Ishihara et al., 2011a ; Ross et al., 2019 ; Sharma et al., 2017 ; Vickers et al., 2015). Il est probable que ces variations aient entraîné une hétérogénéité des résultats en impactant les réponses physiologiques et les perceptions des participants. Ross et al. (2019) expliquent que d'autres études seront nécessaires pour déterminer les changements de perception sensorielle et de comportement d'amincissement des fluides épaissis pendant la déglutition sur des échantillons de volumes plus importants. Une gorgée confortable serait de 10 à 14 mL selon des études antérieures (Bennett et al., 2009 ; Steele et al., 2019), mais il est souvent conseillé aux patients dysphagiques de prendre des gorgées et des cuillerées moins importantes afin de permettre un meilleur contrôle oral. De plus, Clavé et al. (2006) montrent que l'augmentation du volume du bolus, quelle que soit sa viscosité, entraîne un risque accru d'inhalation des résidus post-déglutition. Les conséquences sensorielles des variations de volume seraient intéressantes à explorer par la suite, ainsi que l'existence d'un volume sécuritaire pour éviter les résidus pharyngés.

Conclusion

Nous avons réalisé une revue systématique de la littérature dans l'objectif d'explorer les connaissances actuelles sur la rhéologie des textures alimentaires à destination des sujets sains et des patients dysphagiques. Nous avons tenté par le biais d'une méthodologie fiable et reproductible d'explorer les manquements mis en avant dans la littérature.

Le travail de sélection des articles a été mené sur les bases de données Lillocat, Pubmed et Science Direct. L'application de nos critères d'inclusion, des critères d'exclusion et la soumission des articles à la grille de lecture a permis la sélection finale de onze études pour répondre à notre problématique. Les études sélectionnées ont montré une grande diversité des méthodologies pour explorer la texture sous ses multiples aspects : la rhéologie, l'analyse descriptive sensorielle et les mesures fonctionnelles de la déglutition. Ces variations méthodologiques ont conduit à des résultats hétérogènes mais ont permis de présenter des conclusions d'intérêt pour la pratique clinique.

Les résultats obtenus ont montré un manque d'études à haut niveau de preuve scientifique comme les essais randomisés contrôlés, les méta-analyses, ou encore les revues systématiques de la littérature. Seules des études expérimentales basées sur des séries de cas ont été identifiées pour étude, montrant l'état embryonnaire des connaissances à ce sujet. Ainsi, nous avons identifié des éléments rhéologiques utiles à la pratique orthophonique dans le domaine de la déglutition. Tout d'abord, les fluides et les aliments à destination des patients sont de nature non-newtonienne, leur consistance peut donc être décrite selon de nombreux paramètres. La cohésion est traduite au niveau rhéologique par la viscosité d'extension, alors que l'épaisseur du fluide est relative à la viscosité de cisaillement et est dépendante du gradient de vitesse appliqué. Les différentes propriétés viscoélastiques permettent de déterminer le comportement du matériau soumis à de faibles et de fortes déformations. Ces paramètres évoluent différemment en fonction des contraintes appliquées, du matériau utilisé et de son milieu de dispersion. Ils sont à analyser en les combinant ensemble afin de prévoir comment ils pourraient se comporter lors du processus de déglutition.

Notre revue visait à éclairer les professionnels de la déglutition et sa pathologie sur les aspects connus et ceux dont les connaissances sont encore limitées, afin d'encourager une pratique fondée sur les preuves. Le corpus constitué a permis d'accroître le niveau de connaissance sur les attributs texturaux d'intérêt pour la dysphagie ainsi que sur la façon dont ils sont mesurés.

En conséquence, le choix de l'épaississant ou de l'hydrocolloïde en fonction de la symptomatologie présentée par le patient est d'importance dans nos prises en charge, de par ses effets sur la déglutition en tant que telle selon les avantages et inconvénients fournis par le produit, et dans une optique de respect des préférences du patient.

L'étude de la rhéologie en lien avec la déglutition a montré que ce champ d'application est complexe mais permet d'asseoir nos décisions thérapeutiques sur des fondements scientifiques. De nombreux questionnements ont été dégagés de cette étude et pourraient être l'objet de recherches futures, notamment le rôle de la salive dans les transformations rhéologiques du bolus au cours du processus de déglutition.

Bibliographie

- Amberger, P., Dulguerov, P., (1995). Troubles de la déglutition et choix des positions de compensation. *Revue Médicale de la Suisse Romande*, 115, 811-816.
- Auzou, P. (2007). Anatomie et physiologie de la déglutition normale. *Kinésithérapie, la Revue*, 7(64), 14-18. [https://doi.org/10.1016/s1779-0123\(07\)70368-6](https://doi.org/10.1016/s1779-0123(07)70368-6)
- Bennett, J. W., van Lieshout, P. H. H. M., Pelletier, C. A., & Steele, C. M. (2009). Sip-Sizing Behaviors in Natural Drinking Conditions Compared to Instructed Experimental Conditions. *Dysphagia*, 24(2), 152-158. <https://doi.org/10.1007/s00455-008-9183-y>
- Bourne, M. (2002). *Food Texture and Viscosity, Second Edition: Concept and Measurement* (2^e éd.). Academic Press.
- Cichero, J. A., Jackson, O., Halley, P. J., & Murdoch, B. E. (2000). How Thick Is Thick? Multicenter Study of the Rheological and Material Property Characteristics of Mealtime Fluids and Videofluoroscopy Fluids. *Dysphagia*, 15(4), 188-200. <https://doi.org/10.1007/s004550000027>
- Cichero, J. A. Y., Lam, P., Steele, C. M., Hanson, B., Chen, J., Dantas, R. O., Duivesteyn, J., Kayashita, J., Lecko, C., Murray, J., Pillay, M., Riquelme, L., & Stanschus, S. (2017). Development of International Terminology and Definitions for Texture-Modified Foods and Thickened Fluids Used in Dysphagia Management: The IDDSI Framework. *Dysphagia*, 32(2), 293-314. <https://doi.org/10.1007/s00455-016-9758-y>
- Cichero, J. A. Y., Steele, C., Duivesteyn, J., Clavé, P., Chen, J., Kayashita, J., Dantas, R., Lecko, C., Speyer, R., Lam, P., & Murray, J. (2013). The Need for International Terminology and Definitions for Texture-Modified Foods and Thickened Liquids Used in Dysphagia Management: Foundations of a Global Initiative. *Current Physical Medicine and Rehabilitation Reports*, 1(4), 280-291. <https://doi.org/10.1007/s40141-013-0024-z>

- CLAVÉ, P., de KRAA, M., ARREOLA, V., GIRVENT, M., FARRÉ, R., PALOMERA, E., & SERRA-PRAT, M. (2006). The effect of bolus viscosity on swallowing function in neurogenic dysphagia. *Alimentary Pharmacology and Therapeutics*, 24(9), 1385-1394. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2036.2006.03118.x>
- Côté, C., Villeneuve-Rhéaume, A., Gagnon, C., & Germain, I. (2021). L'International Dysphagia Diet Standardisation Initiative : revue des qualités métrologiques. *Dossier — La nutrition sous plus d'un angle*, 18(3), 16-24. <https://doi.org/10.7202/1076356ar>
- Curran, J., & Groher, M. E. (1990). Development and dissemination of an aspiration risk reduction diet. *Dysphagia*, 5(1), 6-12. <https://doi.org/10.1007/bf02407388>
- de Saint Pol, T. (2017). Les évolutions de l'alimentation et de sa sociologie au regard des inégalités sociales. *L'Année sociologique*, 67(1), 11-22. <https://doi.org/10.3917/anso.171.0011>
- de Villiers, M., Hanson, B., Moodley, L., & Pillay, M. (2019). The impact of modification techniques on the rheological properties of dysphagia foods and liquids. *Journal of Texture Studies*. <https://doi.org/10.1111/jtxs.12476>
- Fujiso, Y., Perrin, N., van der Giessen, J., Vrana, N. E., Neveu, F., & Woisard, V. (2018). Swall-E: A robotic in-vitro simulation of human swallowing. *PLOS ONE*, 13(12), e0208193. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0208193>
- Gedda, M. (2015). Traduction française des lignes directrices PRISMA pour l'écriture et la lecture des revues systématiques et des méta-analyses. *Kinésithérapie, la Revue*, 15(157), 39-44. <https://doi.org/10.1016/j.kine.2014.11.004>
- Guatterie, M. (2007). Les forces musculaires de la déglutition et leur dysfonctionnement. *Kinésithérapie, la Revue*, 7(64), 19-23. [https://doi.org/10.1016/s1779-0123\(07\)70369-8](https://doi.org/10.1016/s1779-0123(07)70369-8)

- Hadde, E. K., Cichero, J. A. Y., Zhao, S., Chen, W., & Chen, J. (2019). The Importance of Extensional Rheology in Bolus Control during Swallowing. *Scientific Reports*, 9(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-019-52269-4>
- Hadde, E. K., & Chen, J. (2019). Shear and extensional rheological characterization of thickened fluid for dysphagia management. *Journal of Food Engineering*, 245, 18-23. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.10.007>
- Hadde, E. K., & Chen, J. (2021). Texture and texture assessment of thickened fluids and texture-modified food for dysphagia management. *Journal of Texture Studies*, 52(1), 4-15. <https://doi.org/10.1111/jtxs.12567>
- Hadde, E. K., Nicholson, T. M., & Cichero, J. A. Y. (2020). Evaluation of Thickened Fluids Used in Dysphagia Management Using Extensional Rheology. *Dysphagia*, 35(2), 242-252. <https://doi.org/10.1007/s00455-019-10012-1>
- Hanson, B., O'Leary, M. T., & Smith, C. H. (2011). The Effect of Saliva on the Viscosity of Thickened Drinks. *Dysphagia*, 27(1), 10-19. <https://doi.org/10.1007/s00455-011-9330-8>
- Haute Autorité de Santé. (2013, avril). *Niveau de preuve et gradation des recommandations de bonne pratique*. HAS. https://www.has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/2013-06/etat_des_lieux_niveau_preuve_gradation.pdf
- Hayakawa, F., Kazami, Y., Ishihara S., Nakao, S., Nakauma, M., Funami, T., Nishinari, K., & Kohyama, K. (2014). Characterization of eating difficulty by sensory evaluation of hydrocolloid gels. *Food Hydrocolloids*, 38, pp. 95-103. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.11.007>
- Helldén, J., Bergström, L., & Karlsson, S. (2018). Experiences of living with persisting post-stroke dysphagia and of dysphagia management – a qualitative study. *International Journal of Qualitative Studies on Health and Well-being*, 13, 1-10. <https://doi.org/10.1080/17482631.2018.1522194>

- Ishihara, S., Nakauma, M., Funami, T., Odake, S., & Nishinari, K. (2011b). Swallowing profiles of food polysaccharide gels in relation to bolus rheology. *Food Hydrocolloids*, 25(5), 1016-1024. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2010.09.022>
- ISHIHARA, S., NAKAUMA, M., FUNAMI, T., TANAKA, T., NISHINARI, K., & KOHYAMA, K. (2011a). ELECTROMYOGRAPHY DURING ORAL PROCESSING IN RELATION TO MECHANICAL AND SENSORY PROPERTIES OF SOFT GELS. *Journal of Texture Studies*, 42(4), 254-267. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4603.2010.00272.x>
- Joyner (Melito), H. S. (2018). Explaining food texture through rheology. *Current Opinion in Food Science*, 21, 7-14. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2018.04.003>
- Kongjaroen, A., Methacanon, P., & Gamonpilas, C. (2022). On the assessment of shear and extensional rheology of thickened liquids from commercial gum-based thickeners used in dysphagia management. *Journal of Food Engineering*, 316, 110820. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2021.110820>
- Lesourd, B. (2006). La dysphagie des sujets âgés. *Acta Endoscopica*, 36(4), 623-638. <https://doi.org/10.1007/bf03003765>
- Logemann, J. A., Gensler, G., Robbins, J., Lindblad, A. S., Brandt, D., Hind, J. A., Kosek, S., Dikeman, K., Kazandjian, M., Gramigna, G. D., Lundy, D., McGarvey-Toler, S., & Miller Gardner, P. J. (2008). A Randomized Study of Three Interventions for Aspiration of Thin Liquids in Patients With Dementia or Parkinson's Disease. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 51(1), 173-183. [https://doi.org/10.1044/1092-4388\(2008/013\)](https://doi.org/10.1044/1092-4388(2008/013))
- Marconati, M., & Ramaioli, M. (2020). The role of extensional rheology in the oral phase of swallowing: an in vitro study. *Food & Function*, 11(5), 4363-4375. <https://doi.org/10.1039/c9fo02327e>

- Matsuo, K., & Palmer, J. B. (2008). Anatomy and Physiology of Feeding and Swallowing: Normal and Abnormal. *Physical Medicine and Rehabilitation Clinics of North America*, 19(4), 691-707. <https://doi.org/10.1016/j.pmr.2008.06.001>
- Matta, Z., Chambers, E., Garcia, J. M., & Helverson, J. M. (2006). Sensory Characteristics of Beverages Prepared with Commercial Thickeners Used for Dysphagia Diets. *Journal of the American Dietetic Association*, 106(7), 1049-1054. <https://doi.org/10.1016/j.jada.2006.04.022>
- McCurtin, A., Healy, C., Kelly, L., Murphy, F., Ryan, J., & Walsh, J. (2017). Plugging the patient evidence gap: what patients with swallowing disorders post-stroke say about thickened liquids*. *International Journal of Language & Communication Disorders*, 53(1), 30-39. <https://doi.org/10.1111/1460-6984.12324>
- Meng, Y., Rao, M., & Datta, A. (2005). Computer Simulation of the Pharyngeal Bolus Transport of Newtonian and Non-Newtonian Fluids. *Food and Bioproducts Processing*, 83(4), 297-305. <https://doi.org/10.1205/fbp.04209>
- Merrot, O., Guatterie, M., & Chevalier, B. (2011). Prise en charge des troubles de la déglutition. *Journal de Réadaptation Médicale : Pratique et Formation en Médecine Physique et de Réadaptation*, 31(3-4), 141-144. <https://doi.org/10.1016/j.jrm.2011.07.001>
- Molfenter, S. M., & Steele, C. M. (2013). The Relationship Between Residue and Aspiration on the Subsequent Swallow: An Application of the Normalized Residue Ratio Scale. *Dysphagia*, 28(4), 494-500. <https://doi.org/10.1007/s00455-013-9459-8>
- Mullen, E. J., & Streiner, D. L. (2004). The Evidence For and Against Evidence-Based Practice. *Brief Treatment and Crisis Intervention*, 4(2), 111-121.
- National Dysphagia Diet Task Force, American Dietetic Association, National Dysphagia Diet Task Force, & American Dietetic Association. (2002). *National Dysphagia Diet*. American Dietetic Association.

- Nguyen, N. P., Frank, C., Moltz, C. C., Vos, P., Smith, H. J., Karlsson, U., Dutta, S., Midyett, A., Barloon, J., & Sallah, S. (2005). Impact of dysphagia on quality of life after treatment of head-and-neck cancer. *International Journal of Radiation Oncology, Biology, Physics*, 61(3), 772-778. <https://doi.org/10.1016/j.ijrobp.2004.06.017>
- Nikhil, J., Krishnan, G., Manjula, R., & Naidu, R. (2014). Oral and pharyngeal transit time as a factor of age, gender, and consistency of liquid bolus. *Journal of Laryngology and Voice*, 4(2), 45. <https://doi.org/10.4103/2230-9748.157465>
- Nishinari, K., Fang, Y., & Rosenthal, A. (2019). Human oral processing and texture profile analysis parameters: Bridging the gap between the sensory evaluation and the instrumental measurements. *Journal of Texture Studies*, 50(5), 369-380. <https://doi.org/10.1111/jtxs.12404>
- Nishinari, K., Takemasa, M., Su, L., Michiwaki, Y., Mizunuma, H., & Ogoshi, H. (2011). Effect of shear thinning on aspiration – Toward making solutions for judging the risk of aspiration. *Food Hydrocolloids*, 25(7), 1737-1743. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2011.03.016>
- Nyström, M., Qazi, W.M., Bülow, M., Ekberg, O., & Stading, M. (2015). Effects of rheological factors on perceived ease of swallowing. *Applied Rheology*, 25(63876). 1-9. <http://doi.org/10.3933/APPLRHEOL-25-63876>
- O’Leary, M., Hanson, B., & Smith, C. (2010). Viscosity and Non-Newtonian Features of Thickened Fluids Used for Dysphagia Therapy. *Journal of Food Science*, 75(6), E330-E338. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2010.01673.x>
- Ong, J. J. X., Steele, C. M., & Duizer, L. M. (2018). Challenges to assumptions regarding oral shear rate during oral processing and swallowing based on sensory testing with thickened liquids. *Food Hydrocolloids*, 84, 173-180. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.05.043>

- Patel, S., McAuley, W. J., Cook, M. T., Sun, Y., Hamdy, S., & Liu, F. (2019). The Swallowing Characteristics of Thickeners, Jellies and Yoghurt Observed Using an In Vitro Model. *Dysphagia*, 35(4), 685-695. <https://doi.org/10.1007/s00455-019-10074-1>
- Pouyet, V., Giboreau, A., Cuvelier, G., & Benattar, L. (2013). Perception, préférences et consommation alimentaires chez les personnes âgées atteintes de la maladie d'Alzheimer. *Cliniques*, 6(2), 217-232. <https://doi.org/10.3917/clin.006.0216>
- Qazi, W. M., Ekberg, O., Wiklund, J., Kotze, R., & Stading, M. (2019). Assessment of the Food-Swallowing Process Using Bolus Visualisation and Manometry Simultaneously in a Device that Models Human Swallowing. *Dysphagia*, 34(6), 821-833. <https://doi.org/10.1007/s00455-019-09995-8>
- Roudot, A. (2001). *Rhéologie et analyse de texture des aliments*. TECHNIQUE & DOC.
- Ross, A. I. V., Tyler, P., Borgognone, M. G., & Eriksen, B. M. (2019). Relationships between shear rheology and sensory attributes of hydrocolloid-thickened fluids designed to compensate for impairments in oral manipulation and swallowing. *Journal of Food Engineering*, 263, 123-131. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.05.040>
- Seo, H. S., Hwang, I., Han, T., & Kim, I. (2007). Sensory and Instrumental Analysis for Slipperiness and Compliance of Food during Swallowing. *Journal of Food Science*, 72(9), 707-713. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2007.00544.x>
- SHAMA, F., & SHERMAN, P. (1973). IDENTIFICATION OF STIMULI CONTROLLING THE SENSORY EVALUATION OF VISCOSITY II. Oral Methods. *Journal of Texture Studies*, 4(1), 111-118. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4603.1973.tb00657.x>
- Sharma, M., Kristo, E., Corredig, M., & Duizer, L. (2017). Effect of hydrocolloid type on texture of pureed carrots: Rheological and sensory measures. *Food Hydrocolloids*, 63, 478-487. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.09.040>

- Stading, M. (2021). Physical properties of a model set of solid, texture-modified foods. *Journal of Texture Studies*, 52(5-6), 578-586. <https://doi.org/10.1111/jtxs.12592>
- Steele, C. M., Alsanei, W. A., Ayanikalath, S., Barbon, C. E. A., Chen, J., Cichero, J. A. Y., Coutts, K., Dantas, R. O., Duivesteyn, J., Giosa, L., Hanson, B., Lam, P., Lecko, C., Leigh, C., Nagy, A., Namasivayam, A. M., Nascimento, W. V., Odendaal, I., Smith, C. H., & Wang, H. (2015). The Influence of Food Texture and Liquid Consistency Modification on Swallowing Physiology and Function: A Systematic Review. *Dysphagia*, 30(1), 2-26. <https://doi.org/10.1007/s00455-014-9578-x>
- Steele, C. M., Peladeau-Pigeon, M., Barbon, C. A. E., Guida, B. T., Namasivayam-MacDonald, A. M., Nascimento, W. V., Smaoui, S., Tapson, M. S., Valenzano, T. J., Waito, A. A., & Wolkin, T. S. (2019). Reference Values for Healthy Swallowing Across the Range From Thin to Extremely Thick Liquids. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 62(5), 1338-1363. https://doi.org/10.1044/2019_JSLHR-S-18-0448
- Swan, K., Speyer, R., Heijnen, B. J., Wagg, B., & Cordier, R. (2015). Living with oropharyngeal dysphagia: effects of bolus modification on health-related quality of life—a systematic review. *Quality of Life Research*, 24(10), 2447-2456. <https://doi.org/10.1007/s11136-015-0990-y>
- Szczesniak, A. S. (2002). Texture is a sensory property. *Food Quality and Preference*, 13(4), 215-225. [https://doi.org/10.1016/s0950-3293\(01\)00039-8](https://doi.org/10.1016/s0950-3293(01)00039-8)
- SZCZESNIAK, A. S. (1991). TEXTURAL PERCEPTIONS AND FOOD QUALITY. *Journal of Food Quality*, 14(1), 75-85. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4557.1991.tb00048.x>
- Talens, P., Castells, M. L., Verdú, S., Barat, J. M., & Grau, R. (2021). Flow, viscoelastic and masticatory properties of tailor-made thickened pea cream for people with swallowing

- problems. *Journal of Food Engineering*, 292, 110265-.
<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110265>
- Thomas, A. (2016). *Analyse sensorielle temporelle descriptive et hédonique*. [Thèse de doctorat, Université de Bourgogne Franche-Comté]. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01466921/document>
- Vickers, Z., Damodhar, H., Grummer, C., Mendenhall, H., Banaszynski, K., Hartel, R., Hind, J., Joyce, A., Kaufman, A., & Robbins, J. (2015). Relationships Among Rheological, Sensory Texture, and Swallowing Pressure Measurements of Hydrocolloid-Thickened Fluids. *Dysphagia*, 30(6), 702-713. <https://doi.org/10.1007/s00455-015-9647-9>
- Vilardell, N., Rofes, L., Arreola, V., Speyer, R., & Clavé, P. (2016). A Comparative Study Between Modified Starch and Xanthan Gum Thickeners in Post-Stroke Oropharyngeal Dysphagia. *Dysphagia*, 31(2), 169-179. <https://doi.org/10.1007/s00455-015-9672-8>
- van Vliet, T. (2002). On the relation between texture perception and fundamental mechanical parameters for liquids and time dependent solids. *Food Quality and Preference*, 13(4), 227-236. [https://doi.org/10.1016/s0950-3293\(01\)00044-1](https://doi.org/10.1016/s0950-3293(01)00044-1)
- Watando, A., Ebihara, S., Ebihara, T., Okazaki, T., Takahashi, H., Asada, M., & Sasaki, H. (2004). EFFECT OF TEMPERATURE ON SWALLOWING REFLEX IN ELDERLY PATIENTS WITH ASPIRATION PNEUMONIA. *Journal of the American Geriatrics Society*, 52(12), 2143-2144. <https://doi.org/10.1111/j.1532-5415.2004.52579.3.x>
- WHELAN, K. (2001). Inadequate fluid intakes in dysphagic acute stroke. *Clinical Nutrition*, 20(5), 423-428. <https://doi.org/10.1054/clnu.2001.0467>
- Woisard-Bassols, V., & Puech, M. (2011). *La réhabilitation de la déglutition chez l'adulte* (Monde du verbe) (révisée éd., Vol. 2). Solal Editeurs.

Sitographie et documents pdf en ligne

- Lam P., Cichero, J., Chen, J., Dantas, R., Duivesteyn, J., Hanson B., Kayashita, J., Pillay, M., Riquelme, L., Steele, C., Vanderwegen, J. (2019a). *Complete IDDSI Framework, detailed definitions 2.0*. iddsi.org. [https://iddsi.org/IDDSI/media/images/Complete IDDSI Framework Final 31July2019.pdf](https://iddsi.org/IDDSI/media/images/Complete_IDDSI_Framework_Final_31July2019.pdf)
- Lam P., Cichero, J., Chen, J., Dantas, R., Duivesteyn, J., Hanson B., Kayashita, J., Pillay, M., Riquelme, L., Steele, C., Vanderwegen, J. (2019b). *Testing Methods 2.0*. iddsi.org. [https://iddsi.org/IDDSI/media/images/Testing Methods IDDSI Framework Final 31 July2019.pdf](https://iddsi.org/IDDSI/media/images/Testing_Methods_IDDSI_Framework_Final_31_July2019.pdf)
- Page, M. J. (2021, 29 mars). The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. The BMJ. <https://www.bmj.com/content/372/bmj.n7>

Liste des annexes

Annexe n°1 : Tableau récapitulatif des notions relatives à la texture.

Annexe n°2 : Grille PRISMA.

Annexe n°3 : Grille de lecture des articles.

Annexe n°4 : Tableau de présentation des études.

Annexe n°5 : Tableau de résultat des études instrumentales.

Annexe n°6 : Tableau de résultat des études cliniques et instrumentales.

Annexe n°7 : Photo d'un rhéomètre.

Annexe n°8 : Exemple de rhéogramme.

Annexe n°9 : Illustration des résultats de mesure de la rupture des filaments.

Annexe n°10 : Illustration des résultats d'un test de balayage fréquentiel en fonction des concentrations d'épaississants.

Annexe n°11 : Illustration de la région viscoélastique linéaire (LVR) et non-linéaire.

Annexe n°12 : Illustration de la pratique fondée sur les preuves (EBP) selon ses trois axes.

Annexe n°13 : Tableau récapitulatif des textures à utiliser en fonction de la localisation pathologique, des recommandations IDDSI, et des paramètres rhéologiques à favoriser.